

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



TESIS:

**EVALUACIÓN GEOLÓGICA PARA DETERMINAR LA INESTABILIDAD DE
LOS TALUDES EN EL KM 0 AL KM 7 DEL DISTRITO DE JOSÉ GÁLVEZ.
CELENDÍN.**

**PARA OPTAR:
EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO GEÓLOGO**

**AUTOR:
BACH. ROJAS BENAVIDES JHON HARRIS**

**ASESOR:
DR. LAGOS MANRIQUE ALEJANDRO CLAUDIO**

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador: ROJAS BENAVIDES JHON HARRIS
DNI: 46104656
Escuela Profesional: Ingeniería Geológica
2. Asesor: Dr. ALEJANDRO CLAUDIO LAGOS MANRIQUE
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:
EVALUACIÓN GEOLÓGICA PARA DETERMINAR LA INESTABILIDAD DE LOS TALUDES EN EL
KM 0 AL KM 7 DEL DISTRITO DE JOSÉ GÁLVEZ. CELENDÍN.
Fecha de evaluación: 31-10-2025
6. Software antiplagio: ☒ TURNITIN ☐ URKUND (ORIGINAL) (*)
7. Porcentaje de Informe de Similitud: 4%
8. Código Documento: oid: 3117:520919748
9. Resultado de la Evaluación de Similitud:

☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 03 de noviembre del 2025



Ing. Alejandro C. Lagos Manrique

FIRMA DEL ASESOR
Dr. ALEJANDRO CLAUDIO LAGOS MANRIQUE



Firmado digitalmente por:
BAZAN DIAZ Laura Sofia
FAU 20140250001 soft
Motivo: En señal de
conformidad
Fecha: 03/11/2025 10:34:00-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : *EVALUACIÓN GEOLÓGICA PARA DETERMINAR LA INESTABILIDAD DE LOS TALUDES EN EL KM 0 AL KM 7 DEL DISTRITO DE JOSÉ GÁLVEZ. CELENDÍN*

ASESOR : *Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.*

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0760-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 18 de diciembre de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **veintitrés días del mes de diciembre de 2025**, siendo las ocho horas (08:00 a.m.) en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica (Ambiente 4J - 210), de la Facultad de Ingeniería se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Vocal : M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
Secretario : M.Cs. Ing. Victor Ausberto Arapa Vilca.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada *EVALUACIÓN GEOLÓGICA PARA DETERMINAR LA INESTABILIDAD DE LOS TALUDES EN EL KM 0 AL KM 7 DEL DISTRITO DE JOSÉ GÁLVEZ. CELENDÍN*, presentado por el Bachiller en Ingeniería Geológica **JHON HARRIS ROJAS BENAVIDES**, asesorada por Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique, para la obtención del Título Profesional

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

EVALUACIÓN PRIVADA : *04* PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : *10* PTS.
EVALUACIÓN FINAL : *14* PTS *CATORCE* (En letras)

En consecuencia, se lo declara *APROBADO* con el calificativo de *CATORCE* acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las *9:00 am* horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

[Firma]
Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Presidente

[Firma]
M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
Vocal

[Firma]
M.Cs. Ing. Victor Ausberto Arapa Vilca.
Secretario

[Firma]
Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Asesor



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

Bachiller en Ingeniería Geológica: JHON HARRIS ROJAS BENAVIDES.

RUBRO	PUNTAJE
	Máximo / Calificación
2. DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA	
2.1. Capacidad de síntesis	3
2.2. Dominio del tema	3
2.3. Consistencia de las alternativas presentadas	2
2.4. Precisión y seguridad en las respuestas	2
PUNTAJE TOTAL (MÁXIMO 12 PUNTOS)	10

Cajamarca, 23 de diciembre de 2025

Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Presidente

M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
Vocal

M.Cs. Ing. Victor Ausberto Arapa Vilca.
Secretario

Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Asesor



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



EVALUACIÓN FINAL DE LA SUSTENTACIÓN DE TESIS.

Bachiller en Ingeniería Geológica: JHON HARRIS ROJAS BENAVIDES.

RUBRO	PUNTAJE
A.- EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PRIVADA	04
B.- EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA	10
EVALUACIÓN FINAL	
EN NÚMEROS (A + B)	14
EN LETRAS (A + B)	CATORCE
- Excelente 20 - 19	BUENO
- Muy Bueno 18 - 17	
- Bueno 16 - 14	
- Regular 13 a 11	
- Desaprobado 10 a menos	

Cajamarca, 23 de diciembre de 2025

Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Presidente

M.Cs. Ing. Victor Ausberto Arapa Vilca.
Secretario

M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
Vocal

Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Asesor

AGRADECIMIENTO

A Dios por permitirme culminar con éxito mi tan anhelada carrera, darme buena salud y fortaleza en todo momento de mi vida.

A la Universidad Nacional de Cajamarca, a mis docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica que contribuyeron en mi formación profesional y en especial a mi asesor Dr. Alejandro Claudio Lagos Manrique por su constante asesoramiento durante la elaboración de la presente tesis.

DEDICATORIA

A mis padres, Oscar y Olga, quienes me enseñaron el valor del esfuerzo y la perseverancia sin límites. Sus sacrificios y su amor incondicional han sido la luz que guio mi camino durante estos años de estudio.

A la memoria de mi querido abuelo, Papi Cande, cuyo amor y enseñanzas siempre serán un faro en mi camino."

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS	xiii
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II	3
MARCO TEÓRICO	3
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS	3
2.1.1. Internacionales	3
2.1.2. Nacionales.....	3
2.1.3. Locales	3
2.2. BASES TEÓRICAS	4
2.2.1. Movimientos en masa de taludes	4
2.2.2. Factores condicionantes	5
2.2.2.1. Estructuras geológicas.....	5
2.2.2.2. Litología	5
2.2.2.3. Geomorfología	5
2.2.2.4. Hidrogeología	5
2.2.3. Factores desencadenantes.....	5
2.2.3.1 Precipitación	6
2.2.3.2. Sismicidad	6
2.2.3.3. Actividad antrópica	6
2.2.4. Tipos de movimientos en taludes	6
2.2.4.1. Caídas	7
2.2.4.2. Caída de roca (detritos o suelo).....	7
2.2.4.3. Flujos.....	8
2.2.4.4. Flujos de detritos	9
2.2.4.5. Flujo de lodo	10
2.2.4.6. Avalancha de detritos	10

	Pág.
2.2.4.7. Derrumbes.....	10
2.2.4.8. Vuelcos.....	11
2.2.5. Deslizamiento	11
2.2.5.1. Deslizamientos lentos.....	13
2.2.5.2. Deslizamientos rápidos.....	13
2.2.5.3. Deslizamiento rotacional.....	13
2.2.5.4. Deslizamiento traslacional	14
2.2.6. Tipos de deslizamientos	15
2.2.7. Elementos del deslizamiento	15
2.2.7.1. Altura	15
2.2.7.2. Pie	16
2.2.7.3. Altura de nivel freático	16
2.2.8. Dimensiones de un deslizamiento	16
2.2.8.1. Ancho de la masa desplazada.....	16
2.2.8.2. Ancho de la superficie de falla	16
2.2.8.3. Longitud de la masa deslizada	16
2.2.8.4. Longitud de la superficie de falla.....	16
2.2.8.5. Profundidad de la superficie de falla	16
2.2.8.6. Longitud total	16
2.2.8.7. Longitud de la línea central.....	16
2.2.8.8. Tamaño del deslizamiento.....	16
2.2.8.9. Movimientos complejos	17
2.2.8.10. Reptación de suelos	17
2.2.8.11. Erosión de laderas	18
2.2.8.12. Cárcavas.....	19
2.2.9. Peligros geológicos	19
2.2.9.1. Factores Naturales	20
2.2.9.1.1. Zonificación de la susceptibilidad y de peligros.....	20
2.2.9.2. Actividad Humana	21
2.2.9.3. Susceptibilidad.....	22
2.2.10. Zonificación de la susceptibilidad y la amenaza	22
2.2.11. Mapas de susceptibilidad.....	23
2.2.12. Las fuerzas que afectan a taludes	23
2.2.13. Método Heurístico o Empírico.....	24

	Pág.
2.2.14. Ponderación	24
2.2.15. Medidas de dispersión.....	25
2.2.16. Parámetros estadísticos	25
2.2.17. Método Probabilístico	26
2.2.18. Análisis Estadístico Univariado o Divariado	26
2.2.19. Matriz de Jerarquías Múltiples (MJM)	26
2.2.20. Coeficiente de Consistencia (CC)	27
2.2.21. Método de los colores	28
2.2.22. Definición y estratificación de los niveles de riesgo	28
2.2.23. Método Multicriterio	28
2.2.23.1. Proceso de análisis jerárquico	28
2.2.23.2. Cálculo de los pesos ponderados.....	28
2.2.23.3. Preparación de Mapas de susceptibilidad	29
2.2.24. Clasificaciones Geomecánicas de los Macizos Rocosos	29
2.2.25. La Clasificación GSI (Geological Strength Index)	29
2.2.26. Talud	31
2.2.27. Inestabilidad de taludes	31
2.2.28. Métodos de cálculo para el análisis de taludes.....	31
2.2.29. Factor de seguridad (FS).....	31
2.2.30. Susceptibilidad Sísmica.....	32
2.2.31. Análisis Sísmico de Taludes	33
2.2.32. Análisis Pseudoestático	33
2.2.33. Martillo Schmidt.....	33
2.2.33.1. Pasos para el uso del Martillo de Schmidt:	34
2.2.34. Resistencia a la compresión uniaxial	36
2.2.35. Cálculo de la Resistencia a la Compresión Uniaxial	36
2.2.36. Peso específico	37
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	37
CAPÍTULO III.....	39
MATERIALES Y MÉTODOS.....	39
3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	39
3.1.1. Geográfica	39
3.1.2. Política.....	40
3.2. ACCESIBILIDAD.....	40

	Pág.
3.3. GEOGRAFÍA	40
3.4. HIDROLOGÍA	40
3.7.1 Tipo, nivel, diseño y método de la investigación	40
3.4.2. Población de estudio	41
3.4.3. Muestras.....	41
3.4.4. Unidad de análisis	41
3.4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	41
3.4.5.1 Técnicas	41
3.4.5.2 Instrumentos y equipos.....	41
3.5. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS	42
3.6. GEOLOGÍA LOCAL.....	42
3.6.1. Grupo Goyllarisquizga (Ki-g).....	43
3.6.1.1 Formación Chimú (Ki- chi)	43
3.6.1.2 Formación Santa (Ki- sa).....	43
3.6.1.3 Formación Carhuaz (Ki-ca).....	44
3.6.1.4 Formación Farrat (Ki-fa).....	45
3.6.1.5 Formación Chota (PN-cho)	45
3.6.1.6 Depósitos aluviales (Qp-al).....	46
3.7. GEOMORFOLOGÍA.....	46
3.7.1. Ladera	47
3.7.2. Lomadas.....	47
3.7.3. Planicies	48
3.8. GEOLOGIA ESTRUCTURAL	48
3.9. SISMICIDAD	49
3.10. GEOMECAÁNICA.....	49
CAPÍTULO IV	50
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	50
4.1 EVALUACIÓN GEOLÓGICA DEL ÁREA DE ESTUDIO	50
4.2 EDAD, DUREZA Y CONSISTENCIA DE LAS ROCAS.....	51
4.3 MÉTODOS UTILIZADOS	52
4.3.1. Método Empírico o Heurístico.....	52
4.3.1.1. Mapa Litológico (ML)	52
4.3.1.2. Mapa Geomorfológico (MG).....	53
4.3.1.3. Mapa Hidrogeológicas (MH)	54

	Pág.
4.3.1.4. Mapa de Cobertura Vegetal (MCV).....	55
4.3.1.5. Mapa Tectónico (MT).....	56
4.3.1.6. Mapa de Pendientes (MP).....	57
4.3.2. Método probabilístico.....	58
4.3.2.1. Factores condicionantes de la Inestabilidad (FCI).....	65
4.3.2.2. Cálculo de los Factores Condicionantes de la Inestabilidad.....	67
4.3.2.3. Cálculo del Coeficiente de Consistencia (CC).....	67
4.4 ANÁLISIS DEL FACTOR DE SEGURIDAD.....	68
4.5 DESCRIPCIÓN DE LOS TALUDES.....	68
4.5.1. Talud N° 01 (TA- 01).....	69
4.5.2. Talud N° 02 (TA- 02).....	69
4.5.3. Talud N° 03 (TA- 03).....	70
4.5.4. Talud N° 04 (TA- 04).....	71
4.5.5. Talud N° 05 (TA- 05).....	72
4.5.6. Talud N° 06 (TA- 06).....	72
4.6 CÁLCULO DEL PESO ESPECÍFICO.....	73
4.7 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAxIAL.....	74
4.7.1 Número de Rebotes (NR).....	74
4.8 CÁLCULO DEL GSI, COHESIÓN Y ÁNGULO DE FRICCIÓN.....	82
4.9 CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD (FS).....	94
4.10 Contrastación de la hipótesis.....	113
CAPÍTULO V.....	114
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	114
5.1. CONCLUSIONES.....	114
5.2. RECOMENDACIONES.....	115
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	116
ANEXO- 01.....	122
MAPAS TEMÁTICOS.....	122
ANEXO- 02.....	122
RESULTADOS DE LABORATORIO.....	122

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquemas de los tipos de movimientos de los bloques	8
Figura 2. Esquema de flujos canalizados y no canalizados	9
Figura 3. Esquema de flujos de lodos	10
Figura 4. Esquema de vuelco	11
Figura 5. Partes de un deslizamiento	12
Figura 6. Tipos de deslizamientos rotacionales	14
Figura 7. Tipos de deslizamientos por ruptura	15
Figura 8. Esquema de reptación superficial	18
Figura 9. Esquema de erosión de laderas	18
Figura 10. Representación de las fuerzas.....	23
Figura 11. Susceptibilidad sísmica del territorio peruano.....	32
Figura 12. Ábaco para la resistencia a compresión simple	35
Figura 13. Ubicación	39
Figura 14. Areniscas gris blanquesinas de la Formación Chimú.....	43
Figura 15. Areniscas gris amarillentas a gris anaranjadas de la Formación Santa	44
Figura 16. Areniscas gris marrones de la Formación Carhuaz	44
Figura 17. Areniscas gris blanquesinas a gris rojizas de la Formación Farrat.	45
Figura 18. Areniscas gris rojizas a gris anaranjadas de la Formación Chota.....	46
Figura 19. Ladera observada al NE del distrito de José Gálvez.....	47
Figura 20. Lomada observada al SO del distrito de José Gálvez	48
Figura 21. Porcentaje de afloramientos en el área de estudio	50
Figura 22. Dureza de las rocas en el área de estudio	51
Figura 23. Ponderación de las unidades litológicas.....	53
Figura 24. Ponderación de las unidades geomorfológicas	54
Figura 25. Ponderación de las unidades hidrogeológicas	55
Figura 26. Ponderación de las unidades de cobertura vegetal	56
Figura 27. Ponderación de las unidades tectónicas.	57
Figura 28. Ponderación de unidades de pendientes	58
Figura 29. Porcentaje de los factores condicionante	67
Figura 30. Talud ubicado en Km02+000.....	69
Figura 31. Talud ubicado en Km04+300.....	70
Figura 32. Talud ubicado en Km05+100.....	71

	Pág.
Figura 33. Talud ubicado en Km06+600.....	71
Figura 34. Talud ubicado en Km06+620.....	72
Figura 35. Talud ubicado en Km06+630.....	73
Figura 36. Martillo de Schmidt CONTROLS, tipo L, Modelo 45- 561	74
Figura 37. Abaco para medir la Resistencia a la Compresión Uniaxial.....	75
Figura 38. Determinación de la cohesión y el ángulo de fricción de TA- 01.....	83
Figura 39. Determinación de la cohesión y el ángulo de fricción de TA- 02.....	85
Figura 40. Determinación de la cohesión y el ángulo de fricción de TA- 03.....	87
Figura 41. Determinación de la cohesión y el ángulo de fricción de TA- 04.....	89
Figura 42. Determinación de la cohesión y el ángulo de fricción de TA- 05.....	91
Figura 43. Determinación de la cohesión y el ángulo de fricción de TA- 06.....	93
Figura 44. Factor de seguridad en condiciones estáticas de TA-01	95
Figura 45. Factor de seguridad en condiciones saturadas de TA-01	96
Figura 46. Factor de seguridad en condiciones sísmicas de TA-01	97
Figura 47. Factor de seguridad en condiciones estáticas de TA-02.....	98
Figura 48. Factor de seguridad en condiciones saturadas de TA-02	99
Figura 49. Factor de seguridad en condiciones sísmicas de TA-02	100
Figura 50. Factor de seguridad en condiciones estáticas de TA-03.....	101
Figura 51. Factor de seguridad en condiciones saturadas de TA-03	102
Figura 52. Factor de seguridad en condiciones sísmicas de TA-03	103
Figura 53. Factor de seguridad en condiciones estáticas de TA-04.....	104
Figura 54. Factor de seguridad en condiciones saturadas de TA-04	105
Figura 55. Factor de seguridad en condiciones sísmicas de TA-04	106
Figura 56. Factor de seguridad en condiciones estáticas de TA-05.....	107
Figura 57. Factor de seguridad en condiciones saturadas de TA-05	108
Figura 58. Factor de seguridad en condiciones sísmicas de TA-05	109
Figura 59. Factor de seguridad en condiciones estáticas de TA-06.....	110
Figura 60. Factor de seguridad en condiciones saturadas de TA-06	111
Figura 61. Factor de seguridad en condiciones sísmicas de TA-06	112

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01. Clasificación de movimientos en masa.....	7
Tabla 02. Tamaño de deslizamientos por área en proyección horizontal	17
Tabla 03. Ejemplo de cálculo de ponderación	25
Tabla 04. Ejemplo de grados de susceptibilidad	25
Tabla 05. Valores para el cálculo de la relación de consistencia	27
Tabla 06. Llenado de la matriz de doble entrada	27
Tabla 07. Ejemplo de cálculo de ponderación	28
Tabla 08. Tabla para la determinación del GSI	30
Tabla 09. Factor de susceptibilidad sísmica por zonas	33
Tabla 10. Accesibilidad al área de estudio.....	40
Tabla 11. Clasificación para unidades morfogenéticas.....	47
Tabla 12. Afloramiento en rocas (porcentaje)	50
Tabla 13. Dureza y consistencia de las rocas	51
Tabla 14. Descripción de taludes	52
Tabla 15. Unidades geomorfológicas	53
Tabla 16. Unidades hidrogeológicas	54
Tabla 17. Unidad de cobertura vegetal.....	55
Tabla 18. Unidades tectónicas	56
Tabla 19. Ponderación de unidades de pendientes	57
Tabla 20. Cálculo del factor litológico	59
Tabla 21. Cálculo del factor de pendiente	60
Tabla 22. Cálculo del factor de cobertura vegetal	61
Tabla 23. Cálculo del factor tectónico.....	62
Tabla 24. Cálculo del factor hidrogeológico	63
Tabla 25. Cálculo del factor geomorfológico	64
Tabla 26. Factores condicionantes de la inestabilidad	66
Tabla 27. Coordenadas UTM de los taludes	68
Tabla 28. Características del talud TA-01	69
Tabla 29. Características del talud TA-02	70
Tabla 30. Características del talud TA-03	70
Tabla 31. Características del talud TA-04	71
Tabla 32. Características del talud TA-05	72
Tabla 33. Características del talud TA-06	72

	Pág.
Tabla 34. Valores del peso específico de 06 muestras analizadas.....	73
Tabla 35 Cálculo del RCU de TA-01	76
Tabla 36. Cálculo del RCU de TA-02.....	77
Tabla 37. Cálculo del RCU de TA-03.....	78
Tabla 38. Cálculo del RCU de TA-04.....	79
Tabla 39. Cálculo del RCU de TA-05.....	80
Tabla 40. Cálculo del RCU de TA-06.....	81
Tabla 41. Resumen de Resistencia a la compresión uniaxial	82
Tabla 42.Cálculo del GSI del TA-01	82
Tabla 43. Cálculo del GSI de TA-02.....	84
Tabla 44.Cálculo del GSI de TA-03	86
Tabla 45. Cálculo del GSI de TA-04	88
Tabla 46. Cálculo del GSI de TA-05	90
Tabla 47. Cálculo del GSI de TA-06	92
Tabla 48. Valores del GSI, cohesión y ángulo de fricción	94
Tabla 49. Factor de seguridad de los 06 taludes	113

LISTA DE ABREVIATURAS

m	:	Metro
cm	:	Centímetro
mm	:	Milímetro
msnm	:	Metros sobre el nivel de mar
h	:	Hora
Km	:	kilómetro
NE	:	Noreste
NO	:	Noroeste
SE	:	Sureste
SO	:	Suroeste
GPS	:	Global Positioning System
UTM	:	Universal Transversal Mercator
MM	:	Movimiento de masa
INGEMMET	:	Instituto Geológico Minero Metalúrgico
SENAMHI	:	Servicio Nacional de meteorología e hidrología
ÍNECI	:	Instituto Nacional de Defensa Civil
CENEPRED	:	Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres
INGEOMINAS	:	Instituto Geológico de Minas
UN/ISDR	:	International Strategy for Disaster Reduction
RC	:	Relación de consistencia
VSP	:	Vector suma ponderada
IA	:	Índice aleatorio
IC	:	Índice de consistencia
UCP	:	Unidad Cartografiable ponderable
CC	:	Coeficiente de consistencia
RCU	:	Resistencia a la comprensión Uniaxial
SIG	:	Sistema de información Geográfica
MJM	:	Matriz de jerarquías multiples
FCI	:	Factores condicionante de la inestabilidad
TA	:	Talud
FR	:	fuerzas resistentes

FD	:	Fuerzas desestabilizantes
MPa	:	Mega Pascales
FS	:	Factor de seguridad
SLIDE	:	Deslizamiento (ingles)

RESUMEN

Este estudio se centra en la evaluación geológica para determinar la inestabilidad de taludes en el distrito de José Gálvez, provincia de Celendín, donde afloran rocas cretácicas del Grupo Goyllarisquizga, Formación Inca, Formación Chulec, Pariatambo, Yumagual, Cajamarca y Chota. En el tramo Km+0 hasta el Km 07+0 afloran rocas del Grupo Goyllarisquizga y la Formación Chota los que están fuertemente meteorizados y han generado taludes inestables que necesitan ser investigados. Dado que no existen estudios previos en la zona, la investigación busca llenar este vacío mediante la creación de un mapa de zonificación de taludes inestables. Los objetivos fueron el de evaluar la inestabilidad de los taludes, determinar los factores condicionantes de la inestabilidad (FCI), describir la geología del área. La hipótesis planteada fue que en el sector de Jorge Chávez los factores condicionantes de la inestabilidad (FCI) de los taludes está determinado principalmente por el factor geológico seguido por el factor tectónico e hidrogeológico. Las rocas de la Formación Chota han sido afectadas por una diagénesis leve y son más blandas y deleznales en comparación a las rocas del Grupo Goyllarisquizga. Esta diferencia ha contribuido a la inestabilidad de los taludes en la Formación Chota, donde se han identificado taludes inestables como TA-04, TA-05 y TA-06. Se concluye que los factores condicionantes de la inestabilidad (FCI) fueron el factor litológico, tectónico y cobertura vegetal, se elaboró un mapa de zonificación que indica alta inestabilidad en los taludes mencionados, lo cual es crucial para la planificación y mitigación de riesgos geológicos en la región. El análisis del Factor de Seguridad (FS) mediante el software SLIDE y el método de Bishop mostró una disminución significativa del mismo en condiciones sísmicas. Para los taludes TA-01, TA-02 y TA-03, los valores fueron 1.170, 1.080 y 1.014 respectivamente; mientras que para TA-04, TA-05 y TA-06, los valores fueron alarmantemente bajos: 0.046, 0.780 y 0.700. Esto sugiere que tanto el factor litológico como el estructural son determinantes claves en la inestabilidad de estos taludes.

Palabras clave: Evaluación geológica, Inestabilidad de taludes.

ABSTRACT

This study focuses on the geological evaluation to determine the instability of slopes in the district of José Gálvez, province of Celendín, where Cretaceous rocks of the Goyllarisquizga Group, Inca Formation, Chulec Formation, Pariatambo, Yumagual, Cajamarca and Chota emerge. In the section Km+0 to Km 07+0, rocks from the Goyllarisquizga Group and the Chota Formation emerge, which are strongly weathered and have generated unstable slopes that need to be investigated. Since there are no previous studies in the area, the research seeks to fill this gap by creating a zoning map of unstable slopes. The main objective is to evaluate the instability of the slopes, describe the geology of the area, and make a geological map. The rocks of the Goyllarisquizga Group are highly compact and hard due to intense diagenesis processes, while those of the Chota Formation, with mild diagenesis, are softer and crumbly. This difference in lithological characteristics has contributed to slope instability in the Chota Formation, where unstable slopes such as TA-04, TA-05 and TA-06 have been identified. Empirical and probabilistic methods were applied to determine the factors that condition instability, and a susceptibility map was prepared that indicates high vulnerability on the aforementioned slopes, which is crucial for the planning and mitigation of geological risks in the region. The analysis of the Safety Factor (FS) using the SLIDE software and the Bishop method showed a significant decrease in the FS under seismic conditions. For slopes TA-01, TA-02 and TA-03, the values were 1.170, 1.080 and 1.014 respectively; while for TA-04, TA-05 and TA-06, the values were alarmingly low: 0.046, 0.780 and 0.700. This suggests that both lithological and structural factors are key determinants in the instability of these slopes.

Keywords: Geological assessment, Slope instability

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En la provincia de Celendín, ubicada en el sector Nor occidental del Perú, afloran rocas de varias edades, los que han sido afectadas por la acción de diversos procesos tectónicos, generando, en ellas, fracturas, fallas y plegamientos los que han contribuido a que sean atacadas fácilmente por la acción de la erosivos.

En la localidad de José Gálvez ubicada en la provincia de Celendín, afloran rocas del Grupo Goyllarisquisga, Fm. Inca, Fm. Chulec, Fm. Pariatambo, Fm. Yumagual, Fm. Cajamarca y Fm. Chota de edad cretácica. Estas rocas se encuentran fracturadas y meteorizadas. En esta localidad se ubican varios taludes inestables que necesitan ser estudiadas. Además, no existen trabajos puntuales de este tipo lo que dificulta su interpretación. Para realizar esta investigación se han planteado la siguiente interrogante ¿Como es el resultado de la evaluación geológica para la identificación de la inestabilidad de taludes ubicados en el distrito de José Gálvez? ¿Cuáles son los factores condicionantes de la inestabilidad de los taludes? Esta investigación se justifica porque se va a realizar una exhaustiva evaluación geológica para determinar la inestabilidad de los taludes presentes, los cuales serán representados en un mapa de zonificación. Tiene la finalidad de servir como material de apoyo a futuros trabajos que se realicen en esta zona y áreas adyacentes. Además de beneficiar a los pobladores del distrito de José Gálvez. Dentro de los objetivos están el de realizar la evaluación geológica de la inestabilidad de los taludes en los afloramientos de rocas presentes en el distrito de José Gálvez, describir la geología y realizar el mapa de zonificación de los taludes inestables.

El capítulo II, contiene los siguientes subcapítulos: El subcapítulo de Marco Teórico en donde se plasman los diferentes antecedentes referidos al tema, como los internacionales, nacionales y locales, el subcapítulo denominado como Bases Teóricas, en donde se plasman las bases teóricas que van a servir para realizar el tema de investigación. El tercer subcapítulo es denominado Definición de los Términos Básicos en donde se definen los términos que se fueron utilizando en la

tesis. El Capítulo III, lleva por título Materiales y Métodos en donde están los subcapítulos de la ubicación del área de estudio, los procedimientos, la metodología de la investigación, identificación de variables, las técnicas, los instrumentos y los equipos utilizados, además se describe a la geología y geomorfología del área de estudio. El Capítulo IV, contiene el Análisis y Discusión de Resultados, en donde se mencionan los resultados de la investigación, la Contrastación de la Hipótesis en donde se comparan los resultados obtenidos con la hipótesis. El capítulo V, contiene las conclusiones y recomendaciones donde dichas conclusiones son el resultado de los objetivos planteados. En la parte final están las referencias bibliográficas y dentro de los anexos están los planos y los análisis de muestras realizados.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1.1. Internacionales

Oliva et al. (2019), Inestabilidad del terreno en el área metropolitana de Tijuana: Análisis de una falla en la vía de acceso a un parque industrial. Llegan a las siguientes conclusiones: que el factor mínimo de seguridad obtenido para la condición de suelo parcialmente saturado es característico de un estado de equilibrio crítico que podría provocar la formación de la fisura y en consecuencia generar relajamiento del terreno y ocasionar hundimiento.

2.1.2. Nacionales

Gómez (2018) “Análisis de riesgos por inestabilidad de taludes en la subcuenca río Canipaco, Tramo distrito de Colca provincia de Huancayo departamento de Junín” llega a las siguientes conclusiones: determinando las zonas vulnerables por la situación de los taludes y laderas inestables en la subcuenca Canipaco se podría prevenir los daños materiales y agrícolas que ocasionan los fenómenos naturales en la zona; se determina que, realizando un análisis de riesgos de taludes y laderas inestables, se podría prevenir desastres naturales en la subcuenca Canipaco tramo distrito de Colca.

2.1.3. Locales

INGEMMET, (2011), en el estudio sobre movimientos de masa determina que la región de Cajamarca es muy propensa a sufrir una serie de movimientos de masa. El análisis estadístico efectuado determinó que los deslizamientos predominan con un porcentaje de 36,81%, seguida de caídas de rocas con 22,25%, flujos 17,83% y erosión de laderas 10,25%.

Ochoa (2010), realiza el estudio Peligros Geológicos en la cuenca alta del Rímac entre Tíclio y Matucana, en este estudio determina cualitativa y cuantitativamente los peligros geológicos existentes en las localidades de Tíclio y Matucana. Concluye que el entorno geográfico de montañas y valles de fuertes pendientes superiores a 30° ha condicionado la erosión y la geodinámica externa en la cuenca alta del río Rímac; reportándose alrededor de 230 peligros geológicos.

Carrara et al. (2008), manifiestan que los métodos estadísticos ofrecen mayor incertidumbre en los resultados de zonificación de susceptibilidad, debido a que en su análisis estadístico se fundamentan ponderaciones obtenidas con relaciones de la distribución espacial de factores condicionantes de la inestabilidad de la ladera y la de los deslizamientos observados; asumiéndose que los factores que causaron roturas en una región específica son similares a los que podrían generar deslizamientos en el futuro.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Movimientos en masa de taludes

Los Movimientos de masa en taludes son procesos esencialmente gravitatorios, por los cuales una parte de la masa del terreno se desplaza a un nivel inferior de la original. Este tipo de procesos está asociado con las precipitaciones altas y los movimientos originados por las placas tectónicas, los cuales son precursoras de los movimientos en masa, aumentando las fuerzas desestabilizadoras y reduciendo la resistencia del suelo al deslizamiento. (Trujillo et al. 2016)

Están referidos a un conjunto de procesos de denudación que están relacionados con la deformación del terreno y el desplazamiento más o menos rápida y localizada de diferentes volúmenes de suelo incluyendo material de suelos, detritos, bloques y masas de rocas, cuesta abajo, por incidencia de las fuerzas de desplazamiento (gravedad, movimientos sísmicos), a veces con participación del agua, del hielo y otros agentes. Algunos autores definen a los movimientos en masa los deslizamientos como el movimiento gravitacional hacia el exterior de la ladera y descendente de tierras o rocas. Sin la ayuda del agua. Como vemos las definiciones adoptadas para movimientos en masa son variados, como fenómenos de remoción en masa; para nosotros se entenderá como peligros geológicos por movimientos

en masa, a los procesos de movimiento lento o rápido que involucran roca, suelo o ambos por efectos de la gravedad.

2.2.2. Factores condicionantes

Son factores propios del fenómeno o intrínsecos, de acción estática o pasiva, que representa debilidades inherentes en rocas y suelos en las laderas, entre los factores condicionantes tenemos:

2.2.2.1. Estructuras geológicas

Las estructuras geológicas que están afectando a los materiales que constituyen una ladera como: fallas, fracturas, pliegues, planos de estratificación y foliación deben ser considerados porque éstas pueden favorecer o no los procesos de inestabilidad de laderas (Ayala, Carcedo y Olcinas, 2002).

2.2.2.2. Litología

Estos son los aspectos más importantes a tener en cuenta para la ocurrencia de movimientos de ladera es de tipo de material que constituya las laderas, sus propiedades químicas y físicas, la resistencia al esfuerzo, grado de meteorización y su forma de evaluación en cada ambiente natural (Mora y Vahrson, 1993).

2.2.2.3. Geomorfología

Las características morfométricas como la pendiente, altura, amplitud de la ladera, nos pueden dar una idea del grado de equilibrio de los materiales que la componen (Aguilar y Mendoza, 2002). Por ejemplo, se espera que ocurran movimientos de masa en pendiente moderadas a muy fuertes (Medina, 1991).

2.2.2.4. Hidrogeología

Los parámetros hidrogeológicos como la porosidad, capacidad de drenaje de los materiales, entre otros también influyen en la inestabilidad de laderas, cambios de la presión hidrostática, que pueden ser a la vez factores desencadenante por efecto de lluvias

2.2.3. Factores desencadenantes

Factores que tienen una acción activa en la remoción en masas en laderas, que originan la inestabilidad, estas variables que hacen que un movimiento de ladera

se active o desencadene aun en laderas en equilibrio. Entre los principales factores desencadenantes se tiene a la precipitación, sismicidad, sobrecarga, excavación. (Villacorta, 2011).

2.2.3.1 Precipitación

La frecuencia y tipo de precipitación son factores que desencadenan o reactivan los movimientos de ladera, porque al infiltrarse agua de lluvia y saturarse, el terreno pierde capacidad de absorción y puesto que esto implica mayor densidad, mayor presión de poros y pérdida de cohesión, el material falla. (Villacorta, 2011).

2.2.3.2. Sismicidad

La actividad sísmica es un factor significativo en el desencadenamiento o reactivación de movimientos de ladera. Las vibraciones provocadas por sismos pueden ser lo suficientemente fuertes como para originar deslizamientos de diversa magnitud, afectando extensas áreas. (Villacorta, 2011).

2.2.3.3. Actividad antrópica

Las actividades humanas en muchos casos han desencadenado la ocurrencia de movimientos de ladera. Un claro ejemplo es el caso ocurrido el 12 de enero del 2007 en Sao Paulo (Brasil), que, por la ejecución de obras subterráneas de ampliación del Metro, las paredes de la obra se hundieron dejando un socavón de cuarenta metros de profundidad. Asimismo, la extracción de materiales para la construcción o la sobrecarga en una ladera debida a la urbanización o la mala disposición de depósitos de acumulación de residuos sólidos. (Villacorta, 2011).

2.2.4. Tipos de movimientos en taludes

Según International Association of Engineering and Environment (IAEG) los movimientos en masa se clasifican con base en el tipo de movimiento y al material involucrado, lo cual genera todo un sistema de eventos.

Tabla 01. Clasificación de movimientos en masa.

Tipos de movimientos	Tipos de Material		
	Roca	Suelos ingenieriles	
		Detritos Predominantemente Granular (<80%arena y más fina)	Tierra Predominantemente fina (>80% arena y más fino)
Caídas	Caída de roca	Caída de detritos	Caída de tierra
Vuelcos	Vuelcos de rocas	Vuelco en suelo granular	Vuelco en suelo cohesivo
Deslizamiento	Deslizamiento de roca	Deslizamiento de detritos	Derrumbes de tierras Desplazamiento de tierra
Flujos	Flujo de roca	Flujo de detritos	Flujo húmedo de arena y limo
			Flujo rápido de tierra
	Reptación de Roca	Avalancha	Flujo loess
		Reptación de suelos Solifluxión	Flujo seco de arena Flujo de tierra
Complejo	Combinación de dos o más de los principales tipos de movimientos		

Fuente: Maldonado, (2022)

2.2.4.1. Caídas

Las caídas de rocas son movimientos abruptos de una masa rocosa, de cualquier tamaño, se desprende de un talud empinado o un acantilado, y desciende por lo común a través del aire por caída libre, saltos y/o rodando. La separación ocurre a lo largo de discontinuidades como fracturas, juntas, y planos de estratificación. Los movimientos son muy rápidos a extremadamente rápidos. Las caídas son fuertemente influenciadas por la gravedad, intemperismo mecánico, y la presencia de agua intersticial dentro de las caídas se pueden diferenciar dos tipos de movimientos. Son movimientos rápidos de una masa rocosa, de cualquier tamaño, se arranca de un talud empinado o un acantilado, y desciende a través del aire por caída libre, saltos, rodando. Se pueden diferenciar dos tipos de movimientos:

2.2.4.2. Caída de roca (detritos o suelo)

Fenómenos que presentan una ruptura brusca de un bloque o una masa rocosa o de suelo, de una ladera con talud de pendiente fuerte o un acantilado rocoso, con una caída libre donde el mayor recorrido de su desplazamiento se da en el medio aéreo, se producen en rocas muy fracturadas, debido a factores desencadenantes como lluvias intensas, sismos, erosiones, socavamiento, explosione. (Maldonado, 2020).

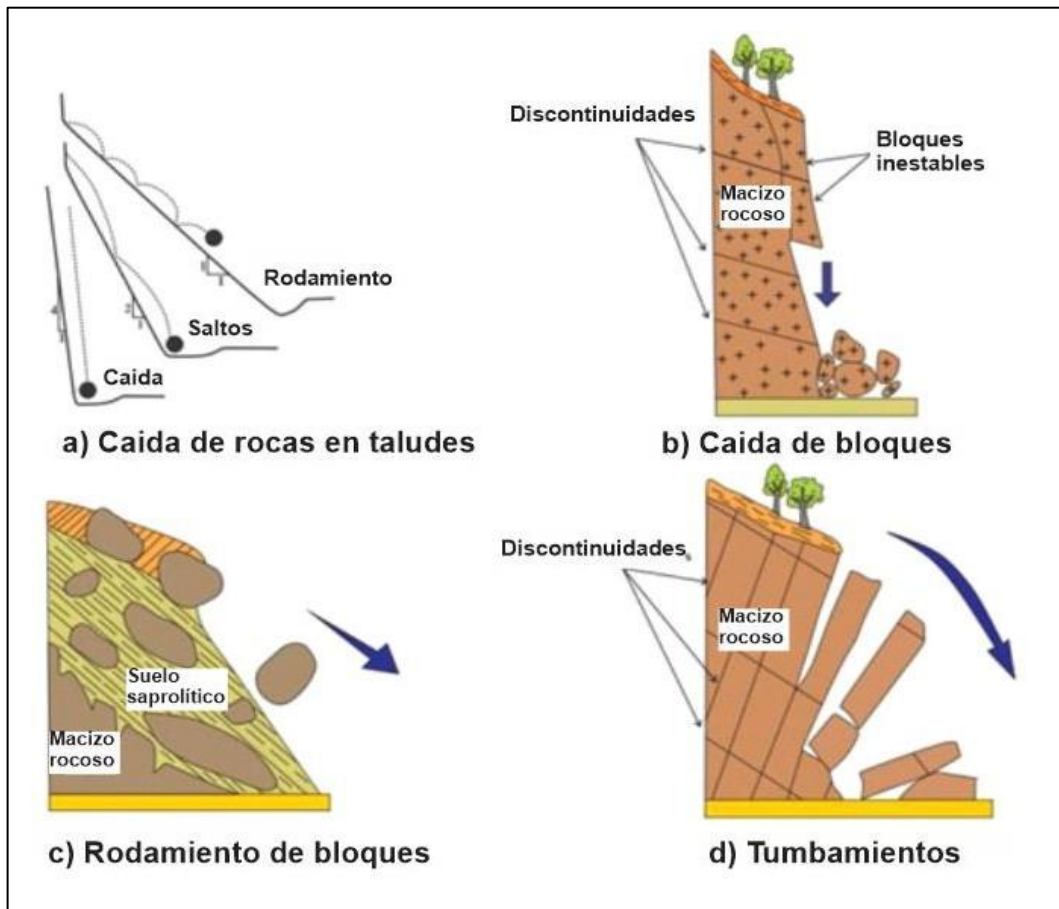


Figura 1. Esquemas de los tipos de movimientos de los bloques

Fuente: Maldonado, (2020)

2.2.4.3. Flujos

Son movimientos de material litológico de textura fina y gruesa que se desplazan a lo largo de una superficie, exhibe un comportamiento semejante a un fluido, puede ser rápido o lento, saturado o seco. Son movimientos espacialmente continuos en los que las superficies de cizalla tienen corta vida, se encuentran muy próximas y generalmente no se conservan. La distribución de velocidades en la masa desplazada se parece a la que se presenta en un fluido viscoso. Por este motivo, la masa movida no conserva la forma en su movimiento descendente, adoptando a menudo formas lobuladas cuando interesan a materiales cohesivos y desparramándose por la ladera o formando conos de deyección cuando afectan a materiales granulares. (Suárez, 1998).

En general, con la disminución de la pendiente a medida que aumenta la distancia desde su fuente, los flujos van perdiendo su carga sólida, por lo que van pasando paulatinamente a flujos de barro y finalmente a inundaciones o flujos

hiperconcentrados, donde la fracción sólida varía generalmente entre 1 a 25% en volumen original (Pierson y Scott, 1985). Generalmente asociados a la presencia de agua, se subdividen en:

Flujos de roca. Comprenden las deformaciones que se distribuyen a lo largo de muchas fracturas grandes y pequeñas. Este tipo de movimiento ocurre en laderas muy empinadas mayores a 45 grados. Son ligeramente húmedos y de velocidad rápida a muy rápida (Suárez, 1998).

Flujos de detritos (escombros). Se pueden considerar como la terminación de un flujo de rocas; fragmentos de roca se van formando debido al transporte del material. Estos flujos se clasifican en:

2.2.4.4. Flujos de detritos

Conocidos también como huaycos, son corrientes que se caracterizan por flujos muy rápidos o avenidas intempestivas de agua turbia, que arrastra a su paso materiales de diferentes características provenientes de la meteorización de las rocas, estos van desde suelos finos hasta enormes bloques de roca, maleza y árboles, que pierden su estabilidad estructural por efecto del agua. Se desplazan a lo largo de un cauce definido con desbordes laterales, en su parte terminal está conformado por un abanico coluvial. (Andrés, 2019).

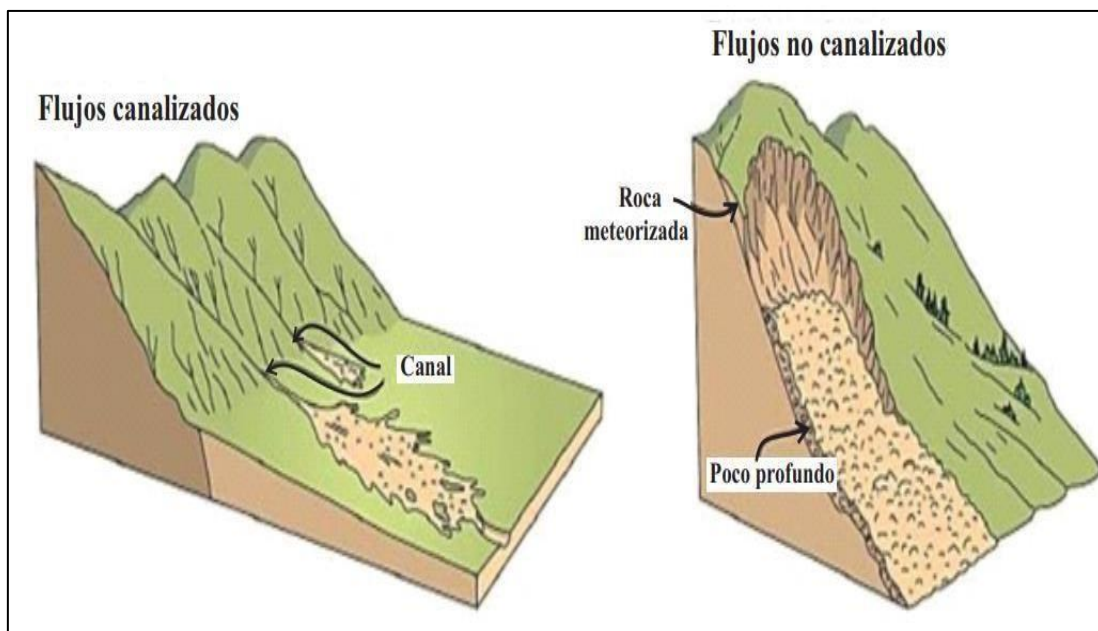


Figura 2. Esquema de flujos canalizados y no canalizados

Fuente: Maldonado, (2020)

2.2.4.5. Flujo de lodo

Es un flujo de tierra en donde el material está bastante húmedo para que pueda fluir rápidamente, contiene menos del 50% de partículas de tamaño de arenas, limos y arcillas. El movimiento del flujo del lodo se debe a la gravedad, duración de las lluvias y su velocidad depende en mayor grado por la pendiente del terreno por donde se desplazan y de la viscosidad del lodo, con influencia de las dimensiones del canal y la rugosidad de su superficie. (Andrés, 2019).

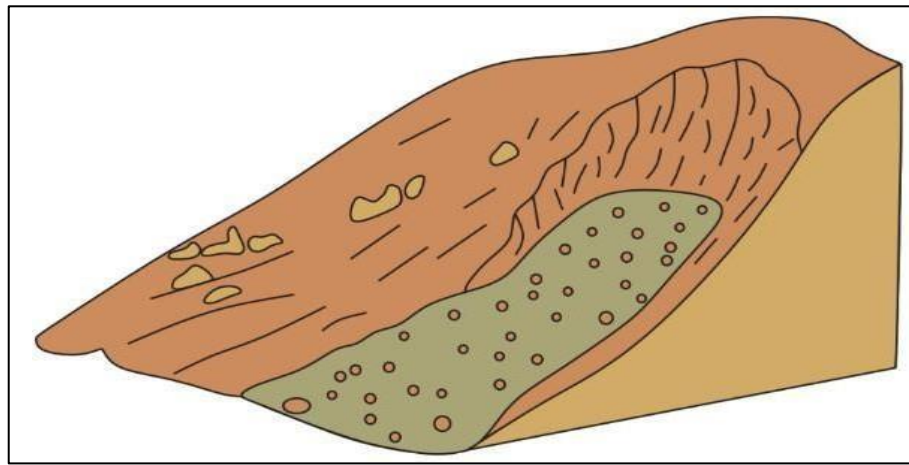


Figura 3. Esquema de flujos de lodos

Fuente: Maldonado, (2020)

2.2.4.6. Avalancha de detritos

Es una variedad de flujo de detritos no canalizado muy rápida a extremadamente rápida, puede desplazarse sobre áreas abiertas en laderas de alta pendiente.

2.2.4.7. Derrumbes

Es la disgregación generalmente de roca, que forma en la base un depósito caótico de material grueso, producido por el socavamiento de la base de riveras fluviales, áreas costeras, acantilados rocosos, en laderas de moderada a fuerte pendiente, por acción de lluvias, movimientos sísmicos y antrópicos. Se desarrollan cuando el agua se acumula rápidamente en el suelo, a raíz de lluvia intensa o deshielos rápidos, convirtiendo el terreno en un río de barro. El barro puede fluir rápidamente por una ladera o quebradas y ataca con poco o sin aviso, a gran velocidad. puede viajar muchos kilómetros desde su origen, aumentando de tamaño a medida que arrastra árboles, autos y otros elementos en el camino. Generalmente se repiten en lugares donde ya han sucedido antes. (Maldonado, 2020)

2.2.4.8. Vuelcos

Son movimientos debido a fuerzas que causan un movimiento de rotación alrededor de un punto de giro localizado en un punto inferior, bajo la acción de la gravedad y fuerzas ejercidas por unidades adyacentes, se consideran que se producen exclusivamente en rocas, condicionados por la disposición estructural de los estratos contra el talud y/o un sistema de discontinuidades bien desarrollado.

Se conoce como vuelco de rocas al tumbamiento de una columna de roca en una ladera o pared natural. Los vuelcos se dan cuando una masa de rocas rota cae hacia adelante (cuesta abajo). Una vez que la inclinación es suficiente ocurre una ruptura que desprende a la masa de roca dando paso a su caída y fragmentación. El desprendimiento es a veces posible debido a la ocurrencia de fracturas preexistentes. Una causa de vuelco de rocas es la socavación por erosión o meteorización de la base de una columna. Otras causas pueden ser un empuje gradual al vuelco debido a cambios de volumen de materiales ricos en arcilla o el sobre-empinamiento de la ladera debido a la erosión. Fuente: (Maldonado, 2020).

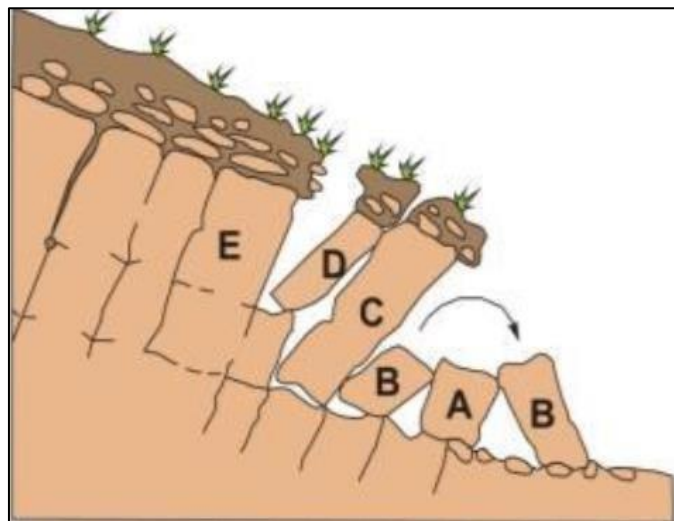


Figura 4. Esquema de vuelco

Fuente: Maldonado, (2020)

2.2.5. Deslizamiento

Consiste de una deformación por corte y desplazamiento a lo largo de una o varias superficies visibles o que pueden inferirse, dentro de una zona más o menos estrecha. Los deslizamientos de tierra son causados por alteraciones en el equilibrio natural de una pendiente. Pueden ocurrir durante lluvias torrenciales o producirse

luego de sequías, terremotos o erupciones volcánicas. Se denomina también como el movimiento de masa rocosa o de los suelos por la pérdida de la estabilidad que puede ser por la saturación de agua, presencia de materiales arcillosos, fuertes inclinaciones de las vertientes y otras causas. La acción humana puede acelerar muchas veces el proceso de deslizamiento por la utilización sin el estudio adecuado de las áreas de posible de deslizamiento. Este movimiento consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies. El movimiento puede ser progresivo, o sea, que no se inicia simultáneamente al largo de toda la superficie de falla. Los deslizamientos pueden ser de una sola masa que se mueve, o pueden comprender varias unidades o masas semiindependientes (Suárez, 1985). Los deslizamientos se dividen en dos subtipos, de acuerdo con el mecanismo de ruptura. Este movimiento consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies, que pueden detectarse fácilmente o dentro de una zona relativamente delgada. El movimiento puede ser progresivo, o sea, que no se inicia simultáneamente a lo largo de toda, la que sería, la superficie de falla. Los deslizamientos pueden ser de una sola masa que se mueve o pueden comprender varias unidades o masas semi-independientes. Los deslizamientos pueden obedecer a procesos naturales o a desestabilización de masas de tierra por el efecto de cortes, rellenos, deforestación.

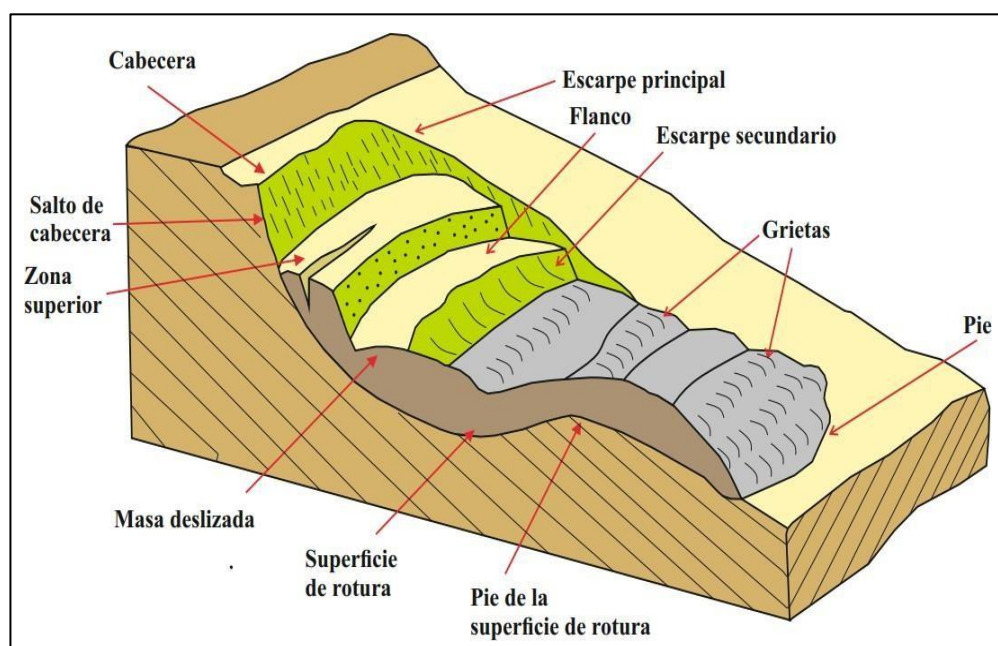


Figura 5. Partes de un deslizamiento

Fuente: Maldonado, (2020)

Los deslizamientos se pueden a su vez dividir en dos subtipos denominados deslizamientos rotacionales y traslacionales o planares. Esta diferenciación es importante porque puede definir el sistema de análisis y estabilización a emplearse. Existen dos tipos de deslizamientos o derrumbes:

2.2.5.1. Deslizamientos lentos

Son aquellos donde la velocidad del movimiento es tan lenta que se percibe cuando ha ocurrido varias veces en el mismo lugar. Este tipo de deslizamiento se puede mirar de manera tal que frecuentemente arrastran parte de la capa vegetal, sólo es un pequeño desprendimiento de tierra y muy lento. (Maldonado, 2020).

2.2.5.2. Deslizamientos rápidos

Son aquellos donde la velocidad del movimiento es tal que la caída de toda la tierra o las rocas puede darse en pocos minutos o segundos. Son frecuentes durante las épocas de lluvias o actividades sísmicas intensas. Como son difíciles de identificar, ocasionan importantes pérdidas materiales y personales. Fuente: (Maldonado, 2020).

2.2.5.3. Deslizamiento rotacional

Se produce a lo largo de una superficie de ruptura de forma circular o semicircular y cóncava hacia arriba, su velocidad varía de lenta a moderada, teniendo gran influencia la inclinación de la superficie de ruptura en el pie del deslizamiento, se puede producir en rocas muy fracturadas, detritos y suelo. En un deslizamiento rotacional la superficie de falla es formada por una curva cuyo centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento, Visto en planta el deslizamiento posee una serie de agrietamientos concéntricos y cóncavos en la dirección del movimiento. El movimiento produce un área superior de hundimiento y otra inferior de deslizamiento generándose comúnmente, flujos de materiales por debajo del pie del deslizamiento. En muchos deslizamientos rotacionales se forma una superficie cóncava en forma de “cuchara”. Generalmente, el escarpe debajo de la corona tiende a ser semivertical, lo cual facilita la ocurrencia de movimientos retrogresivos. El movimiento, aunque es curvilíneo no es necesariamente circular, lo cual es común en materiales residuales donde la resistencia al corte de los materiales aumenta con la profundidad. La rotura se produce a lo largo de una superficie curvilínea y cóncava. El terreno experimenta un

giro según un eje situado por encima del centro de gravedad de la masa deslizada. El material de cabecera efectúa una inclinación contra ladera, generando depresiones donde se acumula el agua e induce nuevas reactivaciones. Este tipo de mecanismo es característico de suelos cohesivos homogéneos y de macizos rocosos intensamente fracturados. (Suárez, 1998).

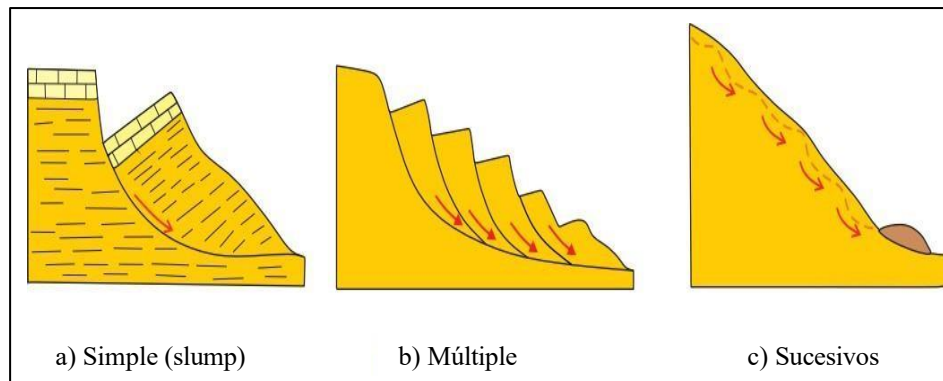


Figura 6. Tipos de deslizamientos rotacionales

Fuente: Maldonado, (2020)

2.2.5.4. Deslizamiento traslacional

Se produce a lo largo de una superficie de ruptura plana o suavemente ondulada; frecuentemente controlada o relacionada estructuralmente con superficies de debilidad como son las fallas, diaclasas, planos de estratificación, o por contacto entre substrato rocoso firme y depósitos suprayacentes superficiales, se pueden producir en roca, suelos y detritos. Millan (2019). En el deslizamiento de traslación el movimiento de la masa se desplaza hacia fuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo. Los movimientos de traslación son comúnmente controlados por superficies de debilidad tales como fallas, juntas, fracturas, planos de estratificación y zonas de cambio de estado de meteorización que corresponden en términos cuantitativos a cambios en la resistencia al corte de los materiales o por el contacto entre la roca y materiales blandos o coluviones. En muchos deslizamientos de traslación la masa se deforma y/o rompe y puede convertirse en flujo. Los deslizamientos sobre discontinuidades sencillas en roca se les denomina deslizamientos de bloque, cuando ocurren a lo largo de dos discontinuidades se le conoce como deslizamiento de cuña y cuando se presentan sobre varios niveles de una familia de discontinuidades se le puede denominar falla en escalera.

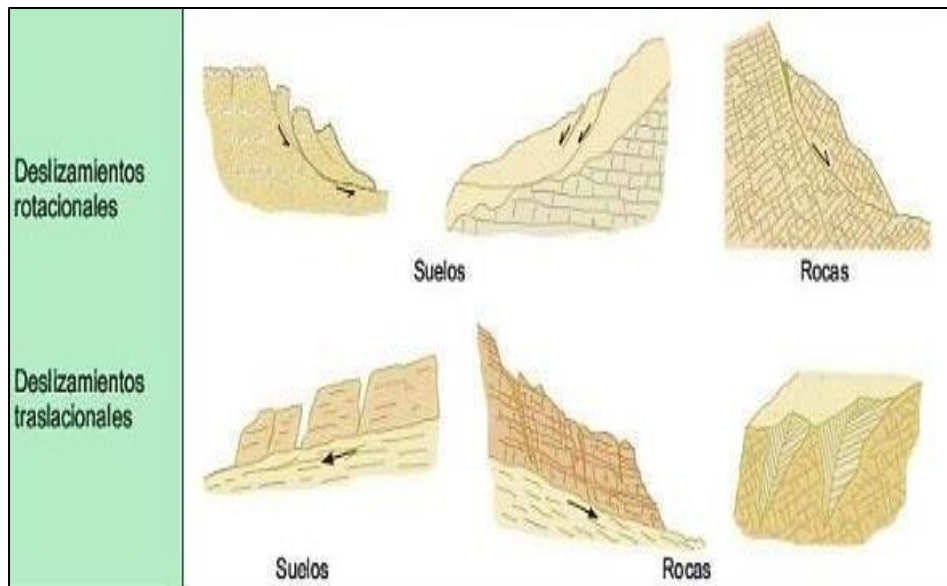


Figura 7. Tipos de deslizamientos por ruptura

Fuente: Maldonado, (2020)

2.2.6. Tipos de deslizamientos

Según la profundidad pueden ser deslizamientos superficiales o profundos. Nos referimos a deslizamientos superficiales, también llamados “soil slip” (Cruden y Varnes, 1996), cuando el material desplazado normalmente se mueve sobre una zona estrecha de cizallamiento a una zona de roca fresca o ligeramente meteorizada, un horizonte podogénico o una superficie estructural en correspondencia a una unión permeable/impermeable, la superficie de falla generalmente se desarrolla en el contacto entre el regolito y el lecho rocoso y es aproximadamente paralelo a la superficie del suelo. La superficie de ruptura se encuentra por debajo de 1 m de profundidad y son usualmente desencadenados por lluvias cortas de intensa duración o en algunos casos por lluvia prolongadas, pero menos intensas. Por tanto, los deslizamientos profundos son aquellos en el cual la superficie de ruptura es mayor a 1 m de profundidad.

2.2.7. Elementos del deslizamiento

2.2.7.1. Altura

Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales, pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados (Suárez, 1995).

2.2.7.2. Pie

Cabeza o escarpe se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior (Suárez, 1998).

2.2.7.3. Altura de nivel freático

Distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medida debajo de la cabeza (Suárez, 1998).

Es la medida de la inclinación del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación $m/1$, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical (Suárez, 1998).

2.2.8. Dimensiones de un deslizamiento

2.2.8.1. Ancho de la masa desplazada

Ancho máximo de la masa desplazada perpendicularmente a la longitud.

2.2.8.2. Ancho de la superficie de falla

Ancho máximo entre los flancos del deslizamiento perpendicularmente a la longitud.

2.2.8.3. Longitud de la masa deslizada

Distancia mínima entre la punta y la cabeza.

2.2.8.4. Longitud de la superficie de falla

Distancia mínima desde el pie de la superficie de falla y la corona.

2.2.8.5. Profundidad de la superficie de falla

Máxima profundidad de la superficie de falla con respecto a la superficie original del terreno.

2.2.8.6. Longitud total

Distancia mínima desde la punta a la corona del deslizamiento.

2.2.8.7. Longitud de la línea central

Distancia desde la punta o uña hasta la corona del deslizamiento a lo largo de puntos sobre la superficie original equidistantes de los bordes laterales o flancos.

2.2.8.8. Tamaño del deslizamiento

En cuanto a la magnitud no hay tamaños estandarizados para la descripción de deslizamientos que pueda proporcionar alguna referencia. La tabla 6 es usada en

el presente trabajo de investigación, como guía para describir el tamaño de deslizamientos.

Tabla 02. Tamaño de deslizamientos por área en proyección horizontal

Descripción	Área (pies2)	Área (m2)
Muy pequeña	<2000	<200
Pequeña	2,000- 20,000	200- 2,000
Media	20,000- 200,000	2,000- 20,000
Extensa	200,000- 2,000,000	20,000- 200,000
Muy extensa	2,000,000- 20,000,000	200,000- 2,000,000
Enorme	>20,000,000	>2,000,000

Fuente: Conforth, (2005)

2.2.8.9. Movimientos complejos

Se les denomina complejos, debido a que se producen por una combinación de dos o más de los tipos descritos anteriormente (Suárez, 1998). Un movimiento de masa, no incluido en esta clasificación, es el conocido como reptación (creep), que por sí sólo puede afectar grandes áreas y preceder otros tipos de movimientos de masa. Pueden movimientos desde lentos hasta extremadamente lentos (unos pocos centímetros por año) del suelo subsuperficial, sin una superficie de falla definida (Suárez, 1985).

2.2.8.10. Reptación de suelos

Son movimientos extremadamente lentos casi imperceptibles según la pendiente de una parte de la ladera natural, que comprometen a una masa de suelo detrítico coluvial con abundante matriz arcillosa y/o rocas blandas, susceptibles de experimentar deformación elastoplástica. El movimiento no es homogéneo y dentro de la masa se distingue varios movimientos parciales, con desplazamientos verticales del orden de centímetros y el horizontal casi nulo. (Andrés, 2019).

Movimiento lento del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La reptación puede ser de tipo estacional, cuando se asocia a cambios climáticos o de humedad del terreno, y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo. (Maldonado, 2020).

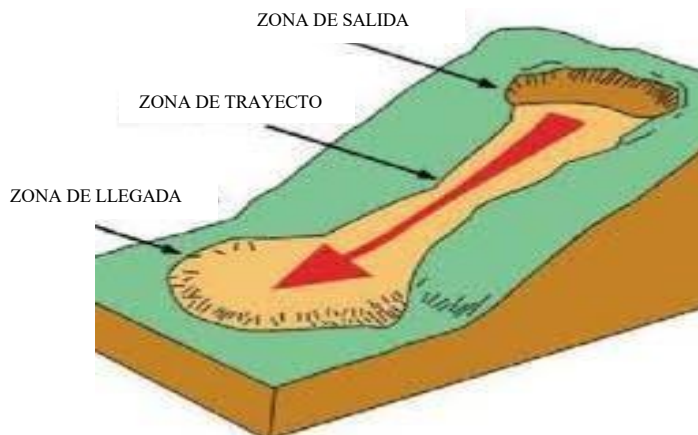


Figura 8. Esquema de reptación superficial

Fuente: Maldonado, (2020)

2.2.8.11. Erosión de laderas

La erosión de los suelos es producto de la remoción del material superficial por acción del agua o viento. El proceso se presenta gracias a la presencia de agua en forma de precipitación pluvial y escorrentías en contacto con el suelo. La construcción de muchas obras de ingeniería, así como el asentamiento de centros poblados y la habilitación de muchas zonas como terrenos de cultivo, exigen la remoción de la cobertura vegetal y excavaciones del suelo. Estas acciones, conlleva a la generación de problemas en laderas y cursos de agua por la generación e incorporación de suelo removido a las corrientes, los cuales pueden alterar ecosistemas naturales y generan problemas de sedimentación. (Andrés, 2019).

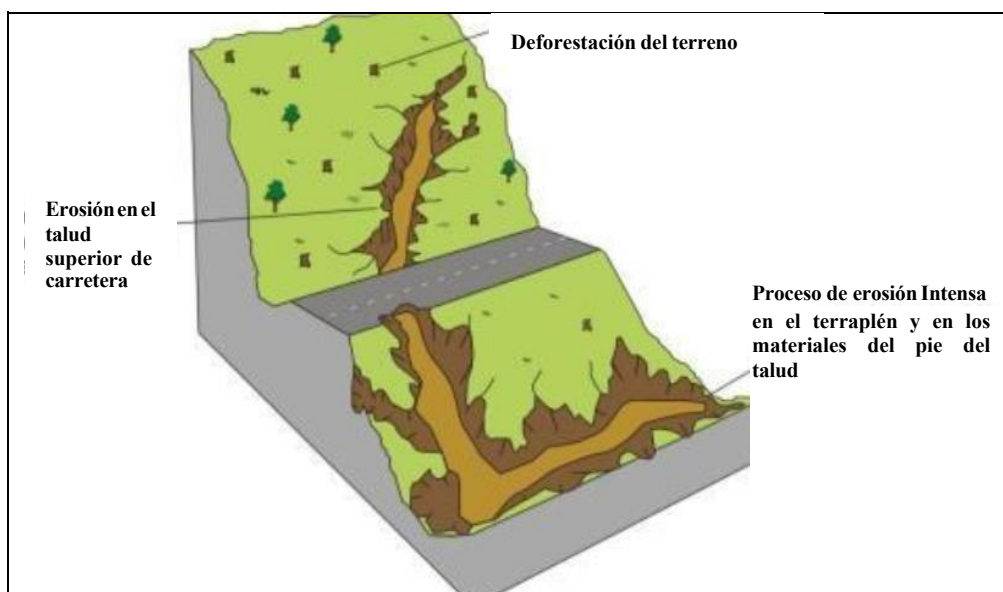


Figura 9. Esquema de erosión de laderas

Fuente: Maldonado, (2020)

2.2.8.12. Cárcavas

Es un tipo de erosión que se caracteriza por presentar surcos que se forman por el escurrimiento de las aguas sobre la superficie de las laderas. La presencia de cárcavas en el terreno, indica un grado avanzado de degradación, ya que, si las pequeñas incisiones por las que circula el agua en la ladera no se eliminan, estas irán progresando en el sentido aguas arriba captando desprendimientos y derrumbes de materiales de mayor tamaño debido a la falta de cohesión por exceso de humedad. En la formación de cárcavas, el agua arranca y transporta partículas del fondo y paredes del canal en las que pueden producirse deslizamientos, lo que genera cantidades importantes de material que, una vez movilizado, puede producir efectos aguas abajo. El proceso se debe a una perturbación hidrológica en el área. La mayoría de las cárcavas se forman debido a una mezcla de actividades humanas y la acción de procesos erosivos, que también pueden ser acelerados por la acción humana. Influyen en su formación las condiciones de la pendiente, la permeabilidad del sustrato y la mayor o menor presencia de precipitaciones. Andrés (2019).

2.2.9. Peligros geológicos

Los peligros geológicos es la probabilidad de que ocurra un fenómeno potencialmente dañino dentro de un periodo de tiempo especificado en un área dada. También se define como "la capacidad de daño (personal y material) de un fenómeno con respecto al tiempo. Si el tiempo es muy grande (por ejemplo, miles de años), el riesgo es despreciable si se compara con la duración de una civilización", por tanto, se puede decir que riesgo geológico es todo fenómeno geológico adverso a construcciones pasadas, presentes o futuras o el uso de tierras, significando un riesgo para la salud, seguridad pública o de sus bienes.

Los peligros geológicos de índole natural, es decir, aquellos que no se producen en origen por acción antrópica, aunque los pueda potenciar, pueden originarse de dos tipos; los de tipo endógeno que tienen lugar en el interior de la tierra y originan fenómenos naturales como los sismos, los tsunamis y los volcanes; y los de tipo exógeno que se presentan en la superficie terrestre como intemperismo, erosión y acumulación, debido a las acciones de la gravedad, agua, aire, sol y otros factores que, en conjunto, dan composición, forma y estructura a la superficie terrestre. Los peligros geológicos comprenden los temas de: fallas y fracturas, erosión, sismos, volcanes, tsunamis, hundimientos, deslizamientos, derrumbes y flujos de lodo.

2.2.9.1. Factores Naturales

- a) Condiciones de roca y suelo: Suelo saturado de agua, escombros poco consolidados y rocas fracturadas pueden generar deslizamiento.
- b) Topografía: La inclinación de las laderas es un factor determinante en la Formación de movimientos en masa. En general, mientras más grande es la pendiente, mayor es la amenaza.
- c) Lluvia: La cantidad y duración de la lluvia controlan la desestabilización de una ladera.
- d) Actividad sísmica: Cuando se produce un temblor se generan vibraciones que pueden afectar el equilibrio de las laderas y originar movimientos en masa. Cuanto mayor sea la intensidad, duración y frecuencia de la actividad sísmica, mayor es la amenaza.

2.2.9.1.1. Zonificación de la susceptibilidad y de peligros

La zonificación de la susceptibilidad y/o amenaza es una herramienta útil y es usada en casi todos los lugares del mundo, donde existe propensión a los movimientos de masa. Se han elaborado diversas técnicas para desarrollar la zonificación, teniendo en cuenta factores como la escala de trabajo, la relación costo-beneficio, el objeto del estudio, información disponible, tiempo requerido, precisión de los resultados, capacidad de análisis, experiencia de los investigadores, etc. La zonificación de la susceptibilidad y/o amenaza requiere un detallado inventario de los procesos de inestabilidad; el estudio de estos procesos en relación con su marco ambiental; el análisis de los factores de susceptibilidad y disparo; la representación espacial de los factores y de los procesos de inestabilidad. Nuevas herramientas como los Sistemas de Información Geográfica y el uso de sensores remotos, agilizan cada vez el tratamiento de la información, permitiendo rápidamente la actualización de la misma. Estudios de susceptibilidad y/o amenaza multitemporal permiten predecir con más confiabilidad las áreas, observando el desarrollo de la inestabilidad en el tiempo y más rapidez en la captura de variables involucradas en los análisis. Las técnicas de zonificación están en desarrollo constante, y cada día surgen nuevos métodos, más precisos y confiables, que pueden ser usados en diversas regiones a un costo razonable. Un mapa ideal de susceptibilidad y/o amenaza por movimientos de masa, debería proveer información sobre la probabilidad de

ocurrencia espacial y temporal, tipo, magnitud, velocidad, distancia de recorrido, y límite de regresión de los movimientos de masa en cierta área de interés (Suárez, 1998). Los métodos estadísticos ofrecen mayor incertidumbre en los resultados de zonificación de susceptibilidad, debido a que en su análisis estadístico se fundamentan ponderaciones obtenidas con relaciones de la distribución espacial de factores condicionantes de la inestabilidad de la ladera y la de los deslizamientos observados; asumiéndose que los factores que causaron roturas en una región específica son similares a los que podrían generar deslizamientos en el futuro.

2.2.9.2. Actividad Humana:

Excavaciones para la construcción de viviendas, escuelas, canales, carreteras, sobrecargas como resultado del aumento de peso. Los factores que intervienen en la ocurrencia de los diferentes tipos de los peligros geológicos son los siguientes:

- a) La naturaleza de los materiales: La litología, en muchos casos de baja calidad, tanto por su grado de meteorización y/o fracturamiento, los depósitos coluviales, esto condiciona mayor erosión en el suelo coluvial y mayor disponibilidad en las rocas fracturadas. (Carrara et. al. 2008).
- b) La topografía: Las pendientes que presenta la zona de estudio en su mayoría es fuerte, en estos lugares se observa gran concentración de peligros geológicos. El grado de pendiente determina, en gran medida, la velocidad del movimiento, en terrenos con pendientes entre 50° y 30° se producen todo tipo de movimientos en masa más o menos lento, por encima de 30° ocurren con mayor frecuencia movimientos rápidos. (Carrara et. al. 2008).
- c) Factores climáticos: Uno de los principales factores para que se den los diferentes tipos de peligros geológicos, las precipitaciones pluviales en esta zona son constantes entre los meses de noviembre a abril, generando la saturación de los depósitos coluviales, infiltración de las aguas por fracturas y diaclasas y el incremento del caudal de los ríos. (Carrara et. al. 2008).
- d) La vegetación: Tiene una influencia en la ocurrencia de los diversos tipos de peligros, algunos árboles tienen raíces superficiales que no amarran y no detienen ningún fenómeno que fuera a ocurrir debido a que existe escaso

material de cobertura por la pendiente que presentan las laderas, por otro lado, existen otros árboles que introducen sus raíces por las fracturas de las rocas, separándolas aún más, debilitando el macizo, generando así derrumbes y/o caída de rocas. (Carrara et. al. 2008).

2.2.9.3. Susceptibilidad

Se define como la posibilidad de que una zona quede afectada por un determinado proceso, y se expresa a través de distintos grados cualitativos y relativos. Depende de los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos, que pueden ser intrínsecos de los materiales geológicos o controlados por un factor externo. Los mapas de susceptibilidad pueden realizarse en base a mapas inventario: áreas que sufren o han sufrido procesos que pueden volver a sufrirlos y mapas de factores: las áreas en las que confluyen determinados factores que condicion los procesos de una determinada zona o región, aunque estos no se hayan presentado hasta la actualidad, pueden ser afectados en un futuro.

La determinación de la susceptibilidad a movimientos en masa constituye una herramienta técnica básica para la prevención de futuros eventos geológicos en cualquier territorio. Su zonificación a partir de parámetros intrínsecos del terreno (condicionantes), son independientes de la ocurrencia de eventos detonantes (lluvias prolongadas o intensas, sismos o actividad antrópica).

2.2.10. Zonificación de la susceptibilidad y la amenaza

La zonificación de la susceptibilidad y/o amenaza es una herramienta útil y es usada en casi todos los lugares del mundo, donde existe propensión a los movimientos de masa. Se han elaborado diversas técnicas para desarrollar la zonificación, teniendo en cuenta factores como la escala de trabajo, la relación costo-beneficio, el objeto del estudio, información disponible, tiempo requerido, precisión de los resultados, capacidad de análisis, experiencia de los investigadores, etc. La zonificación de la susceptibilidad y/o amenaza requiere un detallado inventario de los procesos de inestabilidad; el estudio de estos procesos en relación con su marco ambiental; el análisis de los factores de susceptibilidad y disparo; la representación espacial de los factores y de los procesos de inestabilidad. (CENEPRED, 2014).

Los métodos estadísticos ofrecen mayor incertidumbre en los resultados de zonificación de susceptibilidad, debido a que en su análisis estadístico se

fundamentan ponderaciones obtenidas con relaciones de la distribución espacial de factores condicionantes de la inestabilidad de la ladera y la de los deslizamientos observados; asumiéndose que los factores que causaron roturas en una región específica son similares a los que podrían generar deslizamientos en el futuro. (Carrara et. al. 2008).

2.2.11. Mapas de susceptibilidad

El mapa de susceptibilidad es un mapa en el cual se zonifica las unidades de rocas o suelo que muestran una actividad de deslizamientos similar o de igual potencial de inestabilidad, la cual es obtenida de un análisis multivariable entre los factores entre los factores que pueden producir movimiento de masa y el mapa de inventario de movimiento de masa. (ÍNDECI, 2011).

No existe un método estandarizado para la preparación de mapas de susceptibilidad a los movimientos de masa y existe mucha libertad en la determinación en la determinación de los pasos a seguir.

En áreas de montañas de alta pendiente y valles semiplanos se pueden identificar las áreas de acuerdo a su topografía. Si se posee un mapa geológico, a cada formación se le puede asignar un grado de susceptibilidad y se puede combinar formación geológica y topografía para identificar áreas diferentes dentro de la misma formación. (ÍNDECI, 2011).

2.2.12. Las fuerzas que afectan a taludes

Las fuerzas que afectan a los deslizamientos son de dos tipos: Fuerzas desestabilizantes (FD), Fuerzas resistentes (FR).

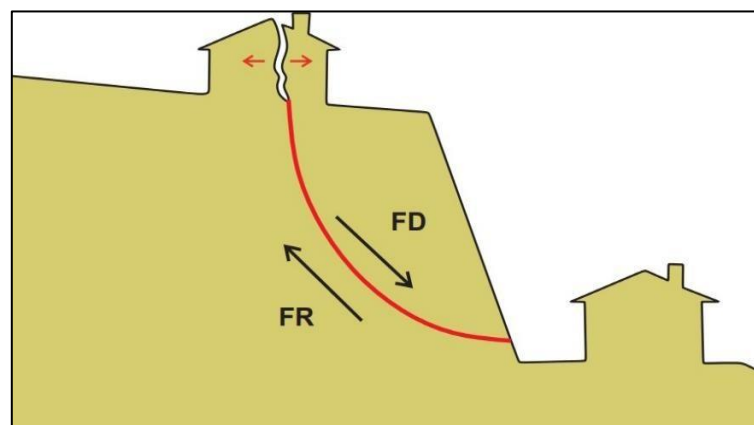


Figura 10. Representación de las fuerzas

Fuente: Aizpiri et al, (2014)

2.2.13. Método Heurístico o Empírico

Basado en el juicio de los expertos. El experto puede decidir las variables y clases en que subdivide cada variable, y sobre todo el peso de las clases y el peso de las variables. De tal forma que obtiene una ecuación de susceptibilidad tal como:

$$S_n = W_1w_c + W_2w_c + W_3w_c + W_nw_c$$

Donde:

S_n : es el valor de la susceptibilidad de la celda n

W_i : es el peso de la variable i

W_c : es el peso de la clase a la cual pertenece la celda n en cada variable.

Los criterios utilizados generalmente por el experto son evidencia de actividad reciente, el ambiente geomorfológico de cada unidad identificada, tipo de material y sus condiciones geomecánicas, pendiente de las laderas, relación con las unidades adyacentes, entre otros. Entre las ventajas que se destacan de los métodos heurísticos está el papel dominante de la opinión del experto en el análisis, que puede ser un método utilizado en teoría a cualquier escala, sin embargo, no son muy usados en escalas de detalle. También se destacan como ventaja que puede permitir una zonificación rápida incluyendo una gran cantidad de variables, y finalmente que cada polígono o unidad de análisis individual puede ser evaluado separadamente de acuerdo con su conjunto de condiciones únicas.

2.2.14. Ponderación

La ponderación se realiza analizando la mayor y menor frecuencia, por ejemplo: en los datos de campo se tiene una mayor frecuencia que es 20 y la menor frecuencia es 10. La diferencia entre 20 y 10 será 10. Como la ponderación va de 1 (mínimo) y 5 (máximo). El valor de 10 es dividido entre 5. Esta división da 2.0, este valor a su vez se suma a la menor frecuencia hasta llegar a la mayor frecuencia. (CENEPRED, 2014).

$$10+2=12$$

$$12+2=14$$

$$14+2=16$$

$$16+2=18$$

$$18+2=20$$

Tabla 03. Ejemplo de cálculo de ponderación

Calculo	Ponderación
(10.0- 12.0) (menor valor)	1
(12.1- 14.0)	2
(14.1- 16.0)	3
(16.1-18.0)	4
(18.1- 20.0) (mayor valor)	5

Fuente: INGEOMINAS, (2000)

2.2.15. Medidas de dispersión

Rango: El rango de un conjunto de datos es el valor mayor ($V_{\text{máx}}$) de nuestras operaciones, claramente influenciado por valores extremos.

RANGO = Valor máximo - Valor mínimo.

El intervalo de una clase es la amplitud dividida entre el número de clases.

INTERVALO = $(V_{\text{máx}} - V_{\text{mín}}) / N^{\circ}$ de clases.

Un ejemplo se observa en la tabla siguiente: Numero de clase= $1 + \log_2 (N)$

Donde $N=5$

Numero de clase= $1 + 0.75$

Numero de clase= 2

El intervalo será de 2

Tabla 04. Ejemplo de grados de susceptibilidad

Valor	Intervalo	Grado de susceptibilidad
1	< 0.25	Muy baja
2	0.26 - 0.5	Baja
3	0.51 - 1.0	Moderada
4	1.01 - 2.0	Alta
5	2.01 - 4	Muy Alta

Fuente: INGEOMINAS, (2000)

2.2.16. Parámetros estadísticos

La metodología probabilística de semi aproximación cuantitativa usada mediante la técnica de densidad de puntos propuesta por INGEOMINAS (2000), requiere de procesamiento estadísticos de dispersión, distribución y categorización de las ponderaciones de susceptibilidad.

2.2.17. Método Probabilístico

El método probabilístico permite establecer relaciones estadísticas entre una serie de factores condicionantes de los movimientos de masa como la litología, pendiente, geomorfología etc. y la distribución actual y/o pasada de los movimientos a escala de detalle. Su uso requiere crear una base de datos que incluya toda la información. (Carrara et al, 2008).

2.2.18. Análisis Estadístico Univariado o Divariado

Está considerado como un análisis de aproximación semi cuantitativa que permite estimar la posibilidad de ocurrencia de movimientos en masa en una determinada área. El procesamiento consta en determinar cuantitativamente el grado de influencia que cada variable o factor intrínseco (subunidades de mapas temáticos) tiene en la susceptibilidad, se desarrolla calculando la sumatoria de las áreas de cada tipo de movimiento en masa que se encuentre dentro de las áreas que abarca cada unidad cartográfica (INGEOMINAS, 1998).

Esta fórmula es la siguiente: $W\% = DZX \times 100/S$

Dónde:

W= peso o susceptibilidad de la UCP respecto al movimiento en masas.

DZX= Superficie acumulada de movimiento en masa en Km^2

S= superficie total acumulada de la UCP.

UCP= Unidad Cartográfica de Parámetro. (INGEOMINAS 1998).

2.2.19. Matriz de Jerarquías Múltiples (MJM)

Es una manera de jerarquizar contenidos donde no es posible homologar los criterios de evaluación, se refiere a aquellos problemas donde es necesario ordenar o elegir entre varias opciones en función de algunas reglas pre establecidas. Permite asignar ponderaciones de importancia a los factores condicionantes de la inestabilidad, de una manera más rigurosa que la directa apreciación o juicio de expertos. Este análisis se basa en la importancia relativa y pesos obtenidos mediante comparaciones sucesivas entre parejas de criterios (*pair wise*) que permite asignar ponderaciones de importancia a los factores condicionantes de la inestabilidad (Hayman 1998). Se utiliza la escala de Saaty (1991).

2.2.20. Coeficiente de Consistencia (CC)

Esta fórmula se utiliza para demostrar la consistencia y confiabilidad de las ponderaciones, se requiere que el valor sea menor a 0.10. Se utiliza la siguiente fórmula:

$$CC = \frac{IC}{IA}$$

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1}$$

Dónde:

CC : Coeficiente de Consistencia

IC : Índice de consistencia

IA : Índice aleatorio

λ_{\max} : Eigenvalor máximo o principal

Tabla 05. Valores para el cálculo de la relación de consistencia

N	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
IA	0.525	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.513	1.535	1.555

Fuente: INGEOMINAS, 2000.

Tabla 06. Llenado de la matriz de doble entrada

	Unidades Geológicas (9)	Unidades Tectónicas (7)	Unidades pendientes (5)	Unidad geomorfológica (5)	Unidades cobertura vegetal (3)	Unidades hidrogeológicas (3)	Unidades de dureza y cohesión singenéticas (1)
Unidades geológicas (9)	9/9	9/7	9/5	9/5	9/3	9/3	9/1
Unidades tectónicas (7)	7/9	7/7	7/5	7/5	7/3	7/3	7/1
Unidades pendientes (5)	5/9	5/7	5/5	5/5	5/3	5/3	5/1
Unidades geomorfológicas (5)	5/9	5/7	5/5	5/5	5/3	5/3	5/1
Unidades cobertura vegetal (3)	3/9	3/7	3/5	3/5	3/3	3/3	3/1
Unidades hidrogeológicas (3)	3/9	3/7	3/5	3/5	3/3	3/3	3/1
Unidades de dureza, cohesión singenéticas (1)	1/9	1/7	1/5	1/5	1/3	1/3	1/1

En esta matriz de doble entrada, se dividen las columnas entre las filas (donde los valores de las columnas son los numeradores) tal como lo muestra el ejemplo: 9/9, 9/7, 9/5, 9/3, 9/1.

2.2.21. Método de los colores

Para esta investigación se ha considerado cinco (05) colores que determina el grado de ponderación.

Tabla 07. Ejemplo de cálculo de ponderación

Movimiento en taludes	Frecuencia	Color	Frecuencia
Deslizamiento	13	Muy frecuente	4
Caída de rocas	2	Muy Poco frecuente	1
Flujo de detritos	10	Frecuente	3
Flujo de escombros	20	Extremadamente frecuente	5
Movimientos complejos	6	Poco frecuente	2
Total	51		

2.2.22. Definición y estratificación de los niveles de riesgo

El nivel de riesgo se obtendrá cuando tengamos los resultados de la peligrosidad y vulnerabilidad del área en estudio. Se establecerán rangos utilizando los pesos de los descriptores de cada factor.

- Muy alto
- Alto
- Medio
- Bajo
- Muy bajo

2.2.23. Método Multicriterio

2.2.23.1. Proceso de análisis jerárquico

Se utilizó el Proceso de Análisis Jerárquico. La matriz generada es una matriz cuadrada es decir el mismo número de filas y columnas.

2.2.23.2. Cálculo de los pesos ponderados

Primero

Se construye la matriz de comparaciones de pares, el que mostraría la comparación entre factores sucesivos. Para la ponderación de factores esta matriz nos permite determinar la importancia de un criterio respecto a otro, lo que nos servirá posteriormente para la ponderación.

Segundo

Se construye la matriz de comparaciones normalizada. El cual se obtiene de dividir cada elemento de matriz entre la suma obtenida,

Tercero

Es el cálculo del vector prioridad el cual nos mostrará los pesos ponderados de cada criterio a partir de la matriz normalizada: Sumamos verticalmente los elementos de cada columna.

2.2.23.3. Preparación de Mapas de susceptibilidad

Es un mapa en el cual se zonifica las unidades de rocas o suelo que muestran una actividad de deslizamientos similar o de igual potencial de inestabilidad, la cual es obtenida de un análisis multivariable entre los factores que pueden producir movimiento de masa y el mapa de inventario de movimiento de masa. ÍNDECI (2011).

No existe un método estandarizado para la preparación de mapas de susceptibilidad a los movimientos de masa. En áreas de montañas de alta pendiente y valles semiplanos se pueden identificar las áreas de acuerdo a su topografía. Si se posee un mapa geológico, a cada formación se le puede asignar un grado de susceptibilidad y se puede combinar formación geológica y topografía para identificar áreas diferentes dentro de la misma formación. ÍNDECI (2011).

2.2.24. Clasificaciones Geomecánicas de los Macizos Rocosos







De acuerdo con Ramírez y Alejano (2004), los sistemas de evaluación de macizos rocosos determinan su calidad de manera cuantitativa. Existen clasificaciones geomecánicas como: Clasificación de Bienawski de 1989 (RMR), el Índice de Designación de Calidad de Roca (RQD) y el Índice de Resistencia Geológica (GSI).

2.2.25. La Clasificación GSI (Geological Strength Index)

El GSI es un método para estimar las propiedades geomecánicas del macizo rocoso a partir de observaciones geológicas en el campo, estas observaciones consideran la estructura del macizo, incluyendo el grado de alteración de las rocas, la unión entre ellas y su cohesión. En cuanto a las condiciones de la superficie, se evalúa si está alterada, erosionada o qué textura tiene, y el tipo de recubrimiento presente. Después de realizar estas observaciones, se selecciona la situación que mejor

represente al macizo estudiado, lo que proporciona el valor del GSI. Los valores del GSI, van desde 1 hasta 100. Valores cercanos a 1 indican macizos de baja calidad, con superficies muy erosionadas, arcilla blanda en las juntas.

Tabla 08. Tabla para la determinación del GSI

INDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICO GSI (Hoek & Marinos, 2000). A partir de la litología, Estructura y la condición de superficie de las discontinuidades, se estima el valor promedio de GSI. No intente ser muy preciso. Escoger un rango de 33 a 37 es más realista que fijar GSI=35. También notar que esta tabla no se aplica a mecanismos de falla controlado por estructuras. Donde se presenta planos estructuralmente débiles en una orientación desfavorable con respecto a la cara de la excavación, estos dominarán el comportamiento del macizo rocoso. La resistencia al corte de las superficies en rocas que son propensas a deteriorarse como resultado de cambios en la humedad, se reducirá cuando exista presencia de agua. Cuando se trabaje con rocas de categoría regular muy mala, pueden moverse hacia la derecha para condiciones húmedas. La presión de poros se maneja con un análisis de esfuerzos efectivos.		CONDICIONES SUPERFICIALES MUY BUENA Muy rugoso, Superficies frescas sin meteorización BUENO Rugoso, ligeramente meteorizada, superficies con óxido. REGULAR Lizas, moderadamente meteorizada y superficies alteradas. MALA Espejo de falla, altamente meteorizadas con recubrimiento compacto o rellenos o fragmentos. MUY MALA Espejo de falla, superficies altamente meteorizadas con recubrimiento de arcilla suave o rellenos.				
ESTRUCTURA		DISMINUYE LA CALIDAD DE SUPERFICIE →				
 Intacta o Masivo: Especímenes de roca intacta o masiva en roca in situ con pocas discontinuidades ampliamente espaciadas.  Levemente fracturada: Macizo rocoso no disturbado, muy bien entrelazado, constituido por bloques cúbicos formados por tres familias de discontinuidades.  Moderadamente fracturada: Entrelazado, macizo rocoso parcialmente disturbado con bloques angulosos de varias caras formado por 4 o más familias de discontinuidades.  Muy fracturada/Disturbada/Agrietada: Foliada con bloques angulosos formados por la intersección de muchas familias de discontinuidades. Persistencia de planos de estratificación o esquistosidad.  Desintegrado: Pobrementemente entrelazado, macizo altamente fracturado compuesto de una mezcla de pedazos de rocas angulosas y redondas.  Foliado/Laminado/Cizallado: Falta de formación de bloques debido al pequeño espaciamiento o esquistosidad débil o planos de corte.		DISMINUYE EL ENTRELAZADO DE PEDAZOS DE ROCA ↓				
		90			N/A	N/A
		80				
			70			
			60			
				50		
				40		
					30	
						20
		N/A	N/A			10

Fuente: Deb y Kumar, (2016)

2.2.26. Talud

Un talud o ladera es una masa de tierra que no es plana, sino que posee pendiente o cambios de altura significativos. Se definen además que ambas se formaron en por un proceso natural. (Suárez, 1998). En el caso de la geodinámica externa, los agentes intervinientes son externos a la superficie de la Tierra. Por lo general se trata de factores climáticos como el agua o el viento, que interactúan con las capas más exteriores del planeta. Estos agentes suelen alterar el relieve erosionándolo. (Hervas, 2002).

2.2.27. Inestabilidad de taludes

Se utilizan diferentes concepciones para indicar la inestabilidad de taludes, de tal manera que conceptos tales como procesos de remoción en masa, movimientos de ladera, procesos gravitacionales, movimientos del terreno, son empleados usualmente para indicar que un talud es inestable. (Alcántara et al. 2001).

2.2.28. Métodos de cálculo para el análisis de taludes

Los métodos de cálculo para los taludes son n teorías que estudian inestabilidad de los taludes. La única razón para realizar un estudio de la estabilidad de taludes es para garantizar la seguridad de las personas y de sus propiedades. Resulta que la mayoría de los daños causadas por los movimientos en taludes pueden evitarse. Este proceso implica determinar y comparar si hay suficiente resistencia para resistir los esfuerzos cortantes en las superficies con mayor probabilidad de fallar. En seguida explicaremos algunos métodos más usados:

2.2.29. Factor de seguridad (FS)

Según Braja Das, 2002. El factor de seguridad contra la falla de un talud, es el valor resultante de dividir la resistencia al corte disponible del suelo, a lo largo de una superficie crítica de deslizamiento, por la resistencia al corte requerido para mantener el equilibrio (Bishop, 1955). En general el factor de seguridad se define como:

Donde **FS** Factor de seguridad con respecto a la resistencia, **τ_f** Resistencia cortante promedio del suelo y **τ_d** Esfuerzo cortante promedio desarrollado a lo largo de la superficie.

$$FS_s = \frac{\tau_f}{\tau_d} = \frac{\text{Resistencia al corte del suelo}}{\text{Resistencia al corte movilizado}}$$

2.2.30. Susceptibilidad Sísmica

La probabilidad de ocurrencia de un sismo en el territorio nacional está dividida en cuatro zonas. La zonificación propuesta se fundamenta en la distribución geográfica de la actividad sísmica registrada, las características generales de los movimientos telúricos y su disminución con la distancia al epicentro, así como en datos neotectónicos. A cada región se le asigna un factor Z. El área de estudio se sitúa en la zona 2 el cual tiene un factor sísmico de 0.25.

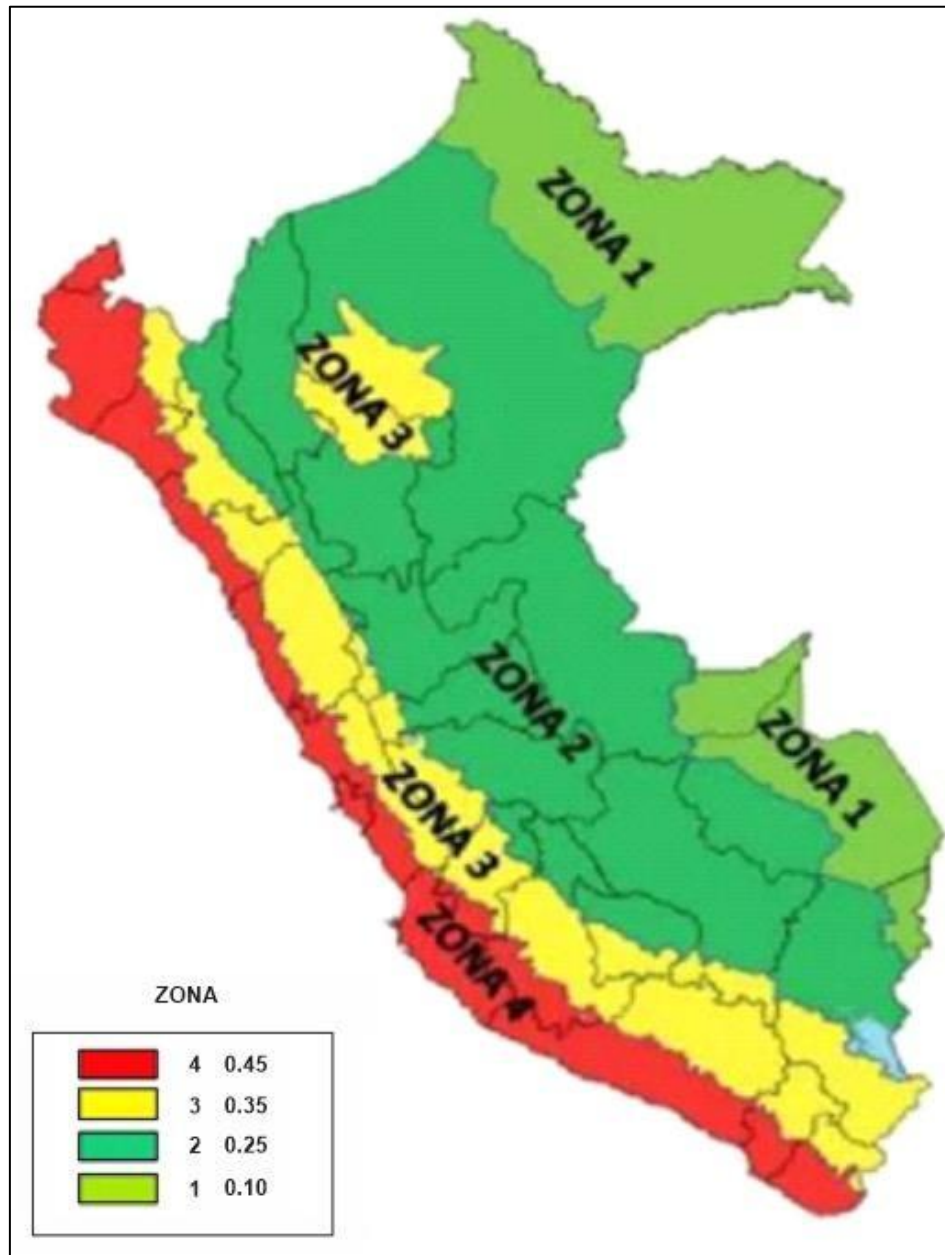


Figura 11. Susceptibilidad sísmica del territorio peruano

Fuente: D.S. N° 003- Vivienda, (2016)

Tabla 09. Factor de susceptibilidad sísmica por zonas

Factores de la Zona Z	
Zona	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Fuente: D.S. N° 003- Vivienda, (2016)

2.2.31. Análisis Sísmico de Taludes

La predicción de deslizamientos producidos por sismos o análisis de estabilidad sísmica puede clasificarse en varios sistemas:

2.2.32. Análisis Pseudoestático

El método sigue el mismo procedimiento general que otros métodos de equilibrio límite, pero incorpora fuerzas pseudoestáticas horizontales y verticales originados por el evento sísmico. Estas fuerzas se asumen proporcionales al peso de la posible masa deslizante y a los coeficientes sísmicos horizontal (k_h) y vertical (k_v), expresados en términos de la aceleración (g) causada por el sismo.

Normalmente, se sugiere que solo se analice la superficie más crítica con carga sísmica pseudoestática, identificada en el análisis estático. La magnitud del coeficiente sísmico debe reflejar la naturaleza de la fuerza del evento, que depende de la intensidad o aceleración del sismo, la duración del movimiento y la frecuencia.

2.2.33. Martillo Schmidt

También llamado martillo de rebote consiste en un pistón de acero que se impulsa por un resorte contra la superficie de la roca a medir. El rebote de este pistón sobre la superficie indica un valor adimensional entre dureza y resistencia de la muestra de roca. La medida del rebote se correlaciona con la resistencia a compresión simple mediante un gráfico que contempla la densidad de la roca y la orientación del martillo respecto del plano ensayado. Su uso es muy frecuente dada la manejabilidad del aparato, pudiendo aplicarse sobre roca matriz y sobre las discontinuidades. (Miller, 1966).

2.2.33.1. Pasos para el uso del Martillo de Schmidt:

1. Prepara la superficie:

- Asegúrate de que la superficie esté bien fijada y tenga un mínimo de 100 mm de espesor.
- Limpia o pule la superficie con una piedra abrasiva de grano medio, especialmente si es rugosa, húmeda o tiene más de 6 meses de edad.

2. Realiza los impactos:

- Coloca el martillo perpendicularmente a la superficie preparada.
- Presiona el mango firmemente hasta que el vástago salte y golpee la superficie, y el botón de bloqueo salte hacia afuera.
- Pulsar el botón desbloquea el vástago y el muelle se suelta para golpear el material.
- Inmediatamente después del impacto, el indicador se moverá en la escala, registrando el número de rebote.

3. Anota las lecturas:

- Retira el martillo de la superficie.
- Anota el valor de rebote mostrado en la escala.
- Repite este proceso al menos 8 veces en el área de prueba, asegurándote de que la posición sea la misma para comparar los resultados.

4. Interpreta los resultados:

- Promedia los valores obtenidos.
- Usa el ábaco de resistencia a la compresión uniaxial para convertir el número de rebote en un índice de resistencia a la compresión del material.
- Considera el ángulo de impacto, ya que afecta el resultado: los impactos hacia abajo dan resultados más altos que los impactos hacia arriba.

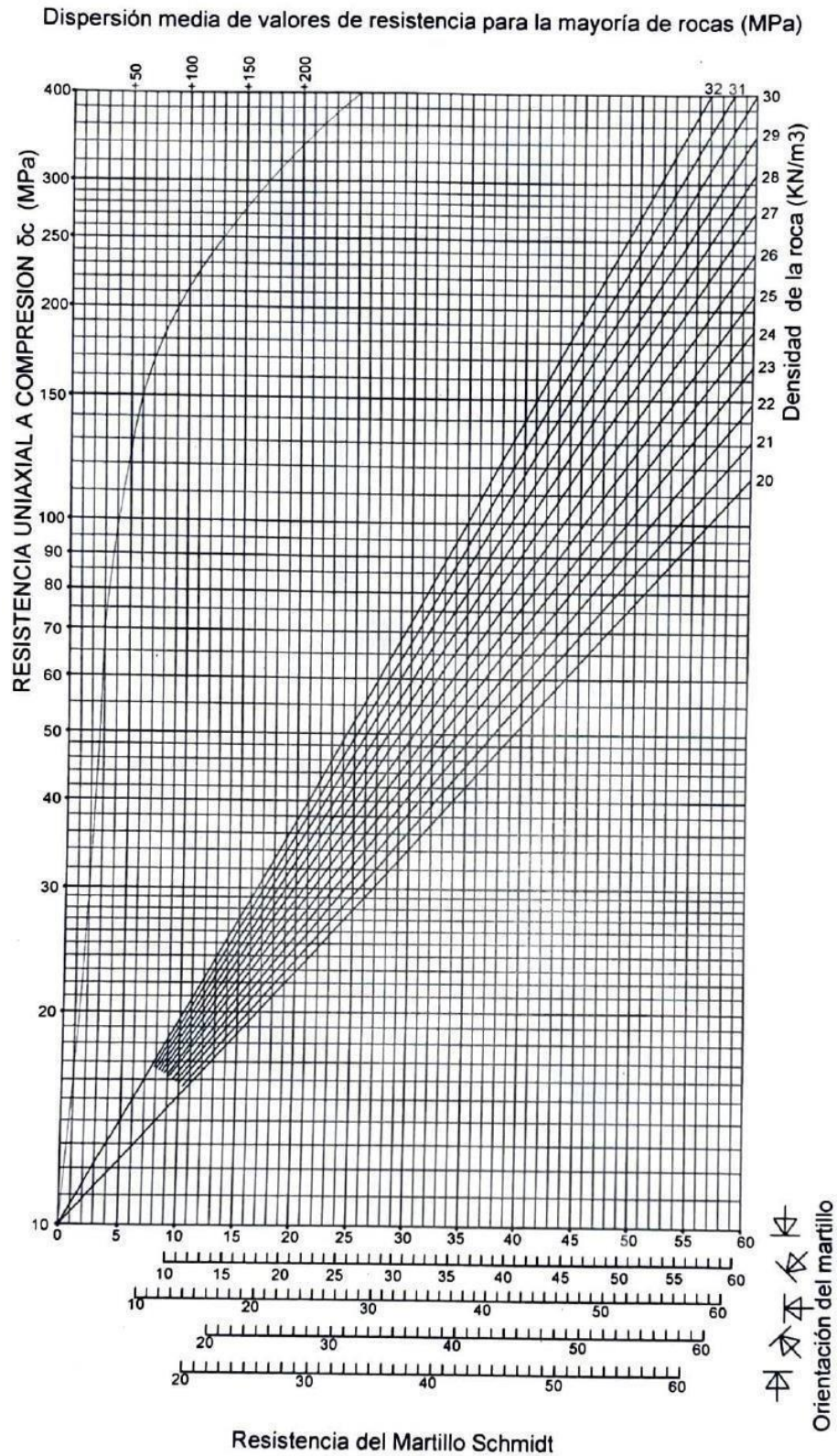


Figura 12. Ábaco para la resistencia a compresión simple

Fuente: Miller, (1966). Mejorado Rodríguez, 2024.

2.2.34. Resistencia a la compresión uniaxial

La resistencia es el esfuerzo que soporta una roca para determinadas deformaciones. Cuando la resistencia se mide en probetas de roca sin confinar se denomina resistencia a compresión simple, y su valor se emplea para la caracterización geomecánica de las rocas (Lozano, 2009).

2.2.35. Cálculo de la Resistencia a la Compresión Uniaxial

La resistencia a compresión simple de los lados de las discontinuidades o JCS se puede obtener mediante la aplicación del martillo de Schmidt tipo L sobre la discontinuidad y utilizando el ábaco. Este Aparato consiste básicamente en un vástago que lleva conectado un muelle. Se coloca el vástago sobre la roca y se introduce en el martillo empujando este contra la roca lo que da lugar a que se almacene energía en un muelle que se libera automáticamente cuando esa energía elástica alcanza un cierto nivel y lanza una masa contra el vástago. La altura que alcanza esta marca al rebotar que se mide en una escala graduada de 0 a 60 es directamente proporcional a la dureza y por tanto a la resistencia a compresión simple de la superficie de roca.

Donde γ es el peso específico de la roca expresado en kN/m³ y R es el número de rebotes del martillo de Schmidt. Este número se debe corregir en el caso de que el martillo no se aplique verticalmente y hacia abajo (Miller, 1966). En general el valor de RCU que se obtenga para una determinada discontinuidad deberá ser inferior a la resistencia a compresión simple de la roca sana, de forma que en general se podría estimar JCS como la resistencia a compresión simple del material sano dividida entre una constante que se aproximará a 2,5 para rocas densas, a 5 para rocas intermedias y que llegara a 10 para el caso de rocas porosas (Miller, 1966). $\text{Log (RCU)} = 0.00088 * \text{densidad unitaria de la roca} * (\text{LMS}) + 1.01 \text{ MN/m}^2$

Siendo:

LMS= Lectura del martillo de Schmidt

$\text{Log(RCU)} = 0,00088 * 2.6 * 30$

2.2.36. **Peso específico**

Los valores del peso específico de las seis (06) muestras de areniscas fueron determinadas por el laboratorio INGEOCONSULT & LAB. SRL. Aplicado las siguientes formulas:

$$VH20_{desp} = (VolH20 + Frag. Roca) - (VolH20 \text{ sin } Frag. Roca)$$

desp. = Volumen de agua desplazado cm^3)

Vol H₂O = Volumen de H₂O

Frag. Roca = Fragmento de roca

Para la determinación del peso específico (PE):

$$PE = \frac{\text{Peso de la masa de roca (gr)}}{\text{Diferencia de volúmenes (cm³)}}$$

2.3. **DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS**

Peligros naturales. Fenómeno atmosférico, hidrológico, geológico que por su severidad y frecuencia puede afectar de manera adversa a los seres humanos, a sus infraestructuras o actividades. (Petak et al,1982).

Peligros geológicos. Son aquellos elementos del medio ambiente físico perjudicial al hombre, causado por fuerzas ajenas a él. Comprenden una gran variedad y complejidad de movimientos de material geológico debido a las fuerzas de gravedad y en algunos casos por acción del agua. (Petak et al,1982).

Zonas críticas. Son áreas o lugares vulnerables a sufrir pérdidas socioeconómicas debido a la ocurrencia de peligros geológicos. Su identificación se realiza utilizando la susceptibilidad y elementos vulnerables. (Fidel, 2007).

Previsión: Predicción en la probabilidad de ocurrencia de procesos geológicos, cuya posibilidad de identificación de áreas con riesgo permitirá tener una idea de los peligros y sus impactos en el medio (Fidel, 2007).

Prevención o mitigación (Reducción): Conjunto de medidas y acciones dispuestas con anticipación; cuyo fin es evitar o impedir que se presente un fenómeno peligroso. (Fidel, 2007).

Susceptibilidad: Se refiere al grado de propensión que tiene una zona a que en ella se genera o a que resulte afectada por un fenómeno de remoción en masa debido a sus condiciones intrínsecas, como pueden ser la geometría del terreno, la resistencia de los materiales, los estados de esfuerzo, las condiciones de drenaje superficial y sub- superficial, la cobertura del terreno y la la trayectoria de la masa en movimiento (UN/ISDR, 2004).

Flujo de detritos: Conocidos también como huaicos, son corrientes que se caracterizan por flujos muy rápidos o avenidas intempestivas de agua turbia, que arrastra a su paso materiales de diferentes características provenientes de la meteorización de las rocas, estos van desde suelos finos hasta enormes bloques de roca, maleza y árboles, que pierden su estabilidad estructural por efecto del agua. (UN/ISDR, 2004).

Vulnerabilidad: La teoría de vulnerabilidad propuesta se articula alrededor de conceptos relativamente nuevos como el elemento expuesto e interacción fenómeno- elemento, entre otros. Estos intentan facilitar la estimación de las consecuencias potenciales en caso de la materialización del fenómeno amenazante (UN/ISDR, 2004).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Geográfica

El Distrito de José Gálvez se ubica en la parte norte del Perú, en el departamento de Cajamarca, al sur de la provincia de Celendín y al norte del distrito de Sucre. (Ver anexo P- 01).

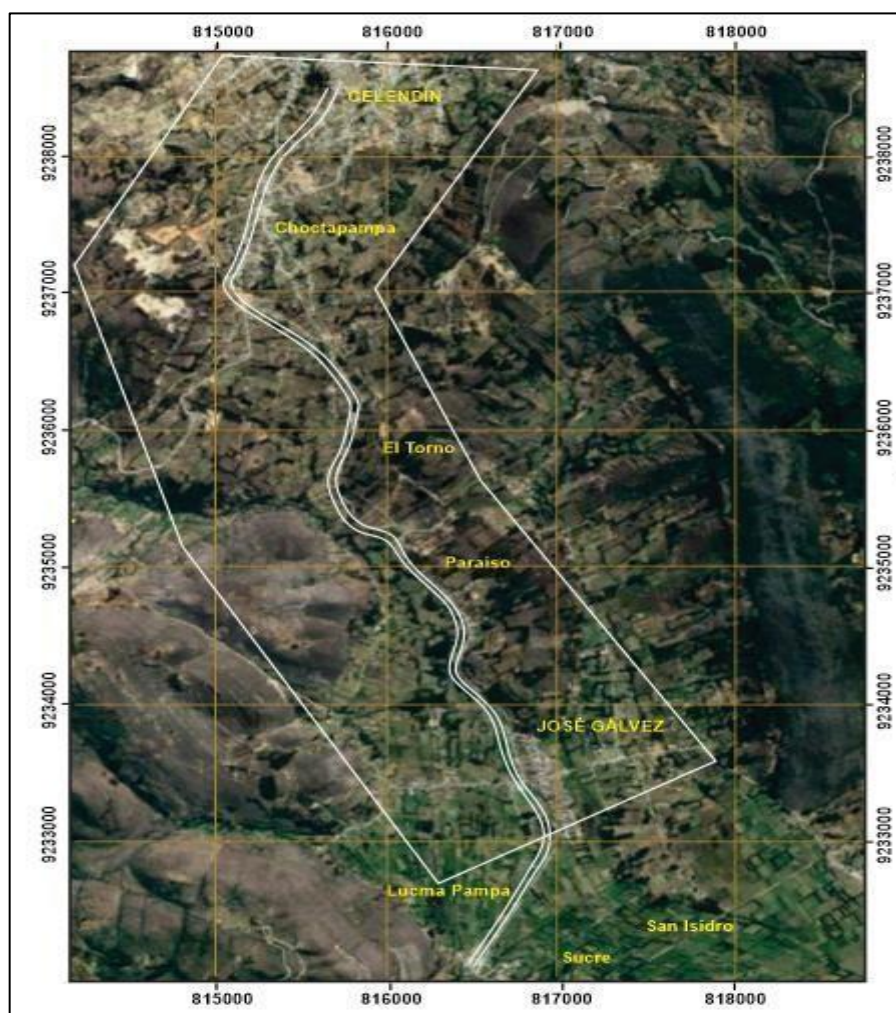


Figura 13. Ubicación
Fuente: Google Earth, (2023)

3.1.2. Política

El área de estudio se encuentra ubicado en el departamento de Cajamarca, provincia de Celendín.

3.2. ACCESIBILIDAD

Los accesos al distrito de José Gálvez son abundantes y se puede llegar de las siguientes maneras:

Tabla 10. Accesibilidad al área de estudio.

TRAMO	TIPO	TIEMPO (hrs)
Cajamarca- Celendín	Asfaltado	2.5
Celendín- José Gálvez	Afirmado	0.20
Loma del Indio – José Gálvez	Herradura	0.45

3.3. GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología de la zona de estudio se caracteriza por la presencia de colinas, lomadas y valles predominado las colinas, lomadas y valles que se ubican al NE y al SO de la zona de estudio. Se ha tomado la clasificación de Rodríguez, 2016.

3.4. HIDROLOGÍA

El río más importante es el río Huauco, que en épocas de lluvia aumenta considerablemente su caudal. Además, existen pequeñas quebradas que han sido labradas por la erosión producido por las constantes lluvias. El área de estudio se ubica en una depresión tectónica por lo que en épocas de lluvia suele inundarse.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.7.1 Tipo, nivel, diseño y método de la investigación

Tipo de Investigación: el tipo de investigación es descriptiva - explicativa, ya que se describirá aspectos en campo para compararlos según la litología, cambios de facies, la ubicación y posición de las secuencias bioestratigráficas, ya que se centra en la observación directa en campo de parámetros geológicos.

Nivel de Investigación: el nivel de investigación es correlativa – explicativa, porque nos permitirá determinar la relación y correspondencia entre la inestabilidad y los factores condicionantes de la inestabilidad.

Diseño de Investigación: documental porque nos basamos en documentos establecidos en los fenómenos exactamente como ocurre naturalmente.

Periodo: transversal, debido a que se estudia en un momento determinado de tiempo.

3.4.2. Población de estudio

Taludes ubicados en los alrededores del Distrito de José Gálvez- Provincia de Celendín, en un área aproximada de 20 km².

3.4.3. Muestras

Litología, tectónica, pendiente e hidrogeología.

3.4.4. Unidad de análisis

Factor de seguridad de los taludes.

3.4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.5.1 Técnicas

La primera etapa consistió en la recopilación de los estudios existentes de la zona de estudio; adquisición de mapas geológicos realizados por el Instituto Geológico Minero Metalúrgico (INGEMMET).

3.4.5.2 Instrumentos y equipos

GPS Navegatorio: Es un sistema de navegación basado en 24 satélites (21 operativos y 3 de respaldo), en órbita sobre el planeta tierra que envía información sobre la posición de una persona u objeto en cualquier horario y condiciones climáticas.

Google Earth: Es un sistema de información geográfica que permite visualizar la topografía en base a imágenes satelitales y de este modo elaborar mapas temáticos.

Brújula tipo Brunton: Instrumento que nos ayuda obtener la dirección de estructuras geológicas consistentes en rumbos y buzamientos de los estratos, fallas y dirección del flujo en las rocas volcánicas y sedimentarias

Picota del geólogo: Se utiliza para obtener una superficie fresca de una roca con el fin de determinar su composición, su naturaleza, la mineralogía.

Protáctor: a escala 1/10000.

Winha 30 m: Es una cinta métrica flexible, enrollada dentro de una caja de plástico o metal, que generalmente está graduada en centímetros en un costado de la cinta y en pulgadas en el otro.

Libreta de campo: Es una herramienta usada por investigadores de varias áreas para hacer anotaciones cuando ejecutan trabajos de campo

Cámara fotográfica digital Marca Canon: Usado para tomar fotos, y de este modo, evidencia de las estructuras estudiadas.

3.5. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

Los análisis e interpretaciones se realizaron en gabinete, como material de apoyo se tuvieron el mapa factor litológico, mapa factor estructural, mapa factor de pendientes, mapa factor de cobertura vegetal, mapa factor geomorfológico imágenes satelitales, las columnas estratigráficas, los perfiles geológicos. Los datos recolectados en campo fueron plasmados en las libretas de campo los que posteriormente fueron analizados y procesados mediante el software ArcGIS para la elaboración de los mapas, perfiles y la posterior interpretación de la inestabilidad.

3.6. GEOLOGÍA LOCAL

Dentro del área de estudio afloran secuencias sedimentarias del cretácico inferior al reciente. Las secuencias sedimentarias están formando el flanco oriental del sinclinal de Huico que se ubica al NO de la zona de estudio y que posee una orientación preferencial del NO al SE. por lo que los estratos presentan buzamientos promedio de 30° al SO. A continuación, se va a describir las unidades geológicas aflorantes (Ver anexo P- 02):

3.6.1. Grupo Goyllarisquizga (Ki-g)

Conformado por las Formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat, en esta zona son poco diferenciables:

3.6.1.1 Formación Chimú (Ki- chi)

Los afloramientos de la Formación Chimú poseen una orientación del NO - SE y con ángulos de buzamientos de 40° en promedio. Está conformada por areniscas gris blanquecinas compuestas por granos de cuarzo. Los estratos son medianos a gruesos, poseen una alta resistencia a la erosión y se encuentra infrayaciendo a la Formación Santa. Muestran fracturamientos en distintas direcciones.

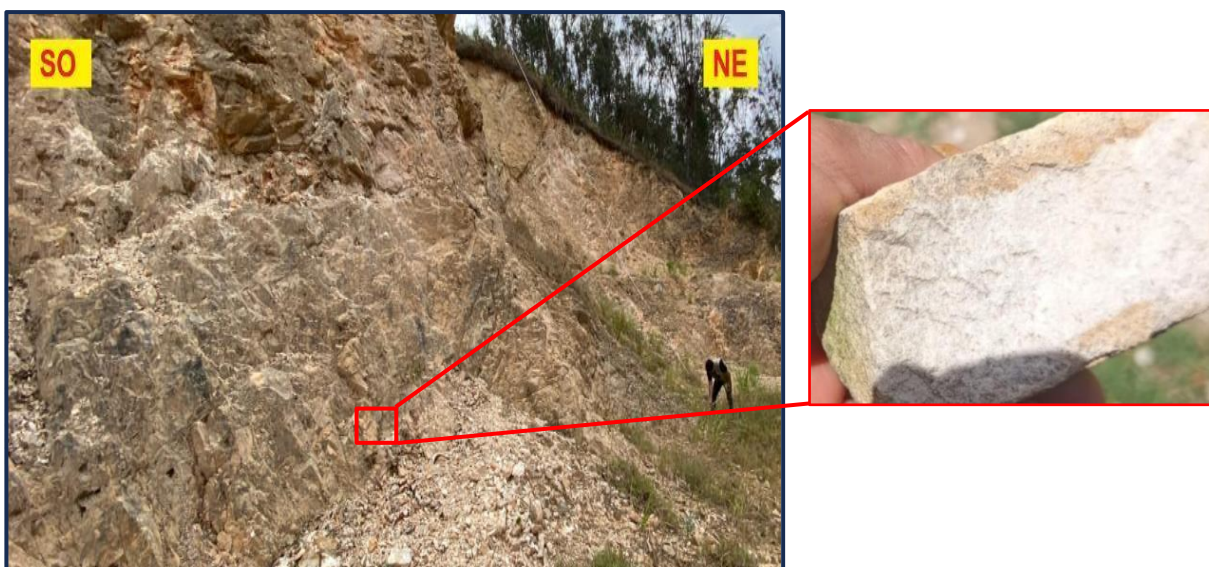


Figura 14. Areniscas gris blanquecinas de la Formación Chimú- Foto tomada al NO del Distrito de José Gálvez.

3.6.1.2 Formación Santa (Ki- sa)

Sus afloramientos poseen una orientación del NO-SE y con ángulos de buzamientos de 30° en promedio. Está conformada por estratos delgados de areniscas y limolitas arcillosas de color gris amarillentas. Se encuentra infrayaciendo en forma concordante a la Formación Carhuaz y sobreyaciendo en la misma relación a la Formación Chimú. La alteración de estas rocas presenta un suelo gris amarillento característico.



Figura 15. Areniscas gris amarillentas a gris anaranjadas de la Formación Santa - Foto tomada al NO del Distrito de José Gálvez.

3.6.1.3 Formación Carhuaz (Ki-ca)

Posee una orientación NO - SE, está conformada estratos delgados a medianos de areniscas, limolitas y arcillitas de coloración gris rojiza, gris violáceas a gris marrón. Se encuentra muy alterada. Sobreyace en forma concordante a la Formación Santa e infrayace en la misma relación a la Formación Farrat.



Figura 16. Areniscas gris marrones de la Formación Carhuaz - Foto tomada al NO del Centro Poblado de Huacapampa.

3.6.1.4 Formación Farrat (Ki-fa)

Está conformado por estratos de areniscas gris blanquecinas a gris anaranjadas y rojizas, dispuestas en estratos delgados a gruesos. Se encuentra sobreyaciendo en forma concordante a la Formación Carhuaz y se encuentra infrayaciendo en la misma relación a la Formación Inca.

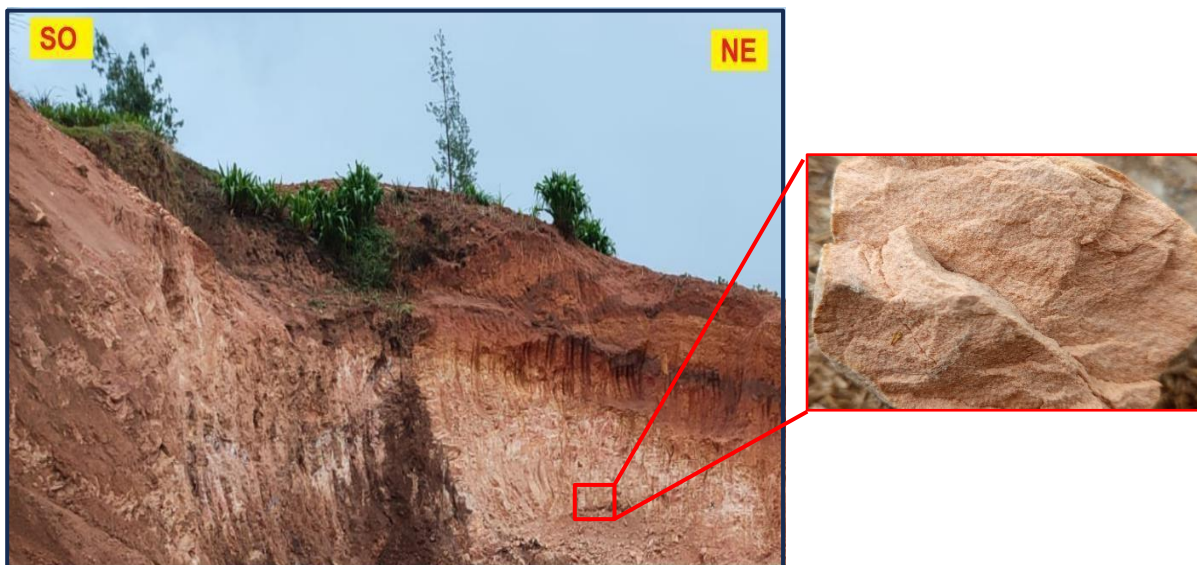


Figura 17. Areniscas gris blanquecinas a gris rojizas de la Formación Farrat - Foto tomada al NO del Centro Poblado de Cashapampa.

3.6.1.5 Formación Chota (PN-cho)

Esta unidad indica el final del Cretácico terminal. Está conformado por depósitos continentales compuestos de areniscas, arcillitas, limolitas y algunos horizontes de conglomerados finos. Poseen una coloración gris rojizas, gris anaranjadas y gris violáceas. Sus afloramientos se encuentran rellenado depresiones. Se encuentra descansando en forma discordante sobre la Formación Chimú.



Figura 18. Areniscas gris rojizas a gris anaranjadas de la Formación Chota. Foto tomada cerca al Distrito de Celendín.

3.6.1.6 Depósitos aluviales (Qp-al)

Estos depósitos se forman cuando los ríos transportan y depositan sedimentos en áreas de baja pendiente. Estos sedimentos se componen de diferentes tamaños de sedimentos que se depositan en capas, con los sedimentos más grandes cerca del canal del río y las más pequeñas y finas en las áreas más alejadas. Suelen estar compuestos por una mezcla de arena, grava, limo y arcilla y pueden tener espesores variables.

3.7. GEOMORFOLOGÍA

El estudio de la geomorfología tiene como objetivo el análisis de las formas de relieve de la superficie terrestre teniendo en cuenta su origen, naturaleza de las rocas y los elementos climáticos e hidrológicos que han actuado en su conformación. El relieve terrestre es un factor condicionante muy importante para la clasificación y ponderación teniendo en cuenta su vinculación con los peligros geológicos. Las geoformas del área de investigación son producto de la actividad geológica tanto interna como externa. La geomorfología de la zona de estudio se caracteriza por la presencia de colinas, lomadas y valles predominado las colinas, lomadas y valles que se ubican al NE y al SO de la zona de estudio. Se ha tomado la clasificación de Rodríguez, 2016.

Tabla 11. Clasificación para unidades morfogenéticas

Pendiente	Descripción
0° - 8°	Planicies
8° - 20°	Lomadas
20° - 50°	Laderas
50°-90°	Escarpas

Fuente: Rodríguez, (2016).

3.7.1. Ladera

Esta geoforma se ha formado sobre rocas sedimentarias calcáreas de las unidades geológicas: Formación Yumagual, Grupo Quilquiñan. Mujarrum y Formación Cajamarca, todas estas unidades poseen una inclinación al SO. Estas unidades se ubican al SO y NE de la zona de estudio y abarcan un pequeño porcentaje.

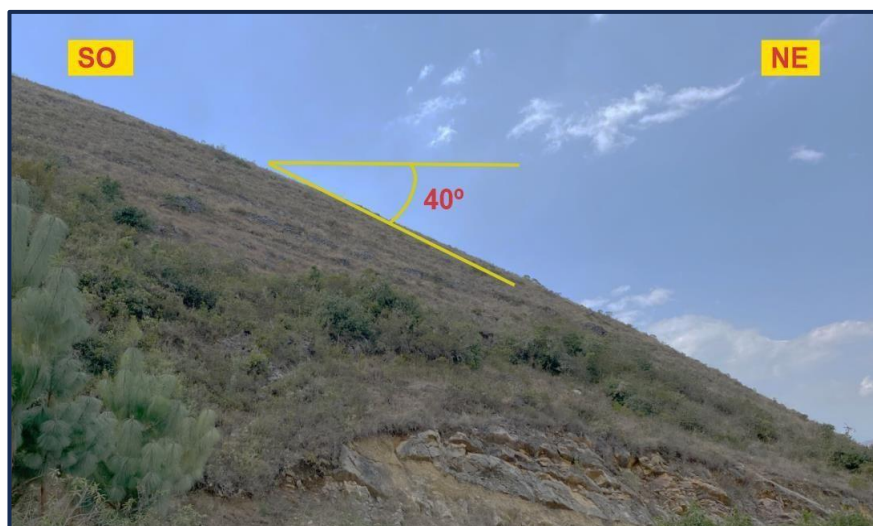


Figura 19. Ladera observada al NE del distrito de José Gálvez

3.7.2. Lomadas

La unidad geomorfológica de lomadas constituye elevaciones suaves del terreno. Se ubican entre las colinas y los valles. Se han formado por los procesos intensos de erosión. Está configurada sobre las rocas de la Fm. Chimú, Fm. Santa, Fm. Carhuaz, Fm. Farrat y la Fm. Chota. En la zona de estudio se observan abundante vegetación. En esta geoforma se ubican los CP de Chaquil, el Torno, Milagro y Choctapampa.



Figura 20. Lomada observada al SO del distrito de José Gálvez.

3.7.3. Planicies

Esta geoforma se ubica en las partes bajas de la zona de estudio. Están ubicadas los Distritos de José Gálvez y Celendín. constituye parte del valle Sucre. Se observan abundantes vegetaciones y en épocas de lluvia gran parte de esta geoforma es inundada.

3.8. GEOLOGIA ESTRUCTURAL

El área de estudio comprendida entre el Distrito de José Gálvez y la provincia de Celendín se evidencia la existencia de la Fase Tectónica Incaica. Siendo esta la más intensa y que generó el plegamiento y fallamiento de las secuencias sedimentarias. Esta fase tectónica esta datada en 40MA.

Al SO de la zona de estudio, se ubica la falla Lucmapampa (FL) de dirección NO- SE. Al NO se ubica la Falla Choctapampa (FCH) de componentes inversos que pone en contacto anormal a las secuencias de la Formación Chimú del Cretácico Inferior con las areniscas de la Formación Chota del Paleógeno- Neógeno. Estas dos fallas se generaron posteriormente a la depositación de la Formación Chota, que al parecer jugaron como fallas de cizalla, ocasionando fracturamientos secundarios. Los estratos poseen orientaciones NO- SE (consideradas direcciones andinas). Los valores de los ángulos de buzamientos poseen un promedio de 35° y están buzando 40° al SO.

3.9. SISMICIDAD

Según la Norma Técnica E.030, del Reglamento Nacional de Edificaciones, el área de investigación se encuentra en la zona sísmica 2. El INDECI (2014) utiliza el coeficiente sísmico para el diseño de taludes empleando el método pseudoestático, donde recomienda utilizar un coeficiente sísmico horizontal de $K_h = 0.175$ y $K_v = 0.088$ que serán los datos utilizados para el análisis pseudoestático de los taludes de la zona de estudio.

3.10. GEOMECÁNICA

Se recolectó la información geológica de 6 taludes, estos taludes se analizaron mediante los softwares RocData V- 4.0 y Slide V- 6.0 para estimar el factor de seguridad y luego realizar la zonificación de las áreas de riesgo. Para ello se realizó el siguiente procedimiento:

1. Recopilación de la información geológica y geomecánica de los 06 taludes.
2. Determinación del Peso Específico (PE) de las muestras de roca
3. Procesamiento de los datos en RocData V 4.0 para obtener valores de la cohesión y ángulo de fricción para fragmentos de roca.

Con los datos obtenidos de RocData V- 4.0, procedemos a ingresar los parámetros de entrada (cohesión, ángulo de fricción) en Slide V- 6.0 para obtener el factor de seguridad.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 EVALUACIÓN GEOLÓGICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

En el distrito de José Gálvez y zonas aledañas afloran rocas sedimentarias del Grupo Goyllarisquizga del Cretácico inferior, la Formación Chota del Cretácico superior- Paleógeno y depósitos recientes. El Grupo Goyllarisquizga abarca aproximadamente un 70%, la Formación Chota un 20% y depósitos inconsolidados cuaternarios en un 10%.

Tabla 12. Afloramiento en rocas (porcentaje)

TIPOS DE ROCAS	EDAD	% DE AFLORAMIENTO
Depósitos cuaternarios	Recientes	10
Fm. Chota	Cretácico sup. Paleógeno	20
Gpo. Gollarisquizga	Cretácico Inferior	70
Total		100

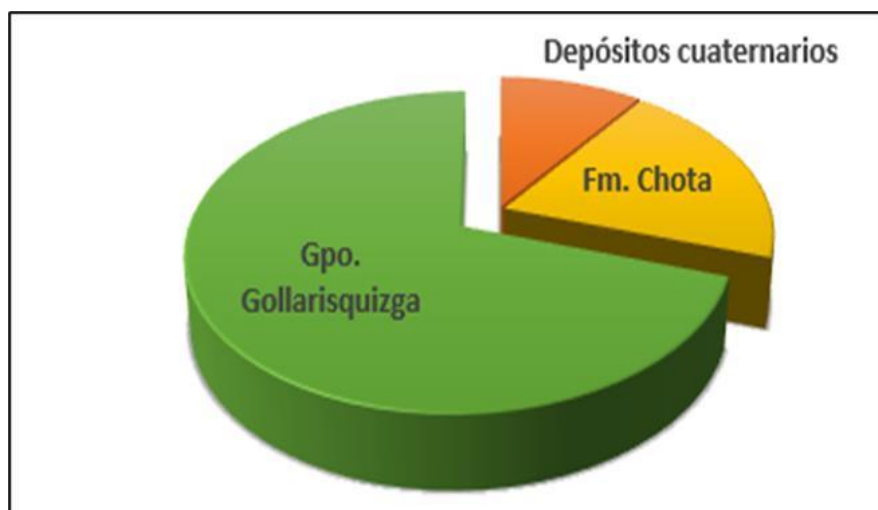


Figura 21. Porcentaje de afloramientos en el área de estudio

4.2 EDAD, DUREZA Y CONSISTENCIA DE LAS ROCAS

La dureza y cohesión de las rocas, que afloran en la zona de estudio, están relacionadas directamente a su edad. Así tenemos, que las rocas de las Formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat pertenecientes al Grupo Goyllarisquisqa del Cretácico inferior de 145 MA de edad, poseen una alta dureza y alta consistencia por efecto de la diagénesis y la compactación como consecuencia del peso litostático de las rocas sobreyacentes. Las rocas de la Formación Chota son de edad Paleógena que van desde los 66 a 25 MA de edad y por lo que han sufrido poca compactación y son más frágiles y menos consistentes. Las acumulaciones de sedimentos inconsolidados de edad del Cuaternario, poseen edades que van desde 2.5MA hasta la actualidad no están compactados ni litificados y en este estudio se consideran depósitos consolidados.

Tabla 13. Dureza y consistencia de las rocas

Tipos de rocas	Edad	Consistencia	Dureza
Depósitos cuaternarios	Recientes	Muy baja	Muy baja
Fm. Chota	Cretácico sup. Paleógeno	Baja	Baja
Gpo. Gollarisquiza	Cretácico Inferior	Alta	Alta

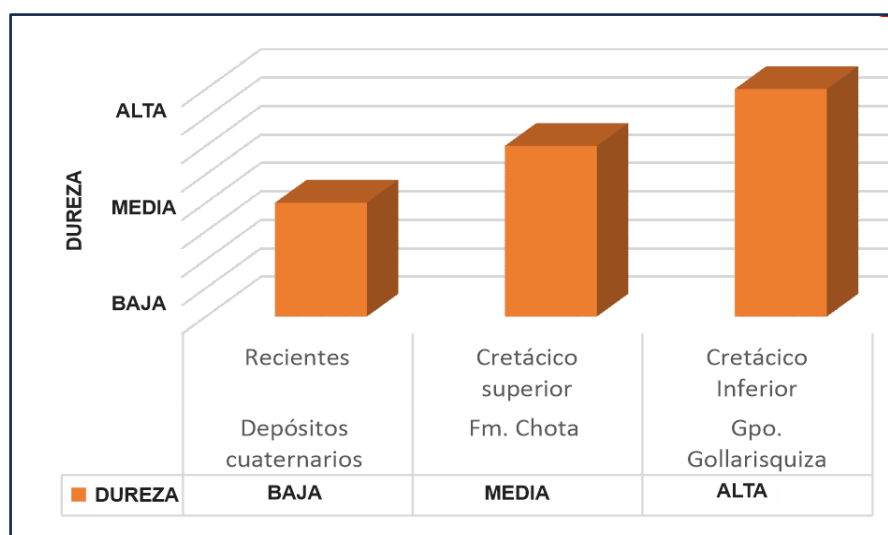


Figura 22. Dureza de las rocas en el área de estudio

4.3 MÉTODOS UTILIZADOS

Existen varios métodos para la evaluación geológica de los taludes de los cuales utilizaremos el método heurístico y el método probabilístico. Los tipos de movimientos detectados en los taludes son 9: cuatro (4) deslizamientos, dos (2) caídas de rocas, dos (2) flujos de detritos y un (1) movimiento complejo. En seguida se va a explicar el método heurístico o empírico.

4.3.1. Método Empírico o Heurístico

Después de haber explicado el método de la ponderación se efectúa el análisis de los mapas factores. Para la aplicación de este método se ha realizado la construcción de los mapas factores, los cuales se detallan a continuación:

Mapa Litológico (ML)

Mapa Estructural (ME)

Mapa Geomorfológico (MG)

Mapa de Pendientes (MP)

Mapa de Cobertura Vegetal (MCV)

Mapa de dureza y cohesión (MDC)

4.3.1.1. Mapa Litológico (ML)

El mapa factor litológico se construye sobre la base de la unión de litologías similares. Así tenemos: Las Formaciones Chimú y Farrat se unieron en una unidad (areniscas duras). Las Formaciones Santa y Carhuaz en una sola unidad (arcillitas y limolitas duras). Las calizas en una sola unidad denominada (calizas y marga). Las arenisca y limolitas de la Formación Chota en una sola unidad (areniscas y limolitas blandas) Los depósitos cuaternarios en (depósitos inconsolidados).

Tabla 14. Descripción de taludes

Unidades litológicas	Código	Nº Ocurrencia	Ponderación
Areniscas duras	AD	2	2
Arcillitas y limonitas duras	ALD	2	3
Areniscas y limonitas blandas	ALB	4	5
Depósitos inconsolidados	DC	1	1
Total		9	

Los taludes determinados se ubican mayormente dentro de las areniscas blandas (04) seguida de areniscas y limolitas duras (02), areniscas duras (02) y en depósitos inconsolidados (01). En la figura de la parte inferior se puede apreciar que la mayor cantidad de taludes se ubican en areniscas blandas pertenecientes a la Formación Chota.

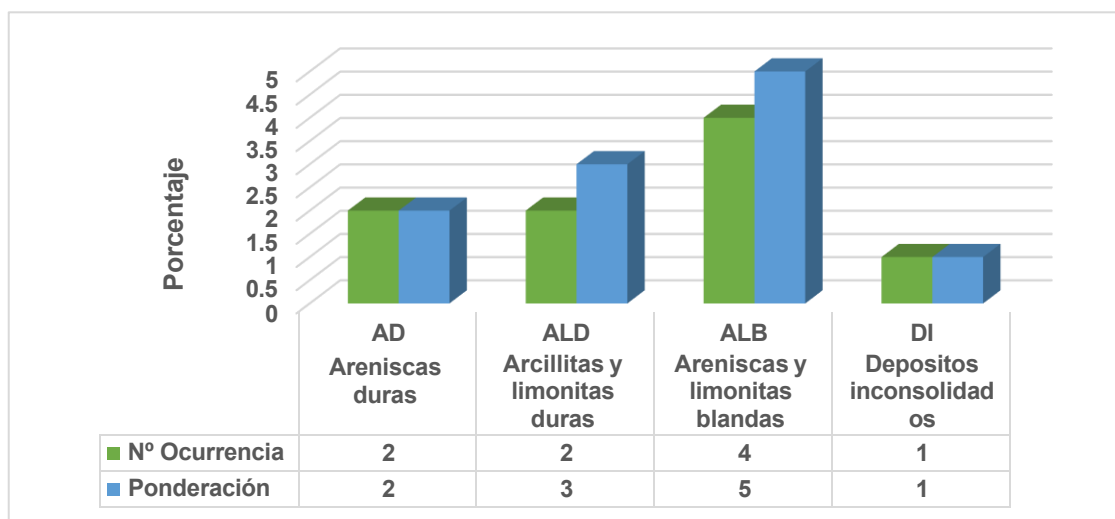


Figura 23. Ponderación de las unidades litológicas

4.3.1.2. Mapa Geomorfológico (MG)

Un mayor número de ocurrencias de taludes están en la unidad geomorfológica de lomadas (06) en laderas (01) en planicies (02). Las intensas precipitaciones pluviales que se producen en este sector, generan que las aguas discurren intensamente por estas rocas.

Tabla 15. Unidades geomorfológicas

Unidades geomorfológicas	Código	Nº Ocurrencia	Ponderación
Laderas	LA	1	2
Lomadas	LO	6	5
Planicies	PLA	2	3
Total		9	

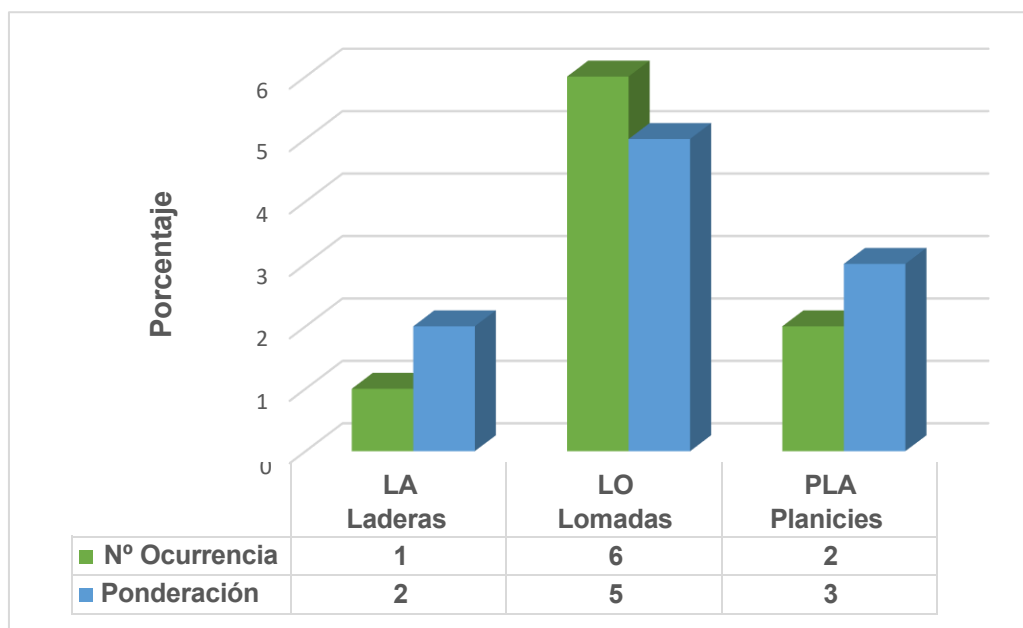


Figura 24. Ponderación de las unidades geomorfológicas

En la figura muestra que la mayor cantidad taludes se dan en las lomadas.

4.3.1.3. Mapa Hidrogeológicas (MH)

La mayor cantidad de taludes se encuentran en acuífero sedimentario fracturado conformado por areniscas del Grupo Goyllarisquizga y la Formación Chota.

Tabla 16. Unidades hidrogeológicas

Taludes			
Unidades hidrogeológicas	Código	Nº Ocurrencia	Ponderación
Acuitardo sedimentario	AS	01	2
Acuífero sedimentario fisurado	ASF	07	5
Acuífero poroso inconsolidado	API	01	2
Total		09	

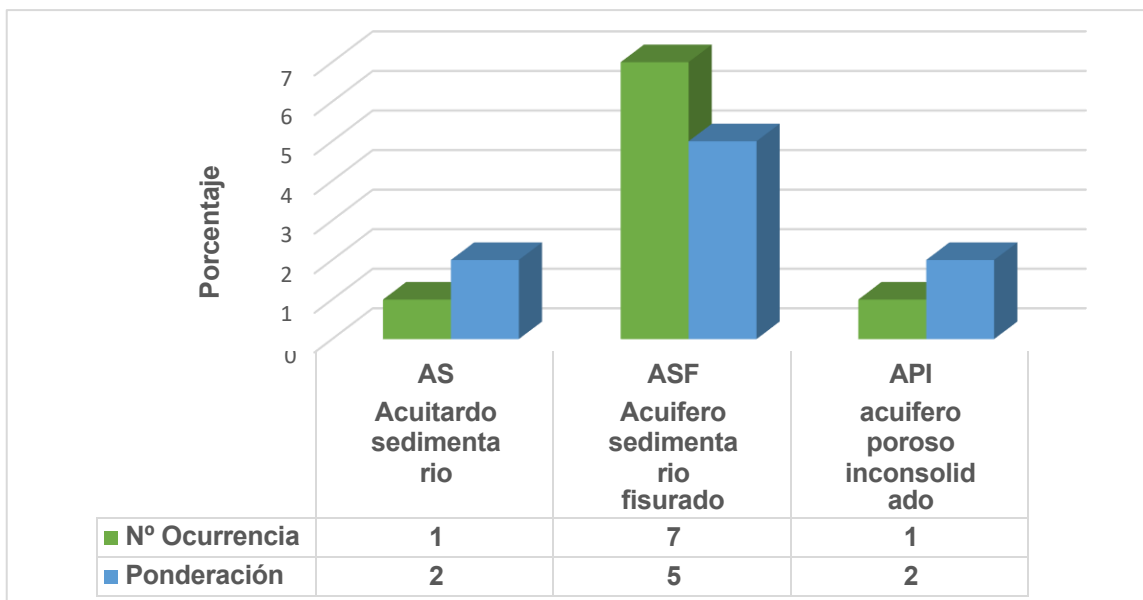


Figura 25. Ponderación de las unidades hidrogeológicas

Se aprecia que los taludes se dan mayormente (07) en el acuífero sedimentario fracturado.

4.3.1.4. Mapa de Cobertura Vegetal (MCV)

El sobre cultivo y los bosques reforestados constituida por eucaliptos y arbustos, ha generado que sus raíces penetren en dichas rocas produciendo el fracturamientos. Además, las intensas precipitaciones han contribuido a que el agua penetre aún más dentro de las rocas generando una disminución de sus propiedades físicas.

Tabla 17. Unidad de cobertura vegetal

Taludes			
Unidades de cobertura vegetal	Código	Nº Ocurrencia	Ponderación
Cultivo y bosques reforestado	CVR	4	5
Pastos alóctonos	PAL	1	1
Zona urbana con infraestructura	ZUCI	3	3
Pobre cobertura vegetal	PCV	1	1
Total		9	

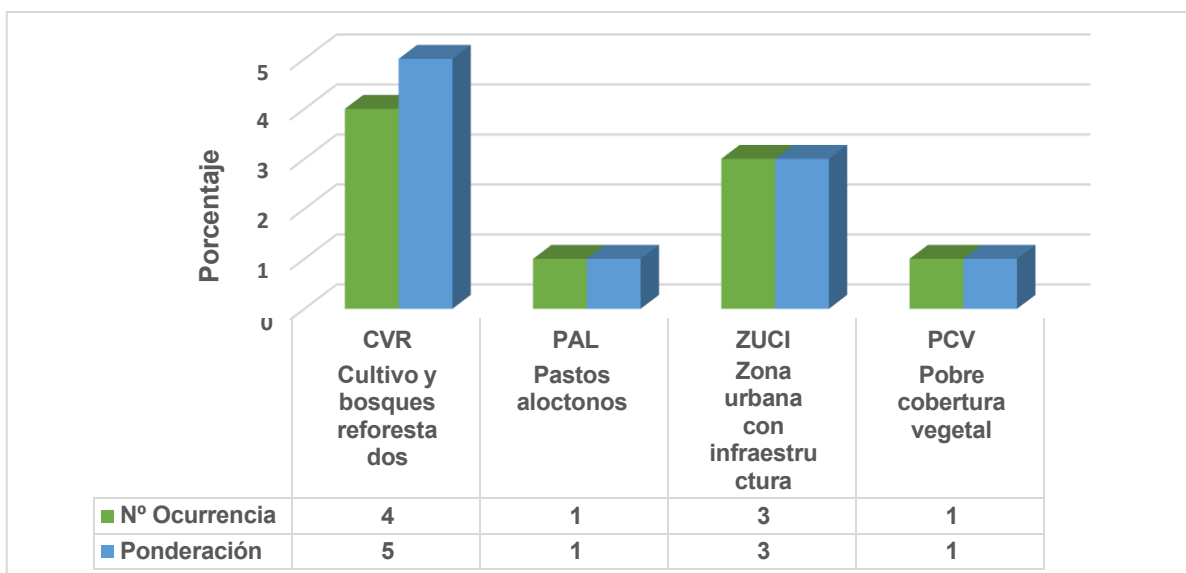


Figura 26. Ponderación de las unidades de cobertura vegetal.

La figura muestra que los taludes analizados se encuentran en zonas de cultivo y bosques reforestados (04), en zona urbana con infraestructura (03).

4.3.1.5. Mapa Tectónico (MT)

El área de estudio ha sido afectada por la fase Tectónica Incaica 40 MA Reyes (1980) siendo una de la más importante del Perú lo que ha generado fallas inversas de orientación NO-SE y buzamientos de 35 ° a 40° al SO. Estos fallamientos se han acentuado más aun por su cercanía al Alto del Marañón que se encuentra ubicado más al SE (Zona de Balsas y Bolívar - Reyes 1980). Estas fallas ponen en contacto anormal a la Fm. Yumagual con la Fm. Chota por un lado y el Grupo Goyllarisquiza con la Fm. Chota por el otro. En zonas cercanas al sistema de fallamientos se ubican fracturamientos.

Tabla 18. Unidades tectónicas

Taludes			
Unidades de fallamiento	Código	Nº Ocurrencia	Ponderación
Zona alejada al fallamiento	ZAF	3	4
Zona mediana al fallamiento	ZMF	2	2
Zona cercana al fallamiento	ZCF	4	5
Total		9	

Se aprecia que la mayor cantidad de taludes están dentro de la zona cercana al fallamiento.

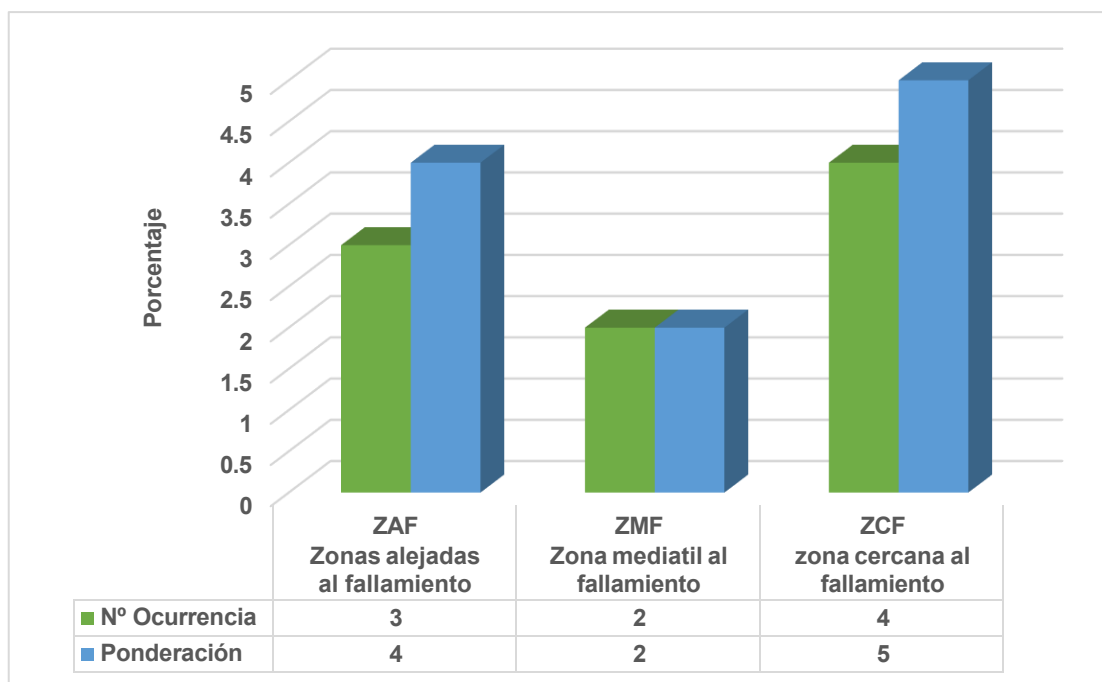


Figura 27. Ponderación de las unidades tectónicas.

4.3.1.6. Mapa de Pendientes (MP)

El área de estudio se encuentra ubicada en una zona denominada intramontaña debido a que esta flanqueada por el lado SO y NE por cerros de regular elevación. En estas zonas hay altas pendientes que disminuyen de NE hacia el SO y del SO hacia el NE. Si relacionamos el mapa factor pendiente y MM se observa estos se ubican en zonas de alta mediana pendientes siendo menor la cantidad en zonas de baja a muy baja pendientes.

Tabla 19. Ponderación de unidades de pendientes

Unidades de pendiente	Código	Nº Ocurrencia	Ponderación
<6° (baja)	PB	1	1
6- 15° (media)	PM	1	1
31- 45° (alta)	PA	3	4
> 45° (muy alta)	PMA	4	5
Total		9	

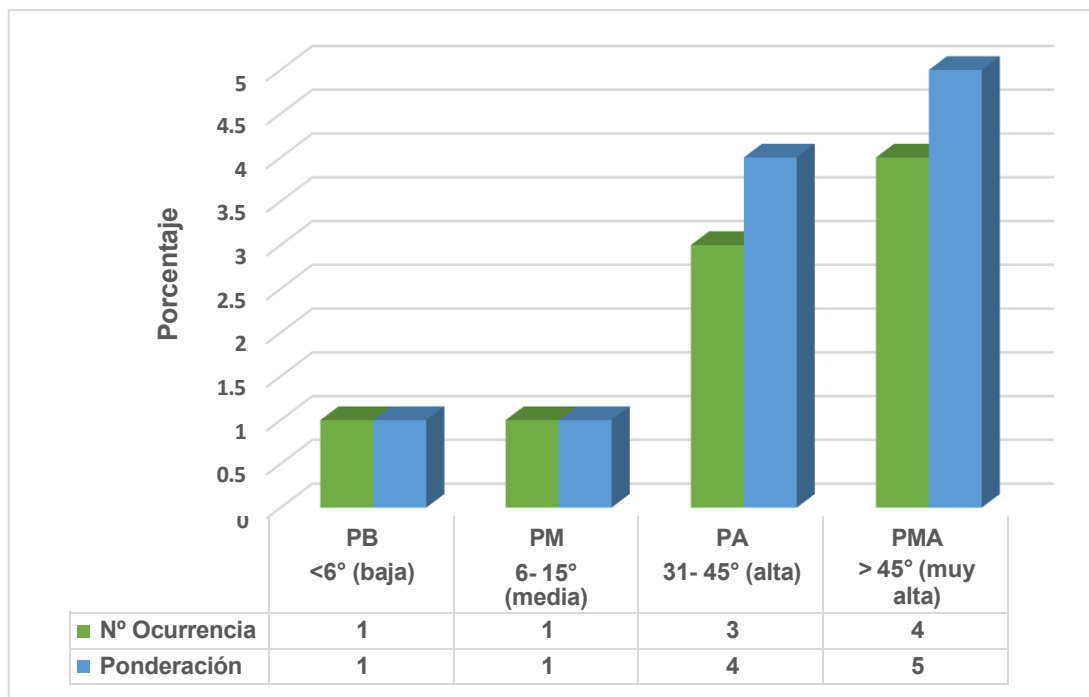


Figura 28. Ponderación de unidades de pendientes

La mayor cantidad de taludes analizados se encuentran dentro de las zonas con pendientes muy altas a altas. Las barras de color rojo representan las ponderaciones.

4.3.2. Método probabilístico

Este método estadístico implica dar un peso a cada talud mediante la elaboración de una unidad cartográfica ponderada (UCP). Esta UCP es el total de área de influencia de talud y se da en km^2 . El peso de cada uno se da dividiendo por el total de UCP y multiplicado por 100. Posteriormente se haya el logaritmo natural para poder homogenizar los resultados. A continuación, se realizan los tratamientos de cada factor condicionante de los taludes en la zona de estudio.

Tabla 20. Cálculo del factor litológico

A	B	C	Manifestaciones				Peso de las manifestaciones				Categorizacion y normalizacion de datos			
Unidad	Ocurrencia	UCP (Km2)	Desl	Cro	Fd	Mco	1	2	3	4	$W=\sum(1+..4)$	$\ln(W*100000)$	Valor	Categoría
			D	E	F	G	D/C	E/C	F/C	G/C				
			Tipo1	Tipo2	Tipo3	Tipo4	*100	*100	*100	*100				
Areniscas duras	2	0.27	0.04	0.06	0.15	0.021	14.81	22.22	55.56	7.78	100.370	7.0016	3	Baja
Arcillas y limolitas duras	2	0.53	0.06	0.15	0.28	0.044	11.32	28.30	52.83	8.30	100.755	7.0033	4	Alta
Areniscas y limolitas blandas	4	1.44	0.15	0.11	1.11	0.082	10.42	7.64	77.08	5.69	100.833	7.0036	5	Muy alta
Depósitos inconsolidados	1	0.11	0.009	0.005	0.093	0.0031	8.18	4.55	84.55	2.82	100.091	7.0004	1	Muy baja
Total	9	2.35												

Tabla 21. Cálculo del factor de pendiente

A	B	C	Manifestaciones				Peso de las manifestaciones				Categorización y normalización de datos			
			Des	Ceo	Fd	Mco	1	2	3	4	W=Σ1+..4)	ln(W*100000)	Valor	Categoría
			D	E	F	G								
			tipo1	tipo2	tipo3	tipo4								
Unidad	Ocurrencia	UCP (Km2)					D/C *100	E/C *100	F/C *100	G/C *100				
(00- 20°)	1	0.53	0.092	0.141	0.285	0.013	17.36	26.60	53.77	2.45	100.189	7.0008	1	Baja
(21- 30°)	5	0.95	0.158	0.279	0.295	0.225	16.63	29.37	31.05	23.68	100.737	7.0032	5	Muy alta
(31-40°)	3	0.87	0.151	0.111	0.547	0.065	17.36	12.76	62.87	7.47	100.460	7.0020	4	Alta
Total	9	2.35												

Tabla 22. Cálculo del factor de cobertura vegetal

A	B	C	Manifestaciones				Peso de manifestaciones				Categorización y normalización de datos			
			Des	Cro	Fd	Mco								
Unidad	Ocurrencia	UCP (Km2)	D	E	F	G	1	2	3	4				
			tipo1	tipo2	tipo3	tipo4	D/C *100	E/C *100	F/C *100	G/C *100	W= $\sum 1+..4$	ln(W*100000)	Valor	Categoría
Cultivo y bosques reforestados	4	0.86	0.283	0.142	0.288	0.177	32.91	16.51	33.49	20.58	103.488	7.0149	5	Muy alta
Pastos alóctonos	1	0.41	0.098	0.151	0.128	0.035	23.90	36.83	31.22	8.54	100.488	7.0021	1	muy baja
Zona urbana con infraestructura	3	0.77	0.092	0.185	0.388	0.129	11.95	24.03	50.39	16.75	103.117	7.0133	4	Alta
Pobre cobertura vegetal	1	0.31	0.014	0.109	0.171	0.018	4.52	35.16	55.16	5.81	100.645	7.0028	1	Muy baja
Total	9	2.35												

Tabla 23. Cálculo del factor tectónico

A	B	C	Manifestaciones				Peso de manifestaciones				Categorización y normalización de datos			
Unidad	Ocurrencia	UCF (Km ²)	Des	Cro	Fd	Mco								
			D	E	F	G	1	2	3	4				
			tipo1	tipo2	tipo3	tipo4	D/C *100	E/C *100	F/C *100	G/C *100	W=Σ1+..4)	ln(W*100000)	Valor	Categoría
Zona lejos del fallamiento	2	0.64	0.182	0.145	0.161	0.1550	28.44	22.66	25.16	24.22	100.469	7.0020	1	Baja
Zona mediana al fallamiento	3	0.76	0.194	0.195	0.191	0.186	25.53	25.66	25.13	24.47	100.789	7.0034	4	Alta
Zona cerca al fallamiento	4	0.95	0.169	0.199	0.395	0.198	17.79	20.95	41.58	20.84	101.158	7.0050	5	Muy alta
Total	9	2.35												

Tabla 24. Cálculo del factor hidrogeológico

A	B	C	Manifestaciones				Peso de manifestaciones				Categorización y normalización de datos			
Unidad	Ocurrencia	UCP (Km2)	Des	Cro	Fd	Mco	1	2	3	4	W=Σ1+..4)	ln(W*100000)	Valor	Categoría
			D	E	F	G								
			tipo1	tipo2	tipo3	tipo4								
Acuitardo sedimentario	1	0.51	0.111	0.123	0.151	0.126	21.76	24.12	29.61	24.71	100.196	7.0009	1	Baja
Acuífero sedimentario fracturado	7	1.224	0.289	0.333	0.324	0.285	23.61	27.21	26.47	23.28	100.572	7.0025	5	Muy alta
Acuífero poroso inconsolidado	1	0.616	0.164	0.182	0.104	0.165	26.62	29.55	16.88	26.79	99.838	6.9993	1	Baja
Total	9	2.35												

Tabla 25. Cálculo del factor geomorfológico

A	B	C	Manifestaciones				Peso de manifestaciones				Categorización y normalización de datos			
		UCP	Des	Cro	Fd	Mco								
Unidad	Ocurrencia	(Km2)	D	E	F	G	1	2	3	4				
			tipo1	tipo2	tipo3	tipo4	D/C *100	E/C *100	F/C *100	G/C *100	W=Σ1+..4)	ln(W*100000)	Valor	Categoría
Laderas	1	0.508	0.112	0.117	0.151	0.127	22.05	23.03	29.72	25.00	99.803	6.9991	1	Baja
Lomadas	6	1.157	0.233	0.329	0.324	0.276	20.14	28.44	28.00	23.85	100.432	7.0019	5	Muy alta
Planicies	2	0.685	0.166	0.187	0.144	0.187	24.23	27.30	21.02	27.30	99.854	6.9994	1	Media
Total	9	2.35												

4.3.2.1. Factores condicionantes de la Inestabilidad (FCI)

Los 06 taludes analizados se ubican en rocas areniscosas del Grupo Goyllarisquizga y de la Formación Chota. Se ha determinado que las areniscas de la Formación Chota son más deleznales y poco duras en comparación a las areniscas del Grupo Goyllarisquizga que son más duras y compactas. Por esta razón los taludes presentes en rocas de la Formación Chota son inestables. Los taludes TA- 04, TA-05 y TA-06 (inestables) se ubican muy cercanas a la Falla Choctapampa. Los taludes inestables se ubican en zonas de rocas deleznales y porosas. En este orden de ideas se aplica una valoración de 9 al factor litológico, una valoración de 7 al factor tectónico y una valoración de 5 al factor hidrogeológico. Estos valores asignados servirán para ser agregados en las columnas y las filas y determinar los porcentajes de los Factores condicionantes de la inestabilidad (FCI).

Tabla 26. Factores condicionantes de la inestabilidad

Factores condicionantes de Inestabilidad (FCI) n=6	Litológico (9)	Tectónico (7)	Hidrogeológico (5)	Cobertura vegetal (3)	Geomorfología (1)	Pendiente (i)	$\Sigma(1,2,3,4,5,6,7)$	$a=\Sigma(1,2,3,4,5,6,7)/n$	$(\Sigma(1,2,3,4,5,6,7)/n)/\Sigma a$	Porcentaje %
Litológico (9)	1.00	1.29	1.80	3	9	9	25.09	4.18	0.35	35.05
Tectónico (7)	0.78	1.00	1.40	2.33	7	7	19.51	3.25	0.27	27.26
Hidrogeológico (5)	0.56	0.71	1.00	1.67	5	5	13.94	2.32	0.19	19.47
Cobertura vegetal (3)	0.33	0.43	0.60	1.00	3	3	8.36	1.39	0.12	11.68
Geomorfología (1)	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00	1	2.79	0.46	0.04	3.89
Pendiente (1)	0.11	0.14	0.20	0.33	0.11	1.00	1.90	0.32	0.03	2.65
Total	2.89	3.71	5.20	8.67	25.11	26	71.58	11.93	1.00	100

4.3.2.2. Cálculo de los Factores Condicionantes de la Inestabilidad

Los cálculos efectuados, indica que, la litología (35.5%); tectonismo (27.26%), hidrogeológico (19.47%) son los factores condicionantes a los Movimientos de Masa de los taludes.

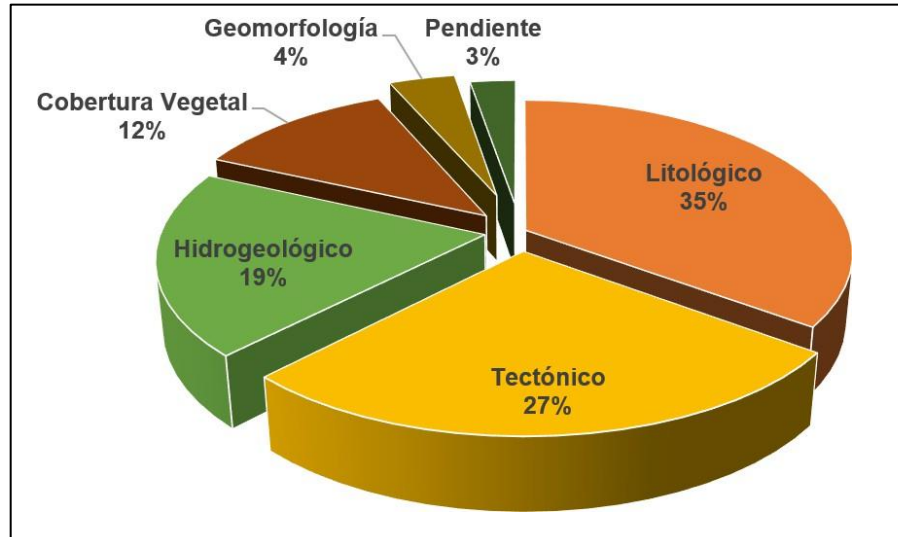


Figura 29. Porcentaje de los factores condicionante

4.3.2.3. Cálculo del Coeficiente de Consistencia (CC)

Para verificar si los datos calculados poseen una consistencia se aplica el cálculo del Coeficiente de Consistencia (CC):

Aplicando la fórmula:

$$CC = \frac{IC}{IA}$$

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1}$$

IC: Índice de consistencia.

IA: Índice aleatorio.

Egivmax= Egeinventor máximo o principal = 0.35 máximo valor de FCI

n=6, son 6 factores analizados, entonces IA = 1.26

Egivmax Reemplazando valores:

$$IC = Egivmax / n - 1$$

$$IC=0.35/5$$

$$IC= 0.07$$

Reemplazando:

$$CC = IC/IA$$

$$CC = 0.07/1.26$$

$$CC = 0.05$$

Este valor es menor que 0.1 por lo tanto los datos analizados poseen consistencia.

4.4 ANÁLISIS DEL FACTOR DE SEGURIDAD

Luego de haber determinado los factores condicionantes de la inestabilidad mediante la evaluación geológica se procedió a determinar el Factor de Seguridad (FS) con la finalidad de evaluar la inestabilidad de los taludes presentes en el área de estudio. Para tal propósito se realizó el cálculo de la Resistencia a la Comprensión Uniaxial (RCU) y el GSI. Estos valores permitieron utilizar el software ROCDATA v- 4.0 el mismo que nos proporcionó los valores de la cohesión y el ángulo de fricción. Tanto la cohesión (c) y el ángulo de fricción (ϕ) sirvieron para utilizar el software SLIDE 6.0 para la determinación del FS.

4.5 DESCRIPCIÓN DE LOS TALUDES

Cabe indicar que en la zona de estudio se encuentran una serie de taludes generados como consecuencia de la erosión intensa que afecta a las rocas. Para este estudio se van analizar 06 taludes con la finalidad de determinar Factor de Seguridad (FS). A continuación, se describen los taludes analizados:

Tabla 27. Coordenadas UTM de los taludes

Talud	Coordenadas		Cota (m)	Unidad Geológica	Ubicación
	Norte	Este			
TA-01	9235000	816220	2550	Fm. Chimú	K02+000
TA-02	9236600	815500	2580	Fm. Carhuaz	K04+300
TA-03	9238000	815200	2680	Fm. Farrat	K05+100
TA-04	9238500	815900	2700	Fm. Chota	K06+600
TA-05	9238500	815500	2650	Fm. Chota	K06+620
TA-06	9238600	815600	2720	Fm. Chota	K06+630

4.5.1. Talud N° 01 (TA- 01) (N 9235000; E 816220)

Este talud se ubica en el Km 02+000 (margen derecho de la carretera José Gálvez – CP Chaquil). Está constituido por rocas de la Fm. Chimú. Estas rocas poseen una coloración gris blanquecinas a gris anaranjadas y corresponden a una depositación en un ambiente continental. Poseen un buzamiento de 30° al SO. Muestran alta dureza. Esta dureza es producto de la diagénesis como consecuencia del peso litostático. Muestran fracturamientos como consecuencia de la influencia de las fallas regionales Lucmapampa (FLU) y Choctapampa. (FCH).

Tabla 28. Características del talud TA-01

Coordenadas		Geometría del talud	
N 9235000	E 816220	Altura: 6.0 m	Largo: 7.0 m
Cota: 2550 m.s.n.m.		Ángulo de talud: 55°	Azimut: 140°

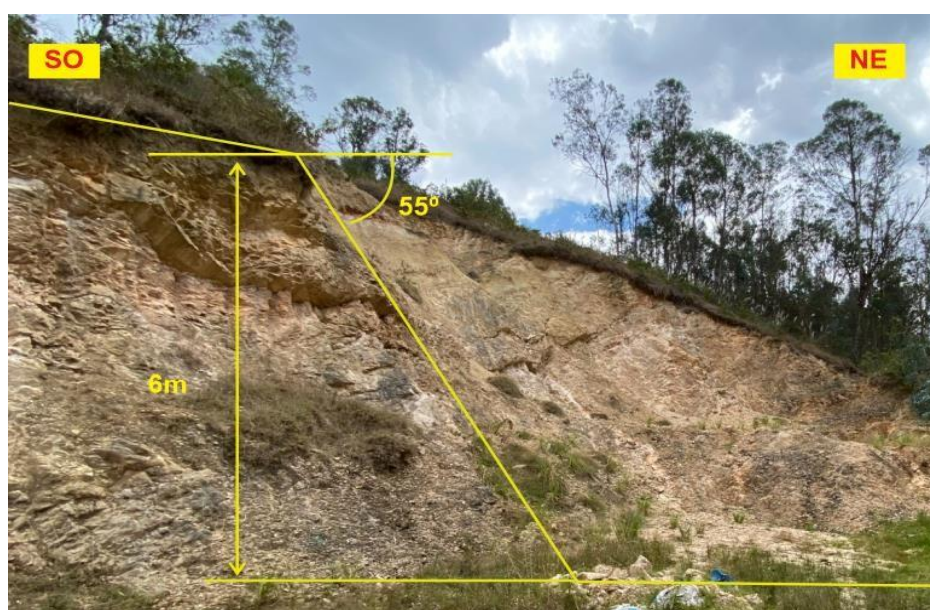


Figura 30. Talud ubicado en Km02+000 en el margen derecho de la carretera José Gálvez - CP Chaquil.

4.5.2. Talud N° 02 (TA- 02) (N 9236600; E 815500)

Este talud se ubica en el en el Km 04+300 (carretera José Gálvez – El Tingo). Está configurado en rocas de la Fm. Carhuaz de edad Cretácico inferior. Estas rocas poseen una coloración gris rojiza, gris anaranjada, poseen estratos delgados. Estas rocas se han depositado en un ambiente continental lacustrino. Poseen alta cohesión y dureza. Las rocas están buzando 35° al NE.

Tabla 29. Características del talud TA-02

Coordenadas		Geometría del talud	
N 9236600	E 815500	Altura: 5.5 m	Largo: 6.0 m
Cota: 2580 m.s.n.m.		Ángulo de talud: 45°	Azimut: 120°

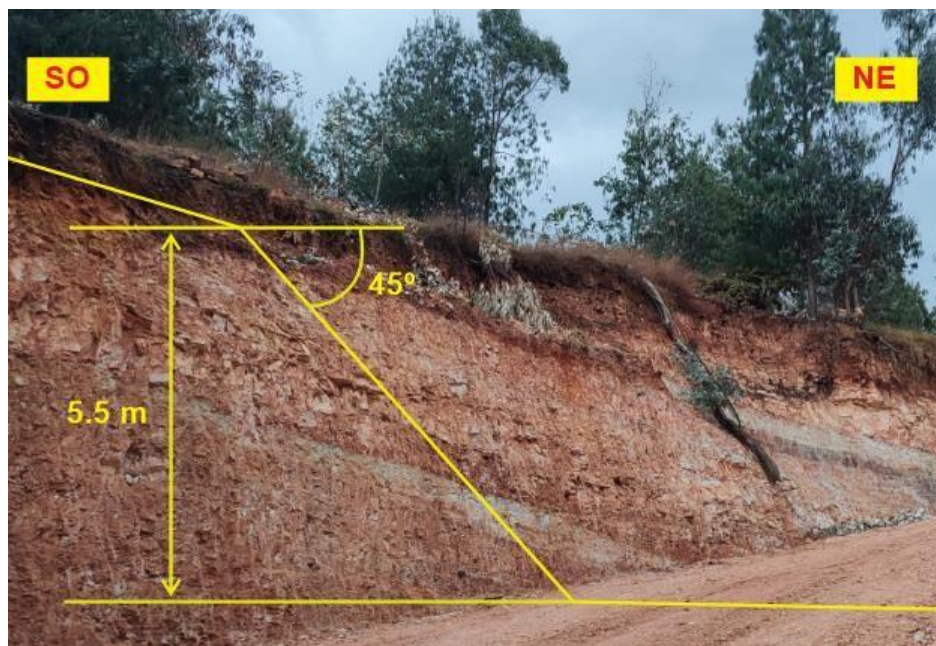


Figura 31. Talud ubicado en Km04+300 de la carretera José Gálvez - El Tingo.

4.5.3. Talud N° 03 (TA- 03) (N 9238000; E 815200)

Este talud se ubica a la izquierda del km 05+100. Constituido por rocas de la Fm. Farrat. Estas rocas poseen una coloración gris blanquecina a gris anaranjadas. Estas rocas corresponden a una depositación en un ambiente netamente continental. Poseen alta duración y cohesión producto de la diagénesis.

Tabla 30. Características del talud TA-03

Coordenadas		Geometría del talud	
N 9238000	E 815200	Altura: 3.5 m	Largo: 6.30 m
Cota: 2680 m.s.n.m.		Ángulo de talud: 55°	Azimut: 110°

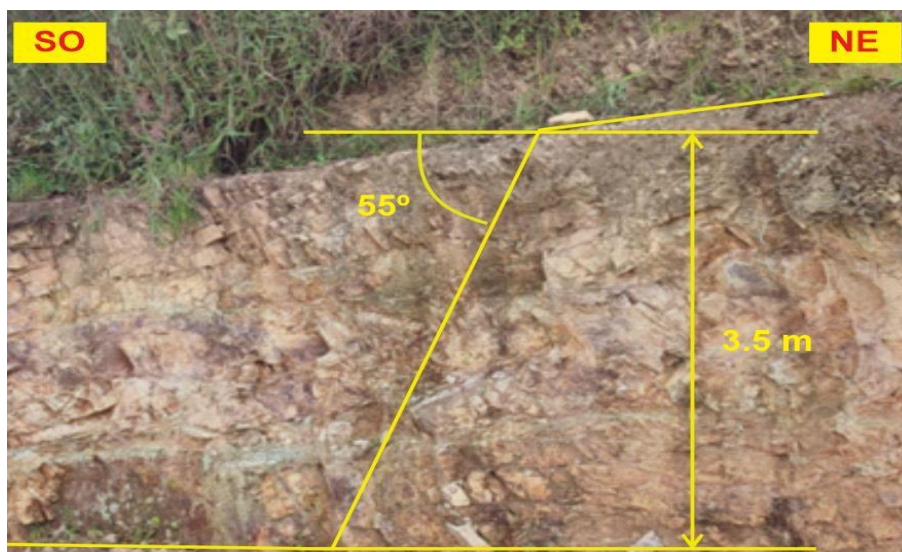


Figura 32. Talud ubicado en Km05+100 de la carretera cerca de Choctapampa.

4.5.4. Talud N° 04 (TA- 04) (N 9238500; E 815900)

Este talud se ubica en el Km 06+600. constituido en rocas alteradas de la Fm. Chota del Cretácico superior- Paleógeno. Estas rocas poseen una coloración gris rojiza a gris anaranjadas y corresponden a una depositación en un ambiente netamente continental. Poseen baja cohesión y baja dureza producto de la baja diagénesis sufrida y por esa causa son susceptible de ser afectadas intensamente por la erosión.

Tabla 31. Características del talud TA-04

Coordenadas		Geometría del talud	
N 9238500	E 815900	Altura: 6.0 m	Largo: 8.30 m
Cota: 2700 m.s.n.m.		Ángulo de talud: 45°	Azimut: 110°

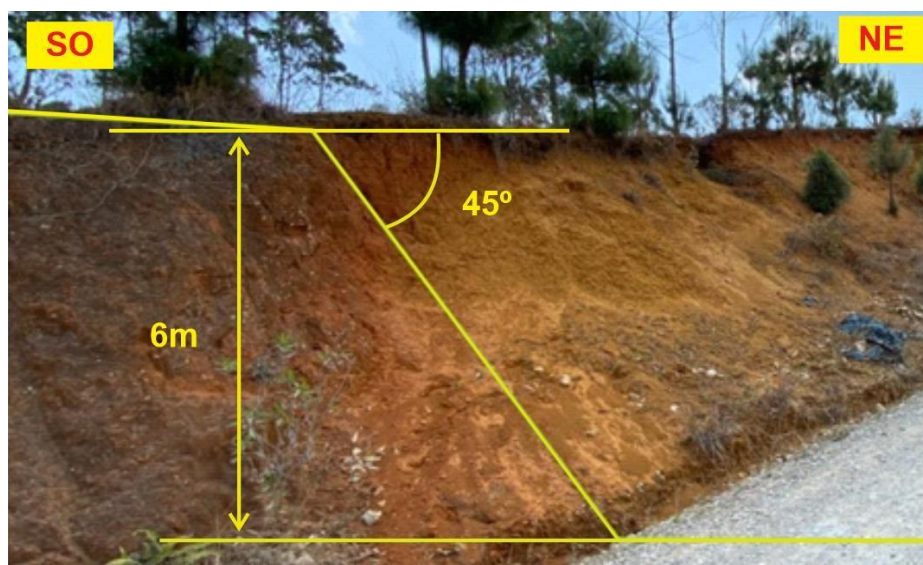


Figura 33. Talud ubicado en Km06+600 de la carretera José Gálvez- Celendín.

4.5.5. Talud N° 05 (TA- 05) (N 9238500; E 815500)

Este talud se ubica a la izquierda del Km 06+620 (carretera José Gálvez – Celendín). Constituido por rocas muy alteradas de la Fm. Chota. Poseen una coloración gris rojiza a gris anaranjadas y corresponden a una depositación en un ambiente netamente continental. Poseen baja cohesión y baja dureza y poseen un buzamiento de 30° al SO.

Tabla 32. Características del talud TA-05

Coordenadas		Geometría del talud	
N 9238500	E 815500	Altura: 5.5 m	Largo: 6.0 m
Cota: 2650 m.s.n.m.		Ángulo de talud: 50°	Azimut: 120°

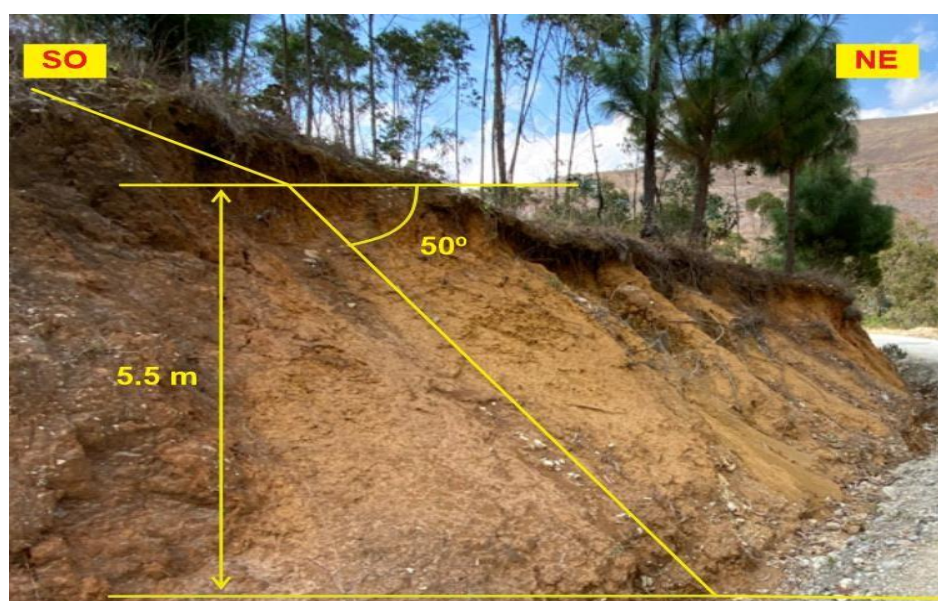


Figura 34. Talud ubicado en Km06+620 de la carretera José Gálvez- Celendín.

4.5.6. Talud N° 06 (TA- 06) (N 9238600; E 815600)

Este talud se ubica a la izquierda del Km 06+630 (carretera José Gálvez – Celendín). Constituido por rocas muy alteradas de la Fm. Chota. Estas rocas poseen una coloración gris anaranjada a gris rojiza a gris anaranjadas. Poseen una baja cohesión y una baja dureza.

Tabla 33. Características del talud TA-06

Coordenadas		Geometría del talud	
N 9238600	E 815600	Altura: 6.0 m	Largo: 6.0 m
Cota: 2720 m.s.n.m.		Ángulo de talud: 40°	Azimut: 130°

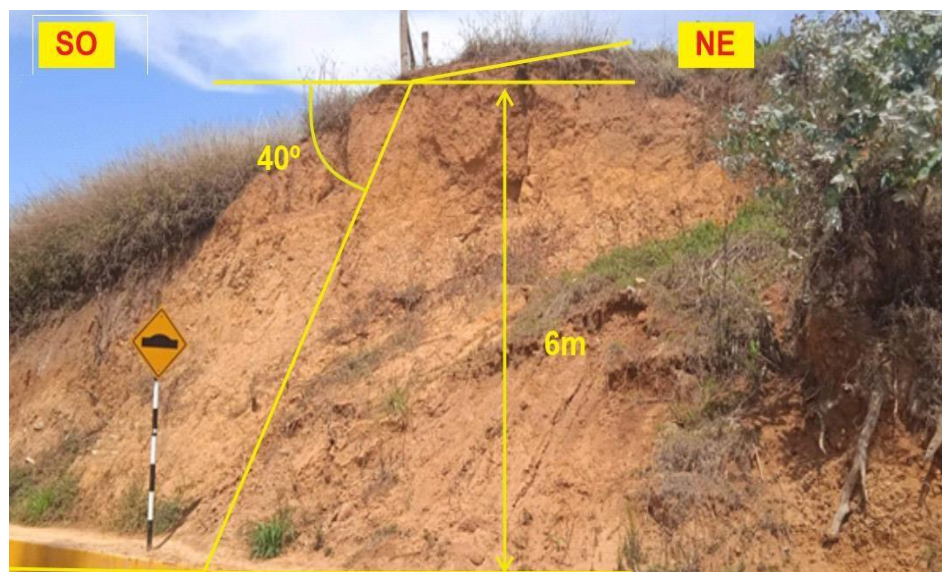


Figura 35. Talud ubicado en Km06+630 de la carretera José Gálvez- Celendín.

4.6 CÁLCULO DEL PESO ESPECÍFICO

Los valores del peso específico de las seis (06) muestras de areniscas fueron determinadas por el laboratorio INGEOCONSULT & LAB. SRL. Las muestras de areniscas TA- 01, TA- 02 y TA- 03 pertenecen al Grupo Goyllarisquizga y las muestras TA- 04, TA- 05 y TA- 06 a la Formación Chota. (Ver anexo 02).

Se aplicó la siguientes formulas:

$$VH20_{desp} = (VolH20 + Frag.Roca) - (VolH20 \sin Frag.Roca)$$

VH20 desp. = Volumen de agua desplazado (cm³)

Vol H₂O = Volumen de H₂O

M. Roca = Muestra de roca

Para la determinación del peso específico (PE):

$$PE = \frac{PESO ESPECIFICO (gr)}{diferencis de volumenenes (cm3)}$$

Tabla 34. Valores del peso específico de 06 muestras analizadas.

Número de muestra	Peso específico (gr/cm3)
TA- 01	2.56
TA- 02	2.53
TA- 03	2.535
TA- 04	2.427
TA- 05	2.416
TA- 06	2.383

4.7 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAxIAL

A continuación, se muestran los procedimientos efectuados para la determinación de la resistencia a la compresión uniaxial. Los cálculos efectuados fueron a las 06 muestras correspondiente a los taludes. Para este cálculo se ha utilizado el martillo de Schmidt CONTROLS, tipo L, Modelo 45- 561.



Figura 36. Martillo de Schmidt CONTROLS, tipo L, Modelo 45- 561.

4.7.1 Número de Rebotes (NR)

Con la utilización del Martillo de Schmidt se realizaron 08 rebotes para cada estación. Luego, para obtener los valores de la Resistencia a la Compresión Uniaxial (RCU) se ha utilizado el ábaco, que se muestra en la siguiente figura, en donde se plotea el valor promedio de los rebotes vs el peso específico de la roca en KN/m^3 , obteniéndose un promedio general de la resistencia a la compresión uniaxial en MPa para cada estación.

Este valor es corroborado con la utilización de la siguiente formula:

$$\text{Log (RCU)} = (0.00088 \cdot \text{PE} \cdot \text{VD}) + 1.01.$$

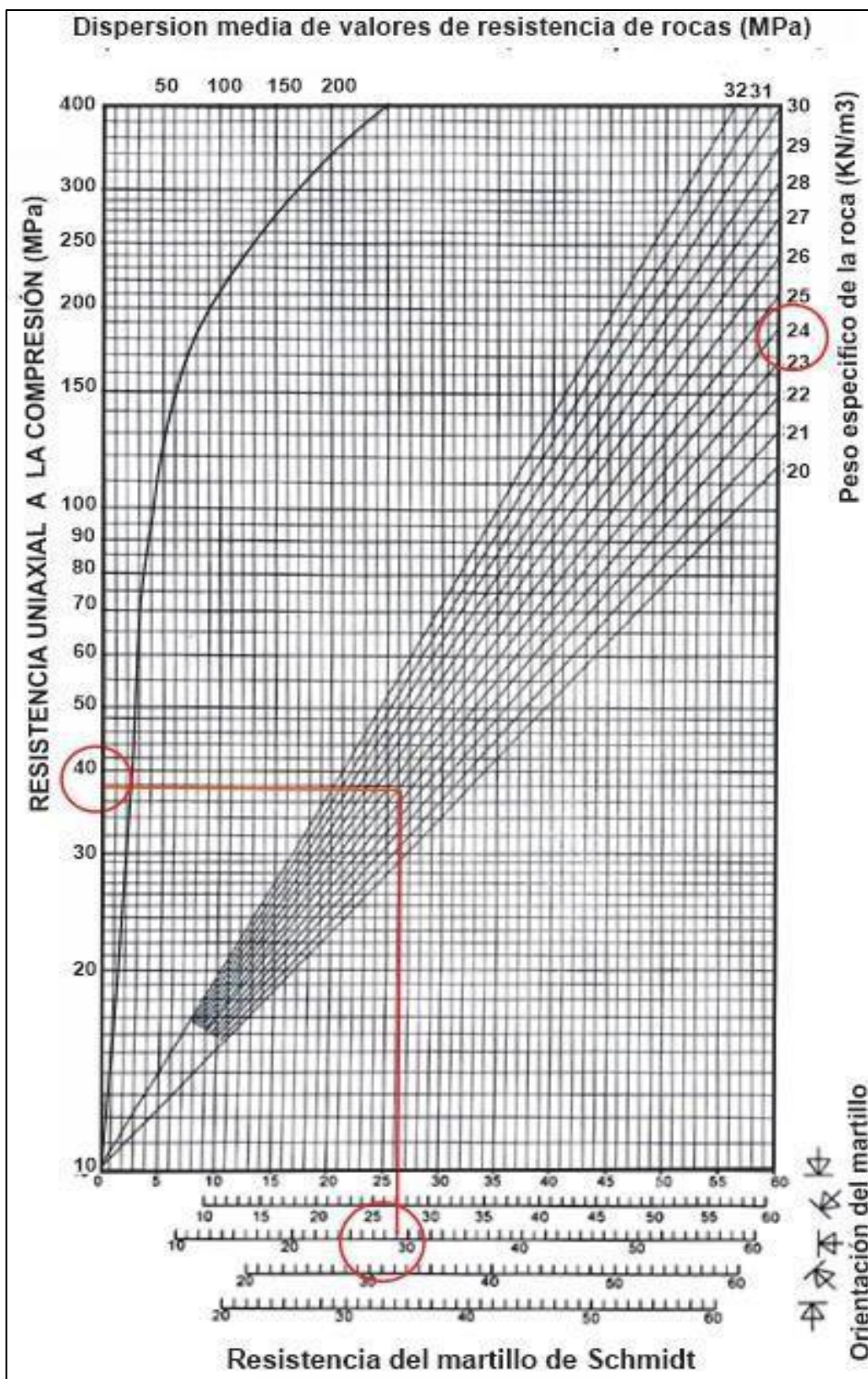


Figura 37. Abaco para medir la Resistencia a la Compresión Uniaxial.

A continuación, se muestran las 06 tablas en donde se observa el procedimiento aplicado y los resultados para cada estación:

Tabla 35 Cálculo del RCU de TA-01

Ubicación: Distrito: José Gálvez Unidad: Formación Chimú			Coordenadas: N=9235000 E=816220			Numero de pruebas Nº 08		
Macizo rocoso			Especificaciones del martillo de Schmidt			Ensayo de campo		
Estación	Litología	Peso específico (PE) (KN/m3)	Tipo de martillo	Fecha	Orientación Horizontal	Valor del rebote (VD)	Valor de la división del intervalo RCU (MPa) $\text{Log(RCU)} = (0.00088 * \text{PE} * \text{VD}) + 1.01$	RCU promedio (MPa)
TA-01	Arenisca	25.56	L	20/12/2024	Horizontal	34	59.53	53.76
					Horizontal	32	53.67	
					Horizontal	33	56.53	
					Horizontal	32	53.67	
					Horizontal	31	50.97	
					Horizontal	32	53.67	
					Horizontal	30	48.39	
					Horizontal	32	53.67	

Al realizar el procedimiento se ha obtenido un promedio de la Resistencia a la Compresión uniaxial de 53.76 MPa

Tabla 36. Cálculo del RCU de TA-02

Ubicación: Distrito: José Gálvez Unidad: Formación Carhuaz			Coordenadas: N=9236600 E=815500			Numero de pruebas N° 08		
Macizo rocoso			Especificaciones del martillo de Schmidt			Ensayo de campo		
Estación	Litología	Peso específico (PE) (KN/m3)	Tipo de martillo	Fecha	Orientación Horizontal	Valor del rebote (VD)	Valor de la división del intervalo RCU (MPa) $\text{Log(RCU)} = (0.00088 * \text{PE} * \text{VD}) + 1.01$	RCU promedio (MPa)
TA- 02	Arenisca dura	25.35	L	20/12/2024	Horizontal	31	50.30	51.34
					Horizontal	30	47.78	
					Horizontal	32	52.95	
					Horizontal	31	50.30	
					Horizontal	30	47.78	
					Horizontal	32	52.95	
					Horizontal	33	55.74	
					Horizontal	32	52.95	

Al realizar el procedimiento se ha obtenido un promedio de la Resistencia a la Compresión uniaxial de 51.34 MPa

Tabla 37. Cálculo del RCU de TA-03

Ubicación: Distrito: José Gálvez Unidad: Formación Farrat			Coordenadas: N=9238000 E=815200			Numero de pruebas N° 08		
Macizo rocoso			Especificaciones del martillo de Schmidt			Ensayo de campo		
Estación	Litología	Peso específico (PE) (KN/m3)	Tipo de martillo	Fecha	Orientación Horizontal	Valor del rebote (VD)	Valor de la división del intervalo RCU (MPa) $\text{Log(RCU)} = (0.00088 * \text{PE} * \text{VD}) + 1.01$	RCU promedio (MPa)
TA- 03	Arenisca dura	25.34	L	20/12/2024	Horizontal	31	50.27	50.00
					Horizontal	32	52.91	
					Horizontal	31	50.27	
					Horizontal	32	52.91	
					Horizontal	31	50.27	
					Horizontal	29	45.36	
					Horizontal	31	50.27	
					Horizontal	30	47.75	

Al realizar el procedimiento se ha obtenido un promedio de la Resistencia a la Compresión uniaxial de 50.00 MPa.

Tabla 38. Cálculo del RCU de TA-04

Ubicación: Distrito: José Gálvez Unidad: Formación Chota			Coordenadas: N=9238500 E=815900			Numero de pruebas N° 08		
Macizo rocoso			Especificaciones del martillo de Schmidt			Ensayo de campo		
Estación	Litología	Peso específico (PE) (KN/m3)	Tipo de martillo	Fecha	Orientación Horizontal	Valor del rebote (VD)	Valor de la división del intervalo RCU (MPa) $\text{Log(RCU)} = (0.00088 * \text{PE} * \text{V}$ $\text{D}) + 1.01$	RCU promedio (MPa)
TA- 04	Arenisca blanda	24.22	L	20/12/2024	Horizontal	27	38.50	38.10
					Horizontal	25	34.90	
					Horizontal	28	40.44	
					Horizontal	27	38.55	
					Horizontal	25	34.90	
					Horizontal	28	40.44	
					Horizontal	26	36.66	
					Horizontal	28	40.44	

Al realizar el procedimiento se ha obtenido un promedio de la Resistencia a la Compresión uniaxial de 38.10 MPa.

Tabla 39. Cálculo del RCU de TA-05

Ubicación: Distrito: José Gálvez Unidad: Formación Chota			Coordenadas: N=9238500 E=815500			Numero de pruebas N° 08		
Macizo rocoso			Especificaciones del martillo de Schmidt			Ensayo de campo		
Estación	Litología	Peso específico (PE) (KN/m3)	Tipo de martillo	Fecha	Orientación Horizontal	Valor del rebote (VD)	Valor de la división del intervalo RCU (MPa) $\text{Log(RCU)} = (0.00088 * \text{PE} * \text{V}$ $\text{D}) + 1.01$	RCU promedio (MPa)
TA- 05	Arenisca	24.15	L	20/12/2024	Horizontal	28	40.28	33.09
					Horizontal	21	28.60	
					Horizontal	24	33.12	
					Horizontal	22	30.03	
					Horizontal	25	34.78	
					Horizontal	22	30.03	
					Horizontal	24	33.12	
					Horizontal	25	34.78	

Al realizar el procedimiento se ha obtenido un promedio de la Resistencia a la Compresión uniaxial de 33.09 MPa.

Tabla 40. Cálculo del RCU de TA-06

Ubicación: Distrito: José Gálvez Unidad: Formación Chota			Coordenadas: N=9238600 E=815600			Numero de pruebas N° 08		
Macizo rocoso			Especificaciones del martillo de Schmidt			Ensayo de campo		
Estación	Litología	Peso específico (PE) (KN/m3)	Tipo de martillo	Fecha	Orientación Horizontal	Valor del rebote (VD)	Valor de la división del intervalo RCU (MPa) $\text{Log(RCU)} = (0.00088 * \text{PE} * \text{VD}) + 1.01$	RCU promedio (MPa)
TA- 06	Arenisca blanda	23.8	L	20/12/2024	Horizontal	25	34.17	32.82
					Horizontal	22	29.56	
					Horizontal	24	32.56	
					Horizontal	25	34.17	
					Horizontal	26	35.85	
					Horizontal	22	29.56	
					Horizontal	24	32.56	
					Horizontal	25	34.17	

Al realizar el procedimiento se ha obtenido un promedio de la Resistencia a la Compresión uniaxial de 32.82 MPa







Tabla 41. Resumen de Resistencia a la compresión uniaxial

Nº de muestra	Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)
TA- 01	50
TA- 02	51.34
TA- 03	53.76
TA- 04	38.1
TA- 05	33.09
TA- 06	32.82

4.8 CÁLCULO DEL GSI, COHESIÓN Y ÁNGULO DE FRICCIÓN

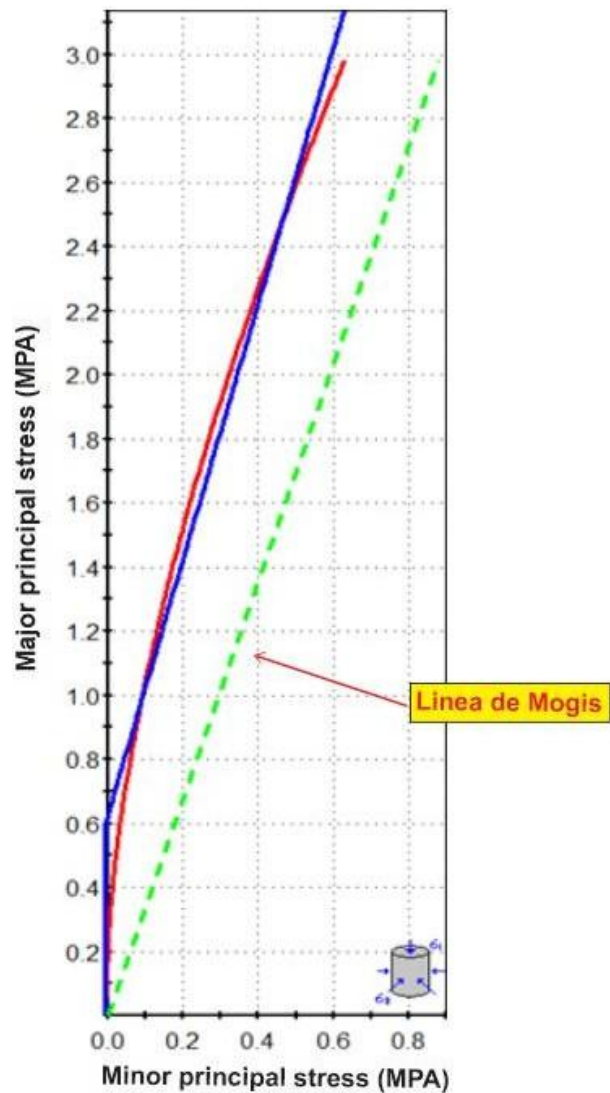
Para determinar el ángulo de fricción(ϕ) y la cohesión (c) es necesario utilizar el software ROCDATA. Para ello es necesario determinar los valores del GSI y de la Resistencia a la Compresión Uniaxial (RCU). Los valores del GSI se han determinado realizando un análisis visual en campo sobre las condiciones de las superficies de los macizos rocosos con las del grado de fracturamiento. Las siguientes figuras muestran los procedimientos seguidos para la determinación del GSI y la utilización del ROCDATA para determinar el ángulo de fricción(ϕ) y la cohesión (c):

Tabla 42. Cálculo del GSI del TA-01

Rock Type: <input type="text" value="General"/>		SURFACE CONDITIONS				
GSI Selection: <input type="text" value="38"/> <input type="button" value="OK"/>		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90	80	70	N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	60	50	40	30	20
	VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	30	20	10	N/A	N/A
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES ↓

38 GSI



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 50 MPa
 GSI = 38 m_i = 17 Disturbance factor = 1
 intact modulus (E_i) = 45000 MPa
 modulus ratio (MR) = 900

Hoek-Brown Criterion

m_b = 0.203 s = $3.25e-5$ a = 0.513

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.157 MPa friction angle = 36.798 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.008 MPa
 uniaxial compressive strength = 0.249 MPa
 global strength = 2.781 MPa
 modulus of deformation = 1652.658 MPa

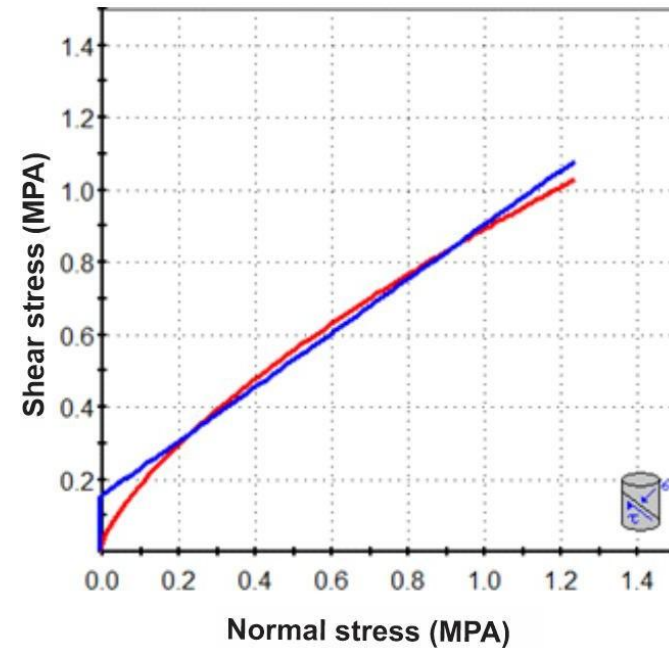






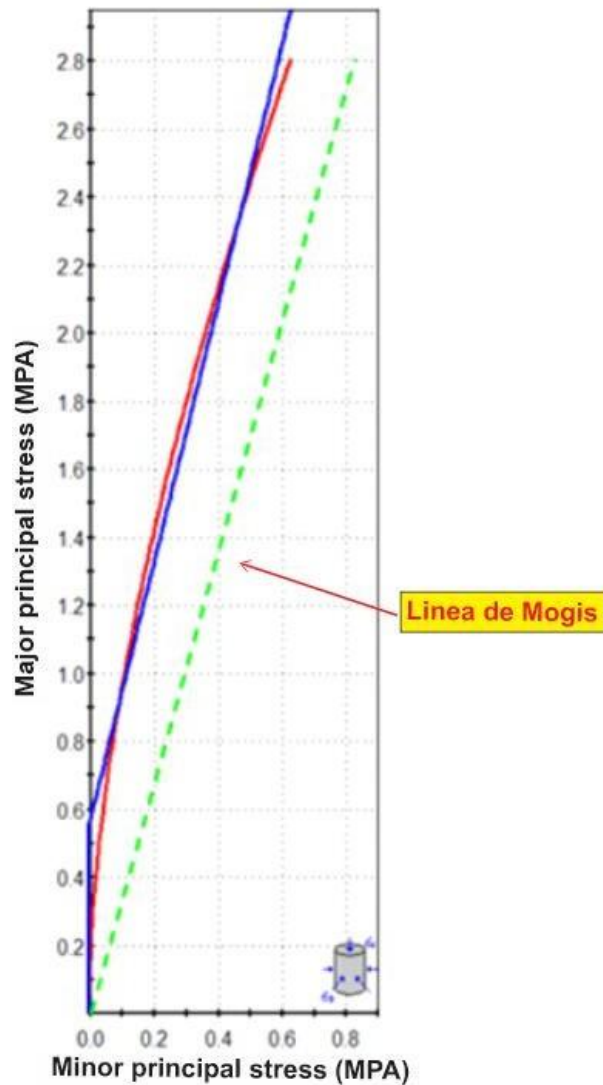


Figura 38. Determinación de la cohesión y el ángulo de fricción de TA- 01

Tabla 43. Cálculo del GSI de TA-02

Rock Type: <input type="text" value="General"/>		SURFACE CONDITIONS				
GSI Selection: <input type="text" value="36"/> <input type="button" value="OK"/>		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90	80	70	N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70	60		
	VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	70	60	50		
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	60	50	40	30	
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	50	40	30	20	
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A		10	



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 51.34 MPa
 GSI = 36 m_i = 17 Disturbance factor = 1
 intact modulus (E_i) = 46206 MPa
 modulus ratio (MR) = 900

Hoek-Brown Criterion

m_b = 0.176 s = 2.33e-5 a = 0.515

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.147 MPa friction angle = 35.651 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.007 MPa
 uniaxial compressive strength = 0.211 MPa
 global strength = 2.621 MPa
 modulus of deformation = 1572.072 MPa

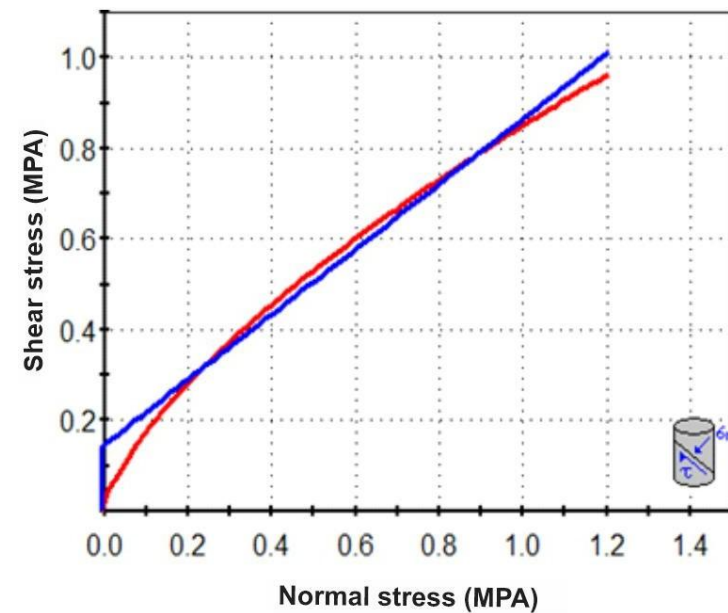






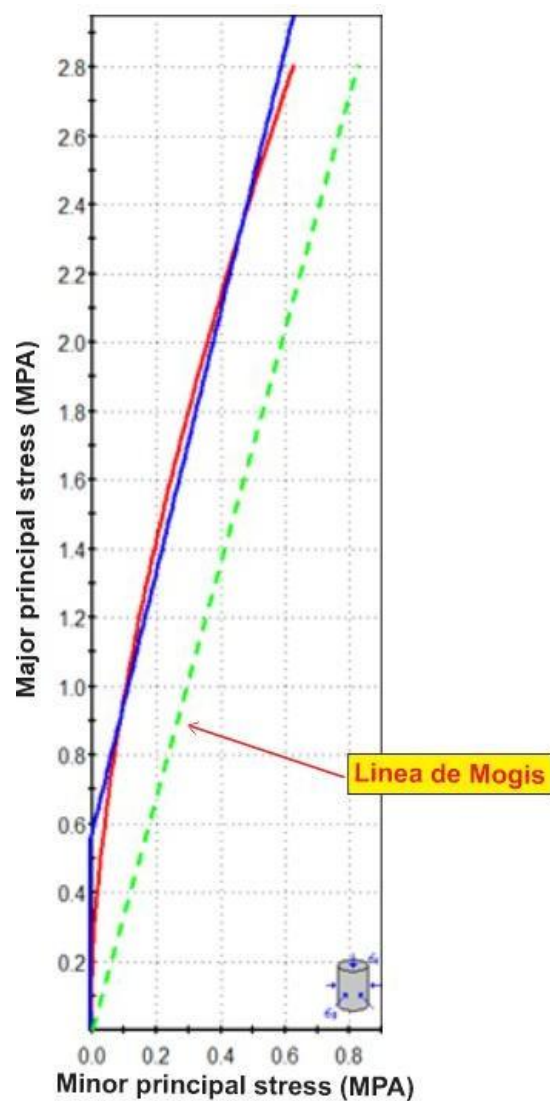


Figura 39. Determinación de la cohesión y el ángulo de fricción de TA-02

Tabla 44. Cálculo del GSI de TA-03

Rock Type: <input type="text" value="General"/>		SURFACE CONDITIONS				
GSI Selection: <input type="text" value="37"/> <input type="button" value="OK"/>		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90 80 70 60 50 40 30 20 10				
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets					
	VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	N/A N/A				
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity					
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	N/A N/A				
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes					



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 51.34 MPa
 GSI = 37 m_i = 17 Disturbance factor = 1
 intact modulus (E_i) = 46206 MPa
 modulus ratio (MR) = 900

Hoek-Brown Criterion

m_b = 0.189 s = 2.75e-5 a = 0.514

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.153 MPa friction angle = 36.328 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.007 MPa
 uniaxial compressive strength = 0.233 MPa
 global strength = 2.737 MPa
 modulus of deformation = 1631.848 MPa

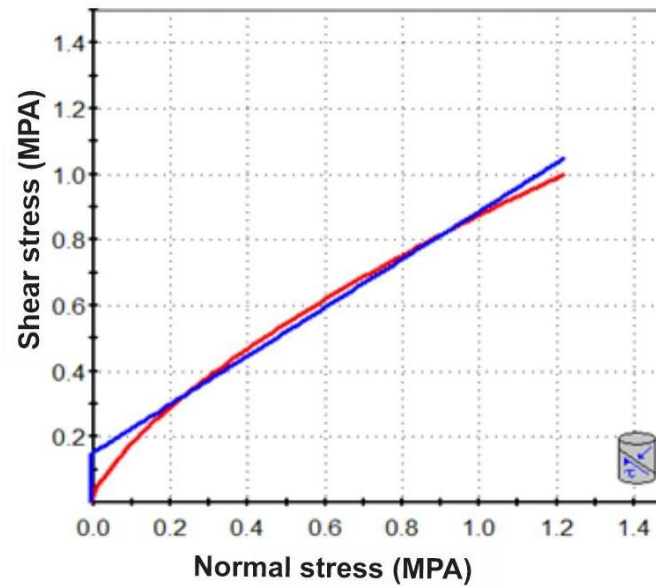






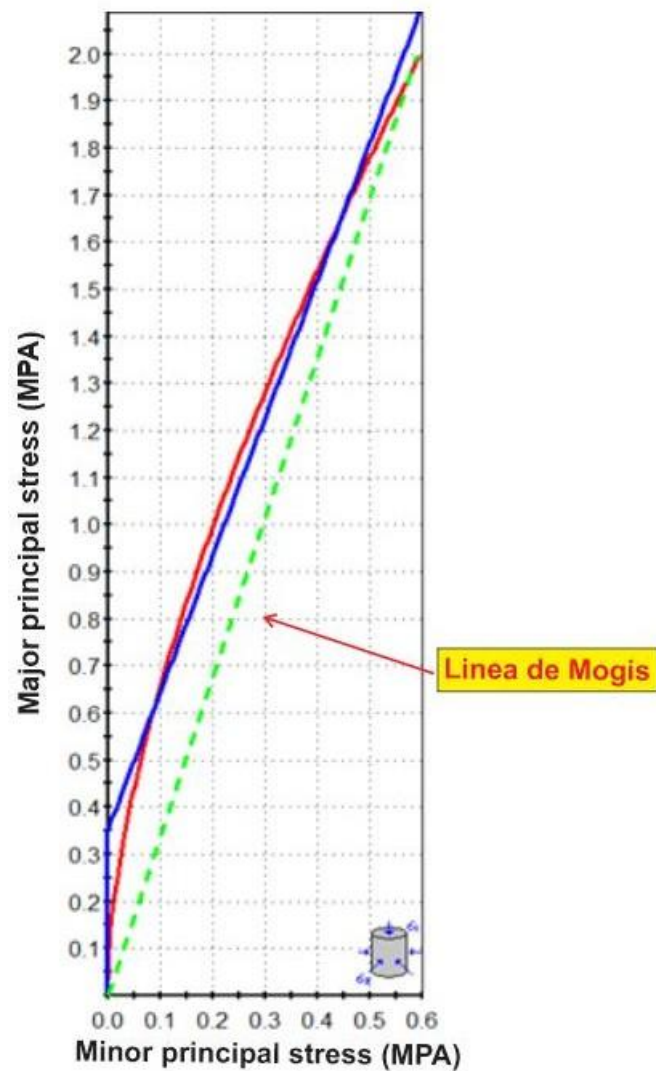


Figura 40. Determinación de la cohesión y el ángulo de fricción de TA- 03

Tabla 45. Cálculo del GSI de TA-04

Rock Type: <input type="text" value="General"/>		SURFACE CONDITIONS				
GSI Selection: <input type="text" value="30"/> <input type="button" value="OK"/>		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90	80	70	N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70	60	50	40
	VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	70	60	50	40	30
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	60	50	40	30	20
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	50	40	30	20	10
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A	10		



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 38.1 MPa
 GSI = 30 m_i = 17 Disturbance factor = 1
 intact modulus (E_i) = 34290 MPa
 modulus ratio (MR) = 900

Hoek-Brown Criterion

m_b = 0.115 s = 8.57×10^{-6} a = 0.522

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.104 MPa friction angle = 29.281 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.003 MPa
 uniaxial compressive strength = 0.086 MPa
 global strength = 1.483 MPa
 modulus of deformation = 967.817 MPa

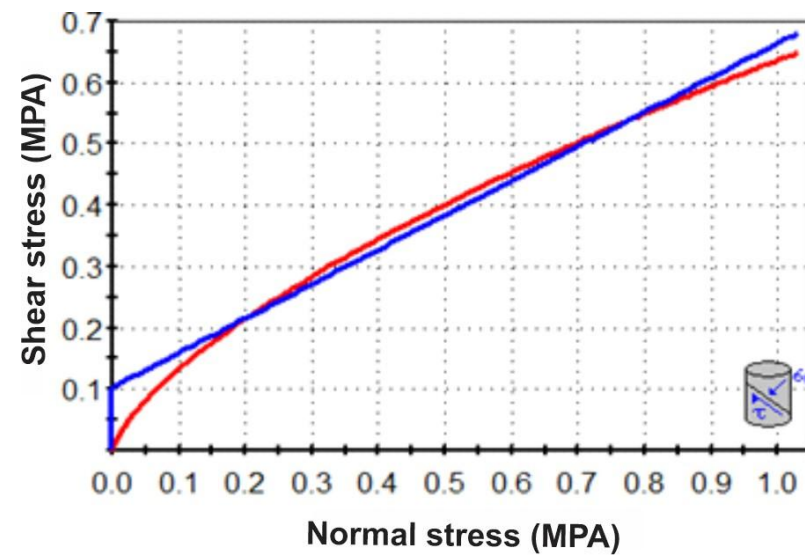






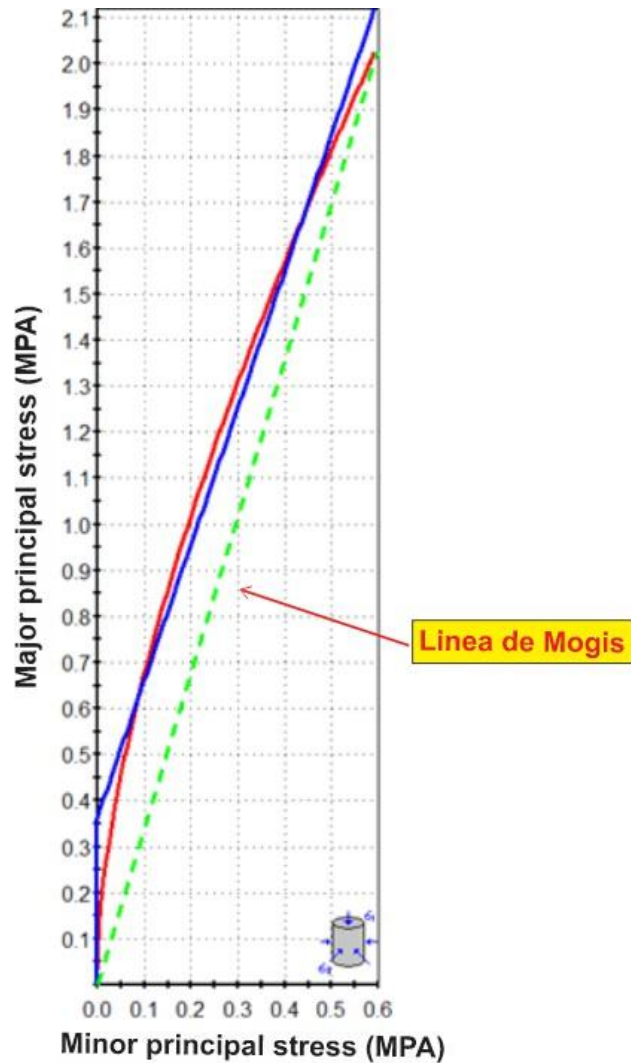


Figura 41. Determinación de la cohesión y el ángulo de fricción de TA- 04

Tabla 46. Cálculo del GSI de TA-05

Rock Type: General		SURFACE CONDITIONS				
GSI Selection: 32 OK		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	<div> 90 80 70 60 50 40 30 20 10 </div>				
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets					
	VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	<div> N/A N/A </div>				
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity					
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	<div> N/A N/A </div>				
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes					



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 33.1 MPa
 GSI = 32 m_i = 17 Disturbance factor = 1
 intact modulus (E_i) = 29790 MPa
 modulus ratio (MR) = 900

Hoek-Brown Criterion

m_b = 0.132 s = 1.2×10^{-5} a = 0.520

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.108 MPa friction angle = 29.493 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.003 MPa
 uniaxial compressive strength = 0.092 MPa
 global strength = 1.415 MPa
 modulus of deformation = 888.700 MPa

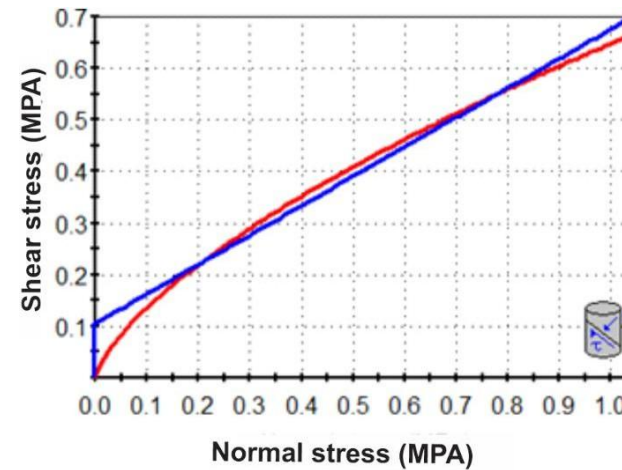






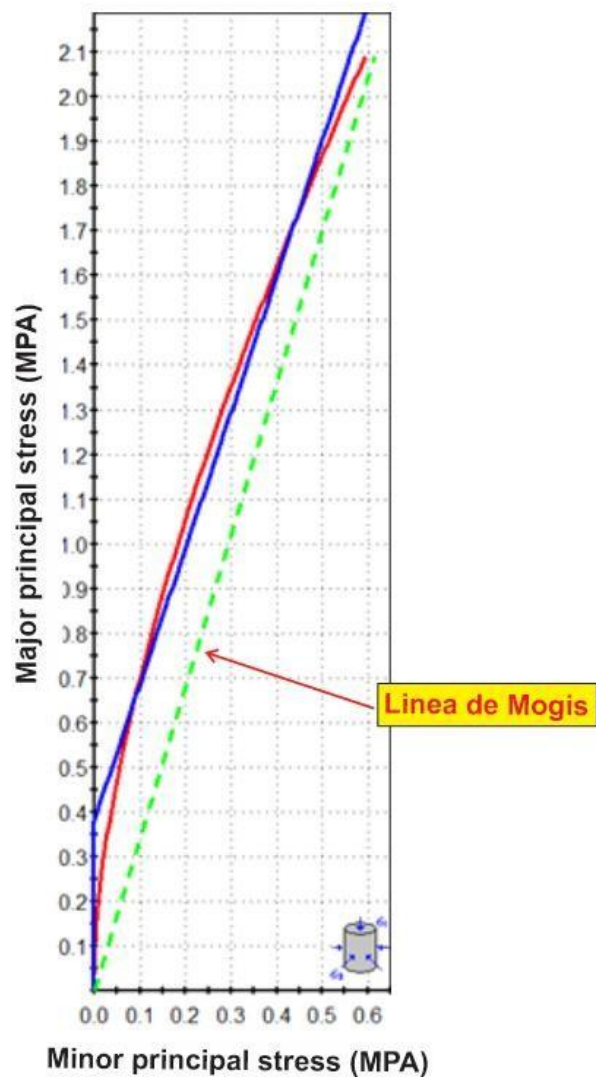


Figura 42. Determinación de la cohesión y el ángulo de fricción de TA- 05

Tabla 47. Cálculo del GSI de TA-06

Rock Type: <input type="text" value="General"/>		SURFACE CONDITIONS				
GSI Selection: <input type="text" value="33"/> <input type="button" value="OK"/>		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90			N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70			
	VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets		60	50		
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity			40	30	
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces				20	
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A			10



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 32.82 MPa
 GSI = 33 m_i = 17 Disturbance factor = 1
 intact modulus (E_i) = 29538 MPa
 modulus ratio (MR) = 900

Hoek-Brown Criterion

m_b = 0.142 s = $1.41e-5$ a = 0.518

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.110 MPa friction angle = 30.298 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.003 MPa
 uniaxial compressive strength = 0.101 MPa
 global strength = 1.468 MPa
 modulus of deformation = 908.227 MPa

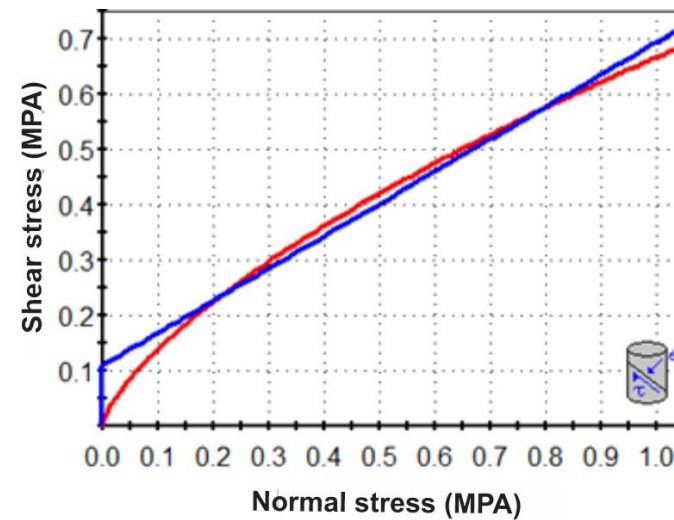


Figura 43. Determinación de la cohesión y el ángulo de fricción de TA- 06

Tabla 48. Valores del GSI, cohesión y ángulo de fricción

Taludes	Angulo de Fricción (ϕ)	Cohesión (MPa) (c)	GSI
TA-01	36,798	0.157	38
TA-02	35.651	0.147	36
TA-03	36.328	0.153	37
TA-04	29.281	0.104	30
TA-05	29.493	0.108	32
TA-06	30.298	0.110	33

Los valores calculados del GSI poseen valores altos para rocas del Grupo Goyllarisquizga y disminuyen considerablemente sus valores, en rocas de la Formación Chota.

4.9 CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD (FS)

Con los datos de la cohesión y el ángulo de fricción calculados se procedió a determinar el Factor de Seguridad (FS) aplicando el software SLIDE. Se analizaron 06 taludes, el talud TA - 01 se ubica en rocas de la Formación Chimú, TA - 02 en la formación Carhuaz y TA - 03 en la Formación Farrat del Cretácico inferior. Los taludes TA - 04, TA - 05 y TA - 06 se ubican dentro de la Formación Chota del Cretácico Superior - Paleógena.

El cálculo del Factor de Seguridad (FS) se realizó con la finalidad de determinar la inestabilidad de los taludes en función a su litología principalmente. Para ello se aplicaron tres condiciones:

- a. Condición estática
- b. Condición saturada (nivel freático)
- c. Condición sísmica

Para las condiciones sísmicas se utilizó un $h= 0.175$ y un $v= 0.088$. a continuación, se muestran los análisis realizados a los 06 taludes:

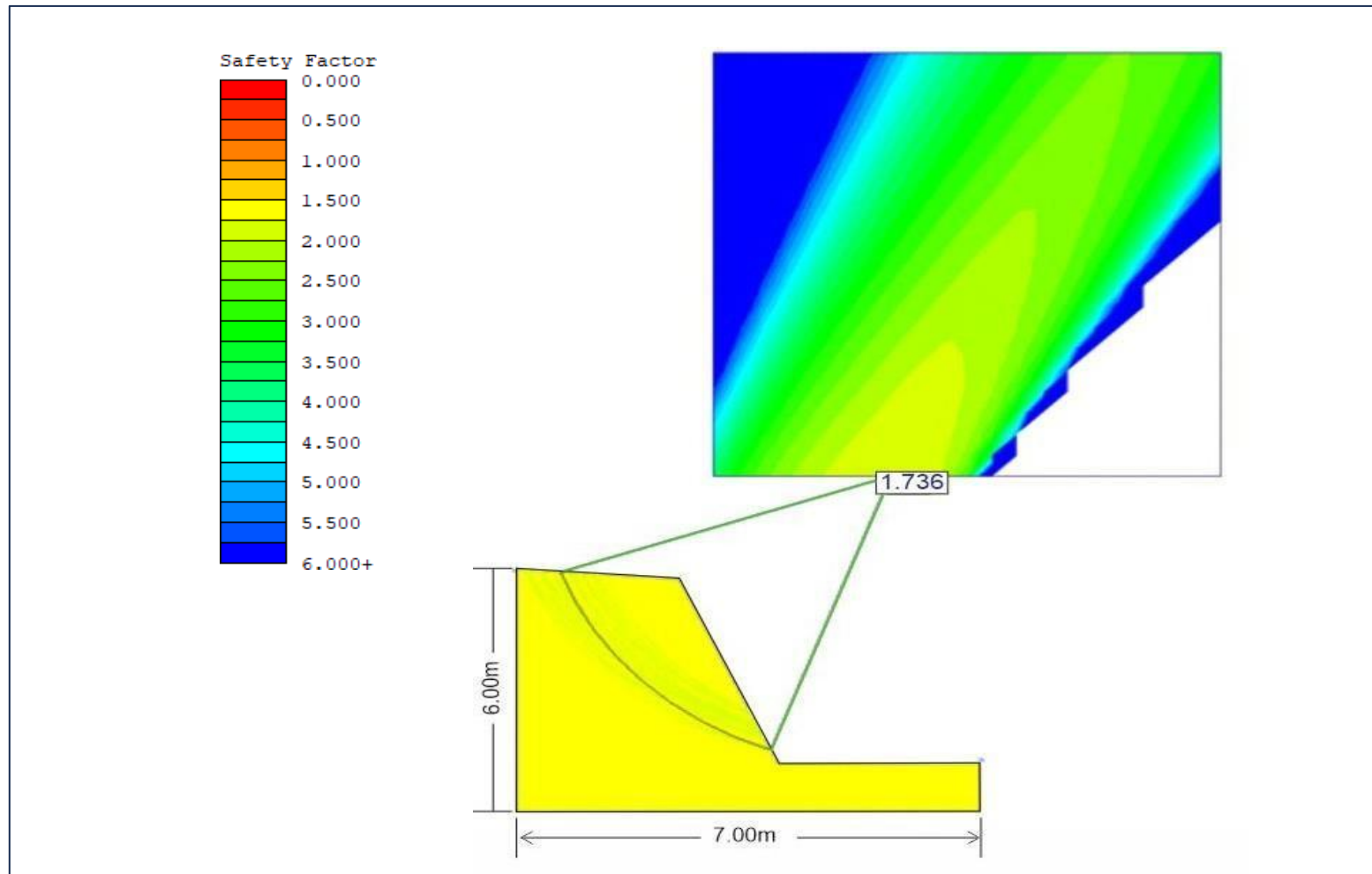


Figura 44. Factor de seguridad en condiciones estáticas de TA-01

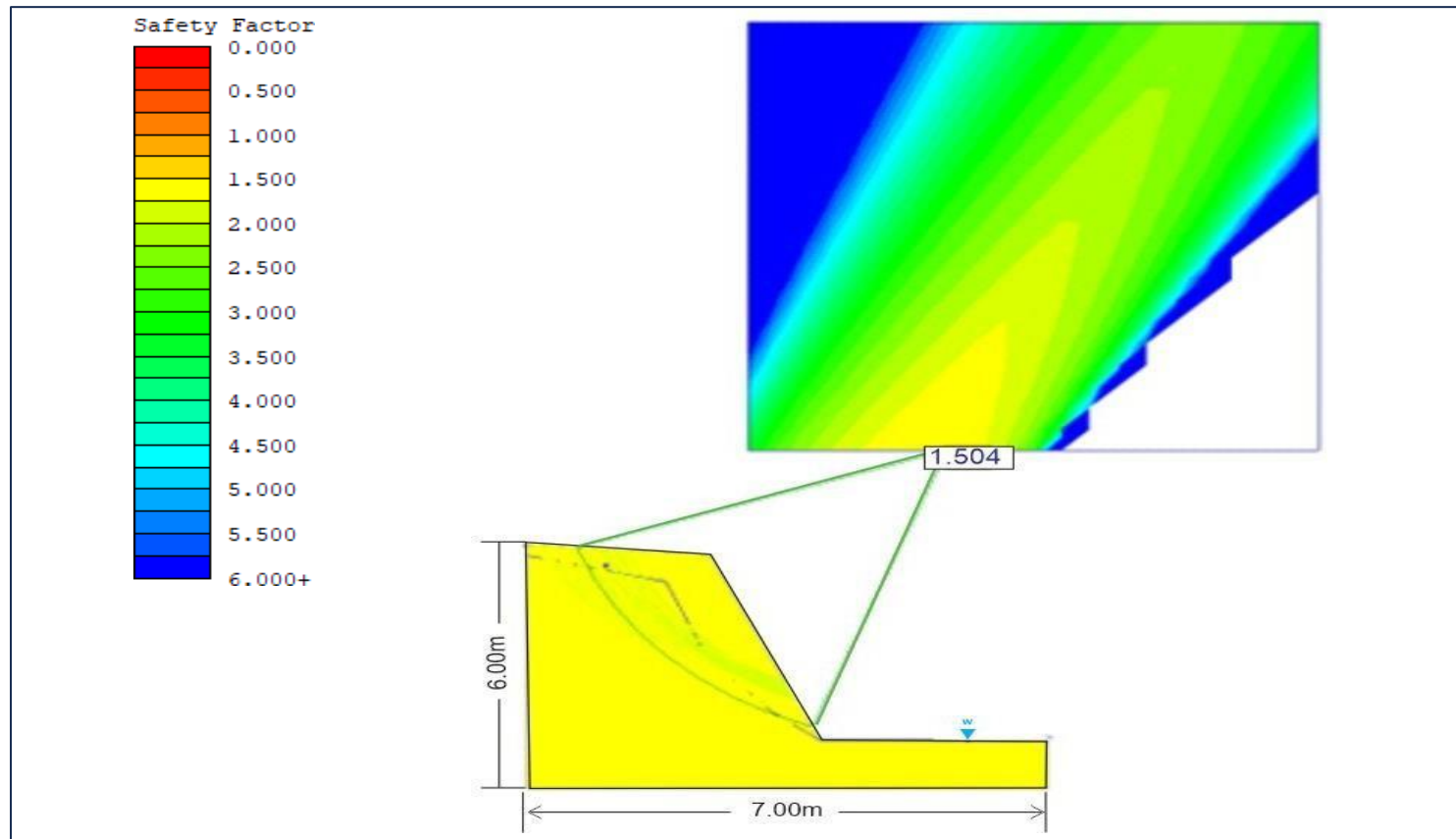


Figura 45. Factor de seguridad en condiciones saturadas de TA-01

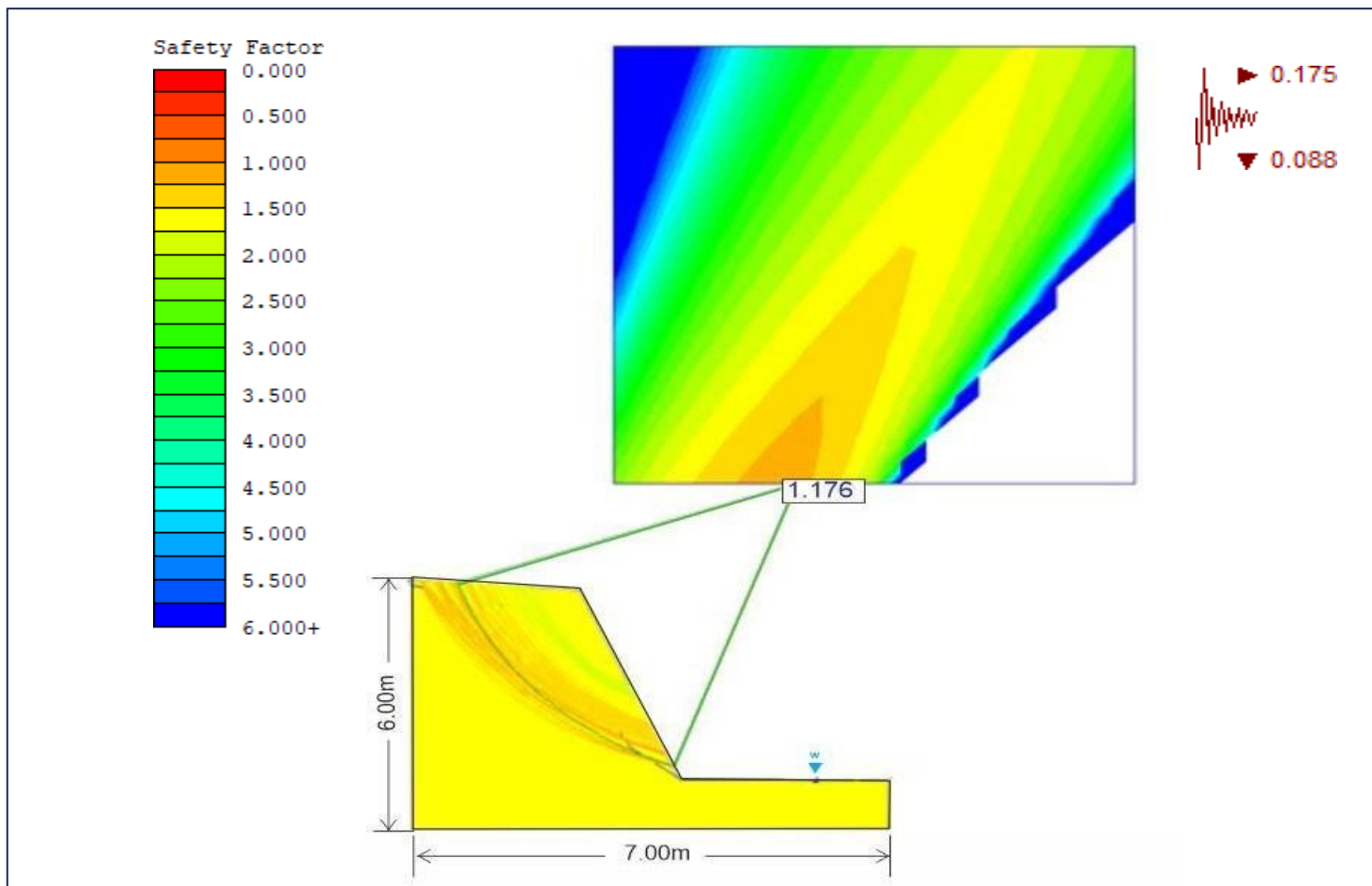


Figura 46. Factor de seguridad en condiciones sísmicas de TA-01

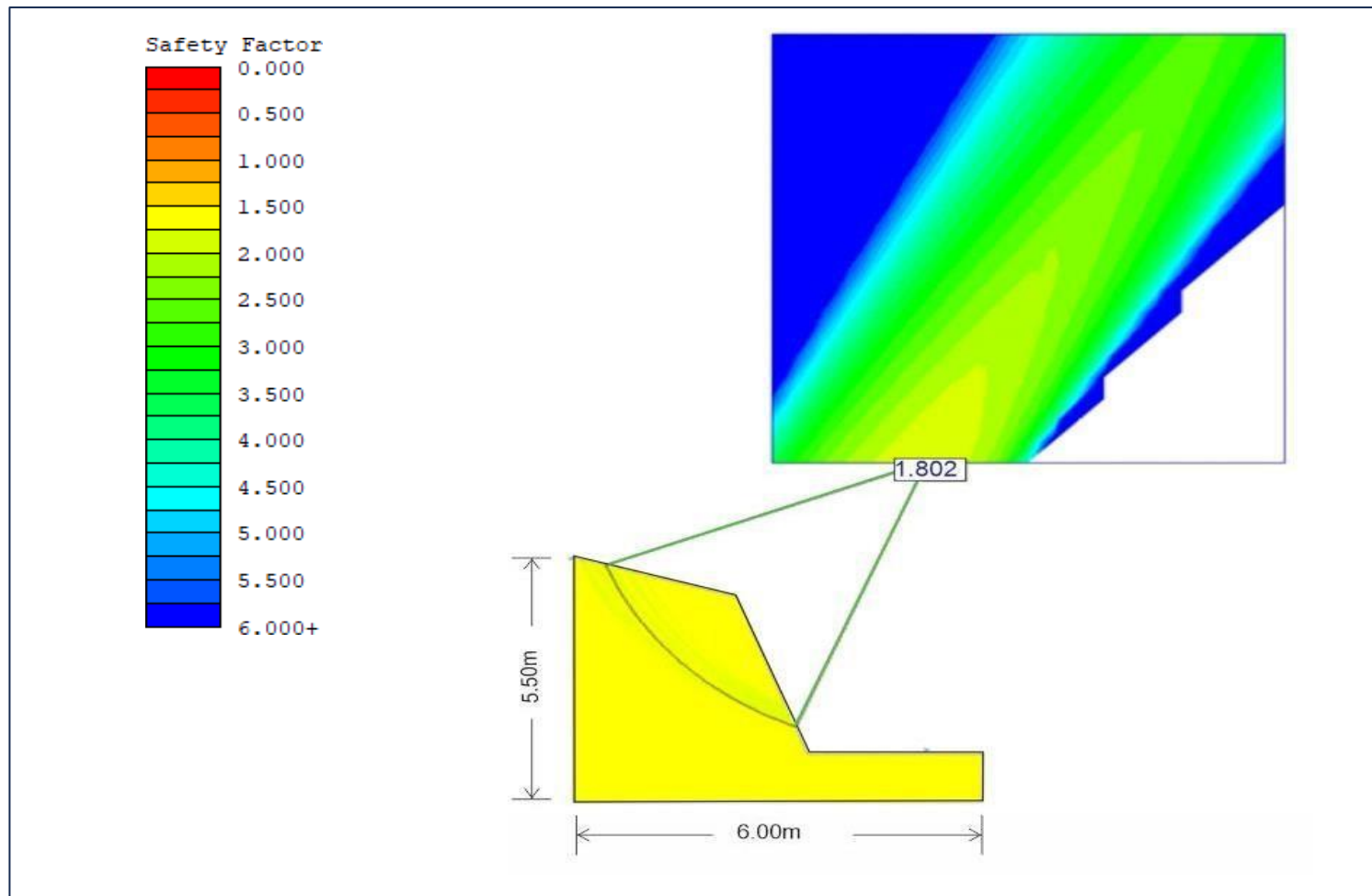


Figura 47. Factor de seguridad en condiciones estáticas de TA-02

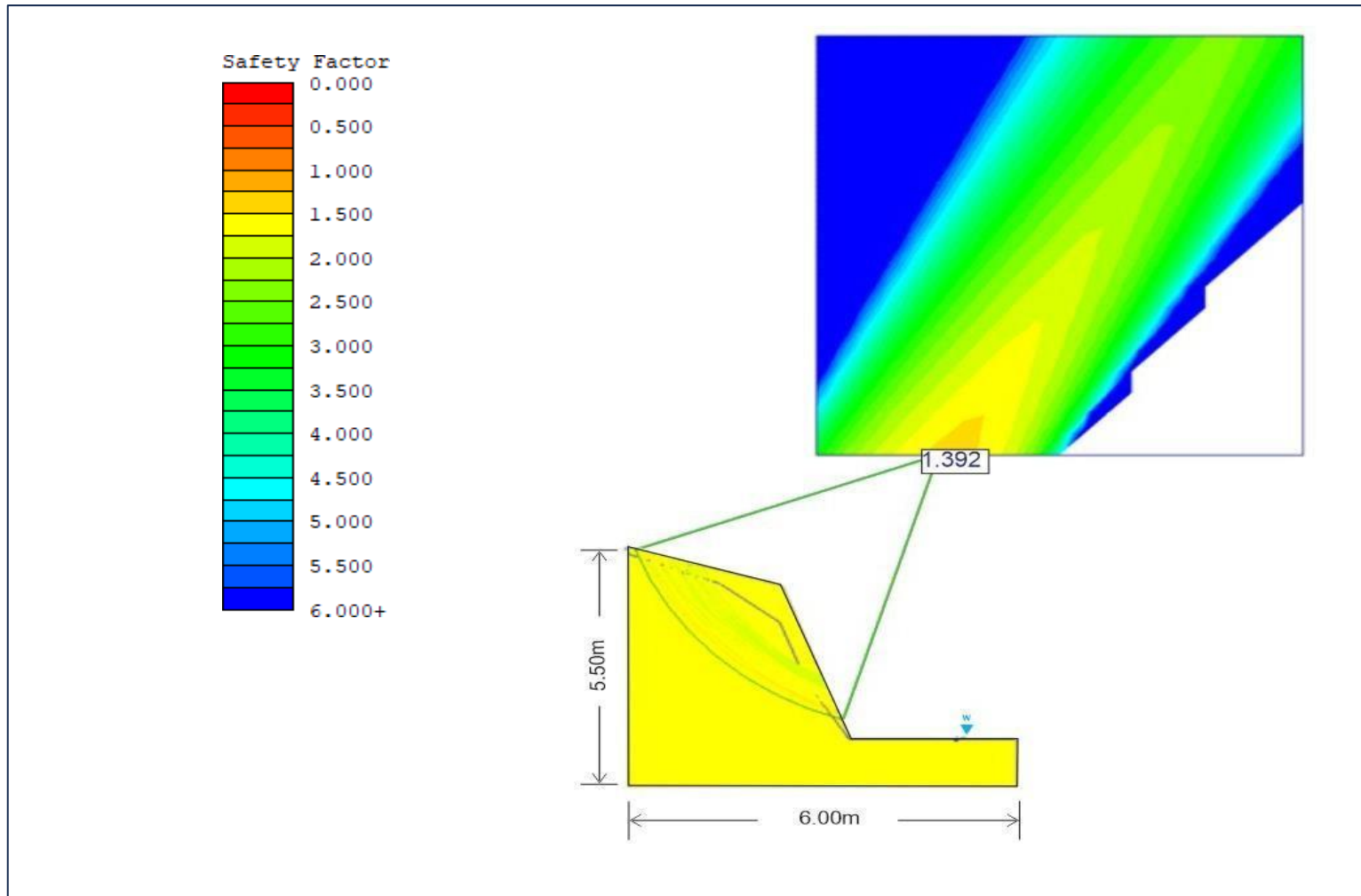


Figura 48. Factor de seguridad en condiciones saturadas de TA-02

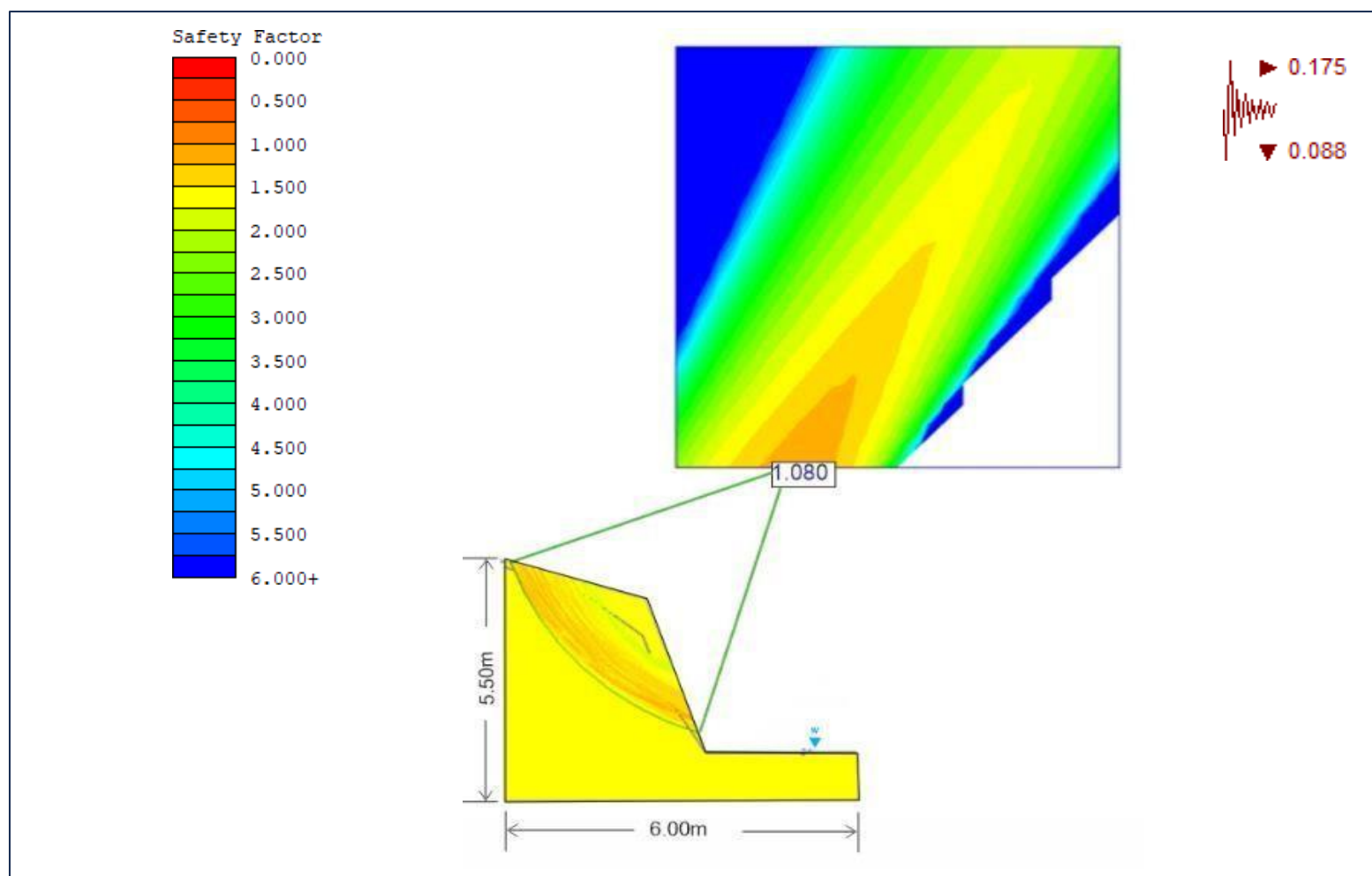


Figura 49. Factor de seguridad en condiciones sísmicas de TA-02

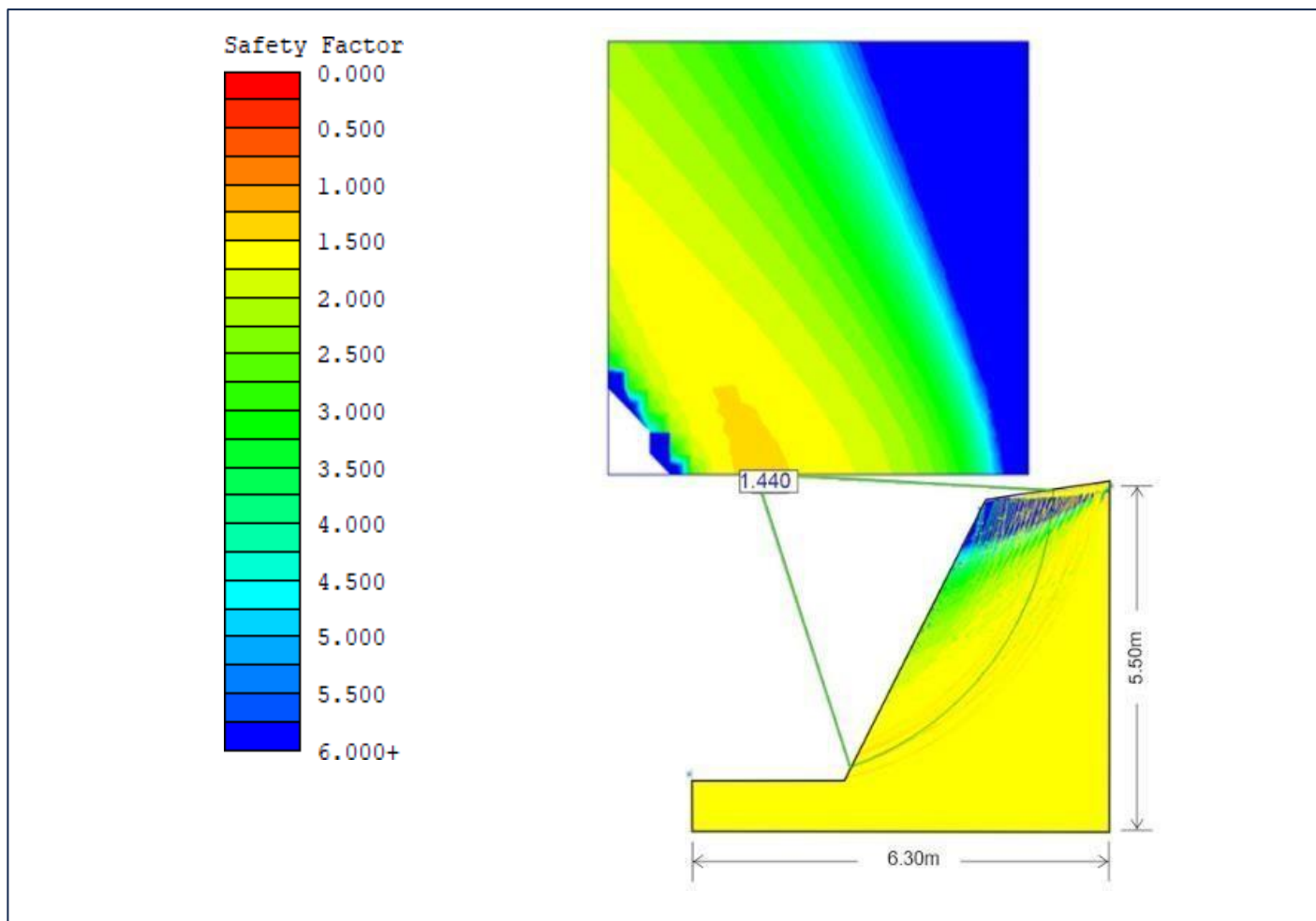


Figura 50. Factor de seguridad en condiciones estáticas de TA-03

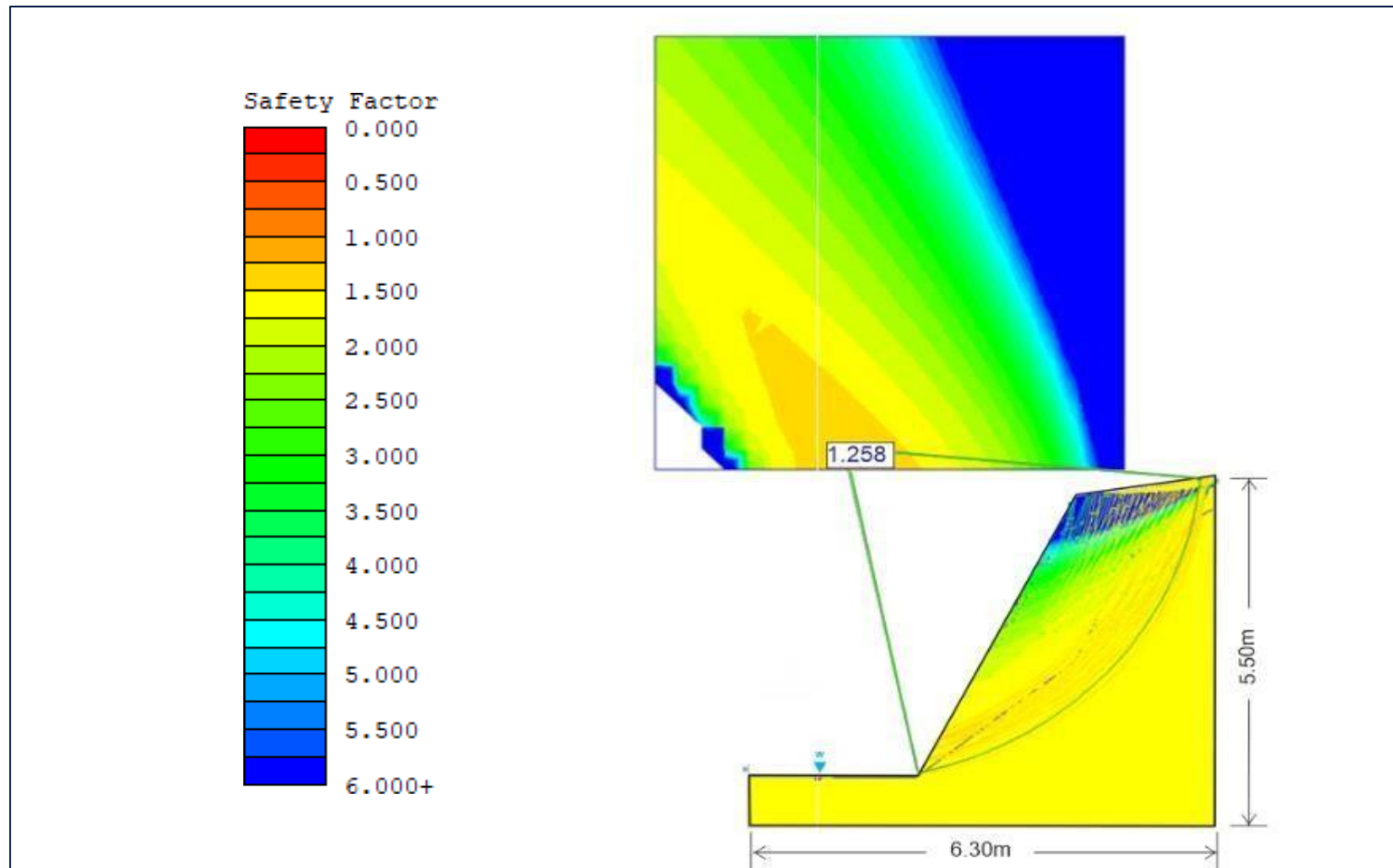


Figura 51. Factor de seguridad en condiciones saturadas de TA-03

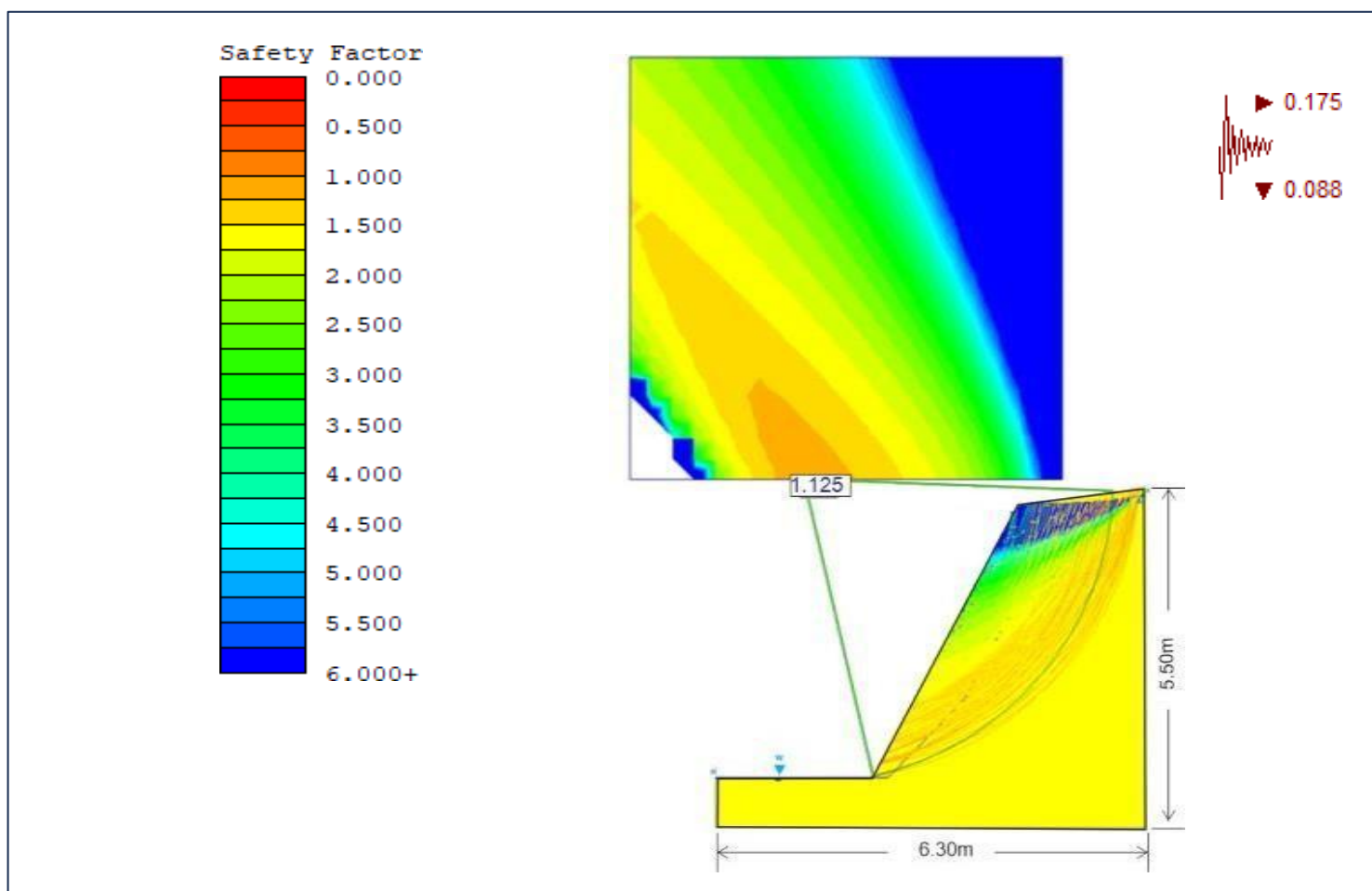


Figura 52. Factor de seguridad en condiciones sísmicas de TA-03

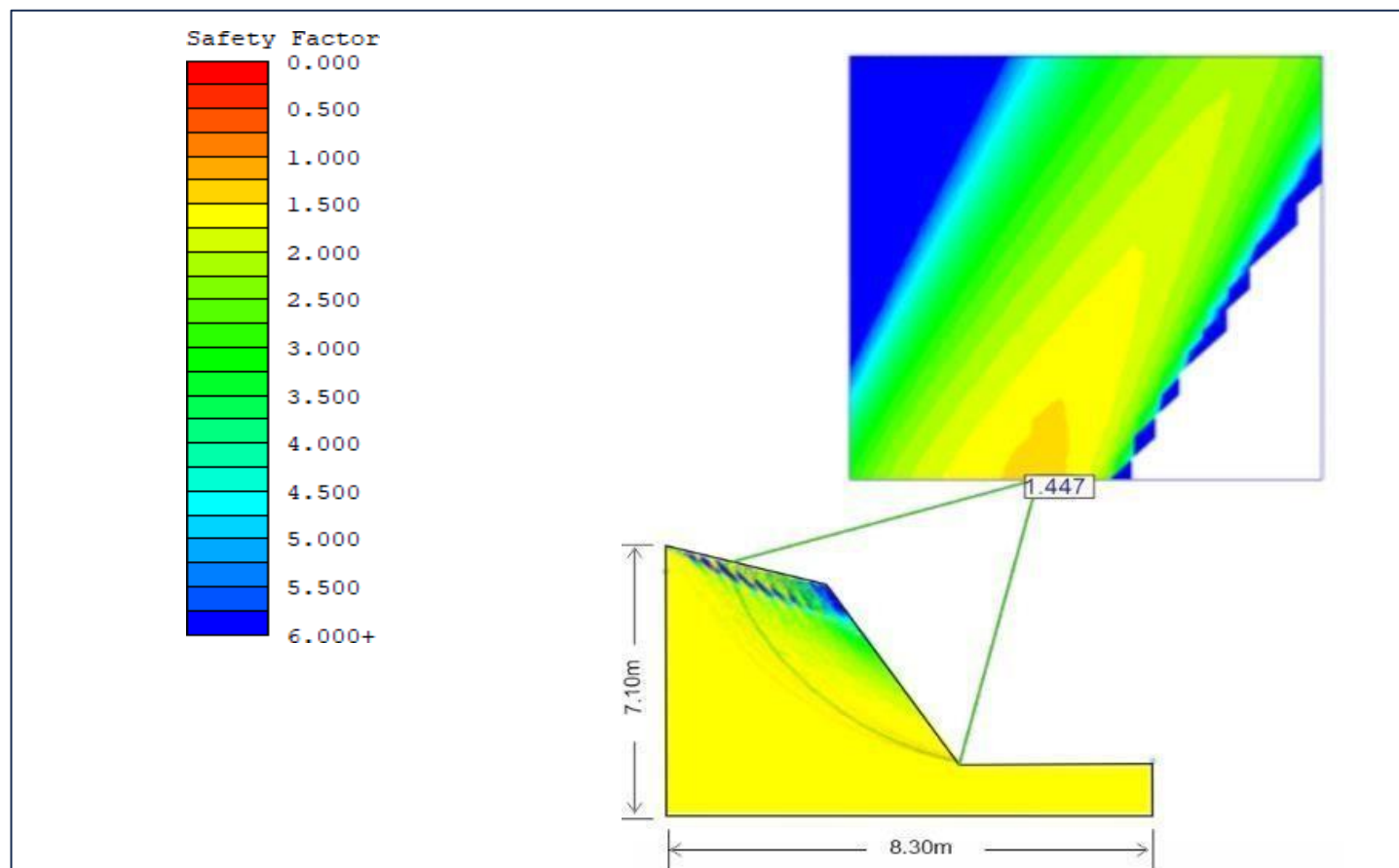


Figura 53. Factor de seguridad en condiciones estáticas de TA-04

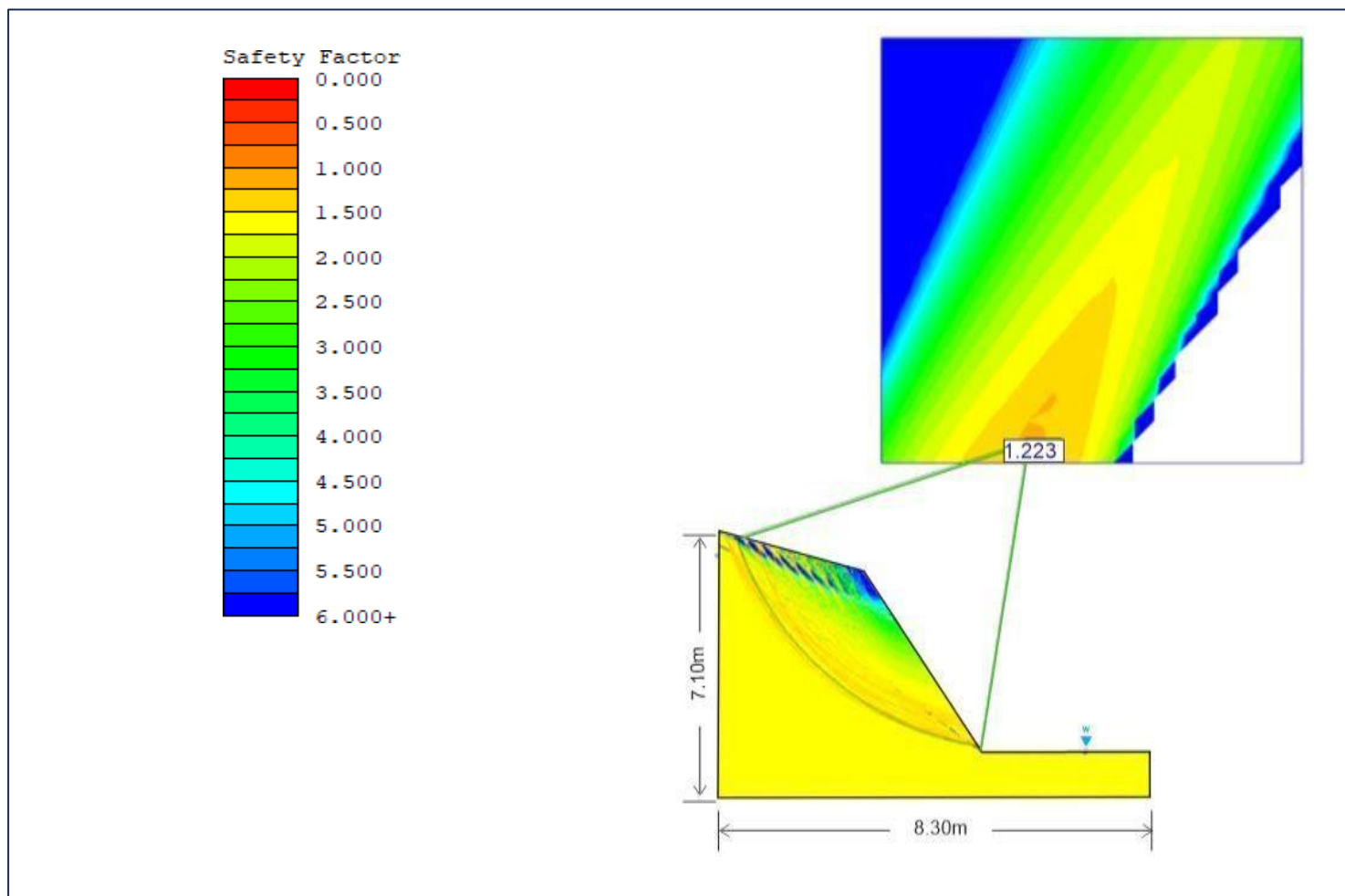


Figura 54. Factor de seguridad en condiciones saturadas de TA-04

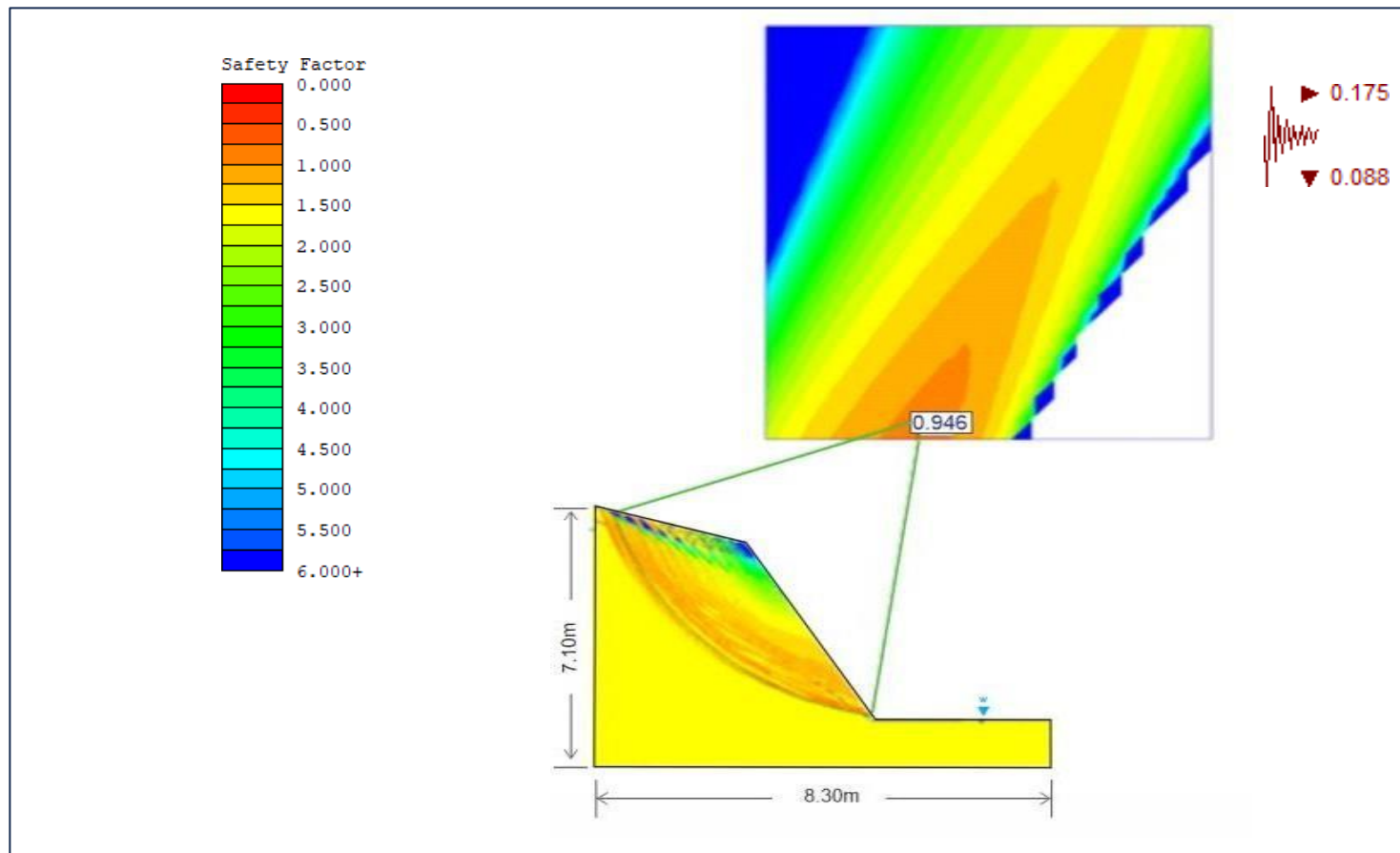


Figura 55. Factor de seguridad en condiciones sísmicas de TA-04

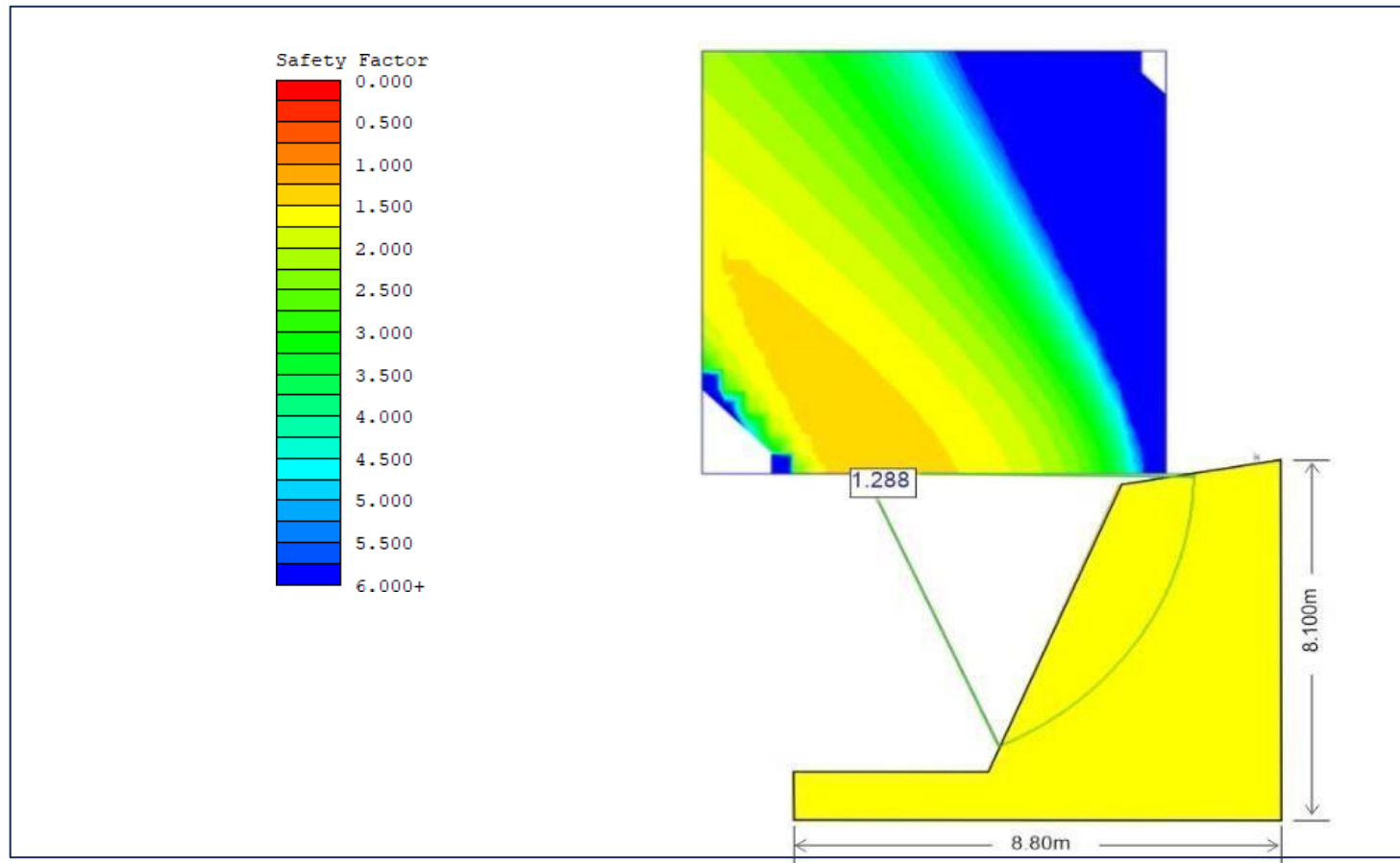


Figura 56. Factor de seguridad en condiciones estáticas de TA-05

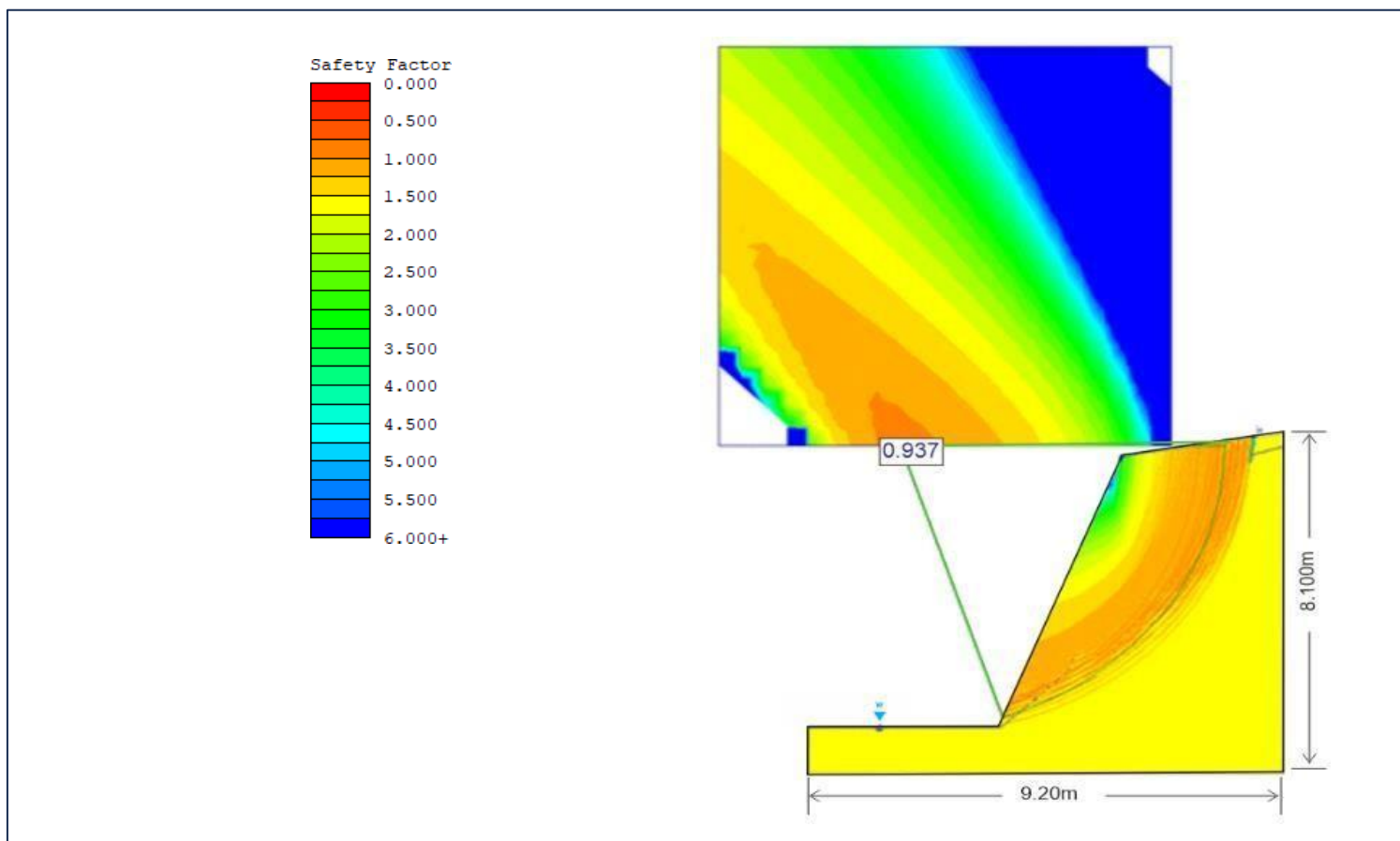


Figura 57. Factor de seguridad en condiciones saturadas de TA-05

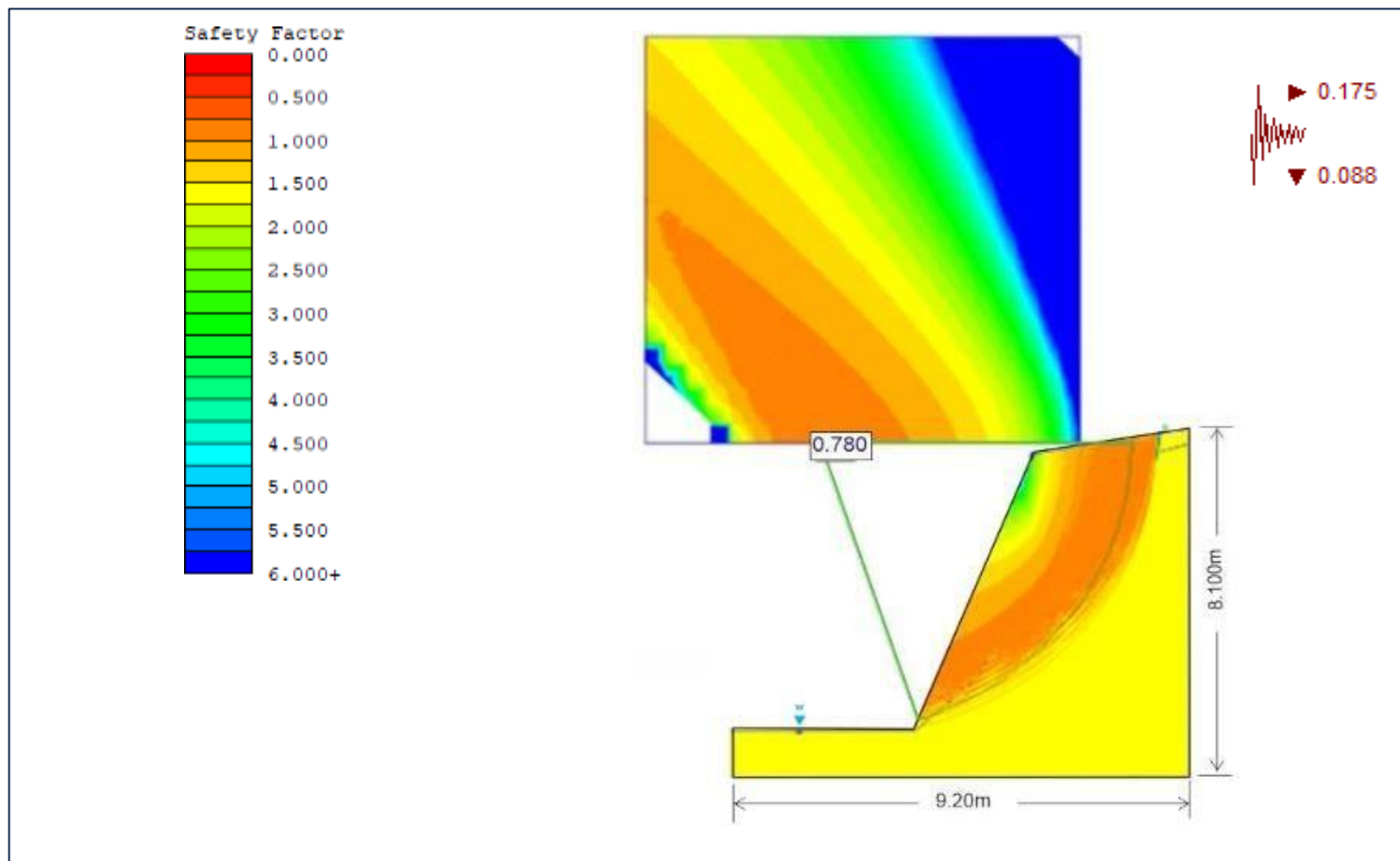


Figura 58. Factor de seguridad en condiciones sísmicas de TA-05

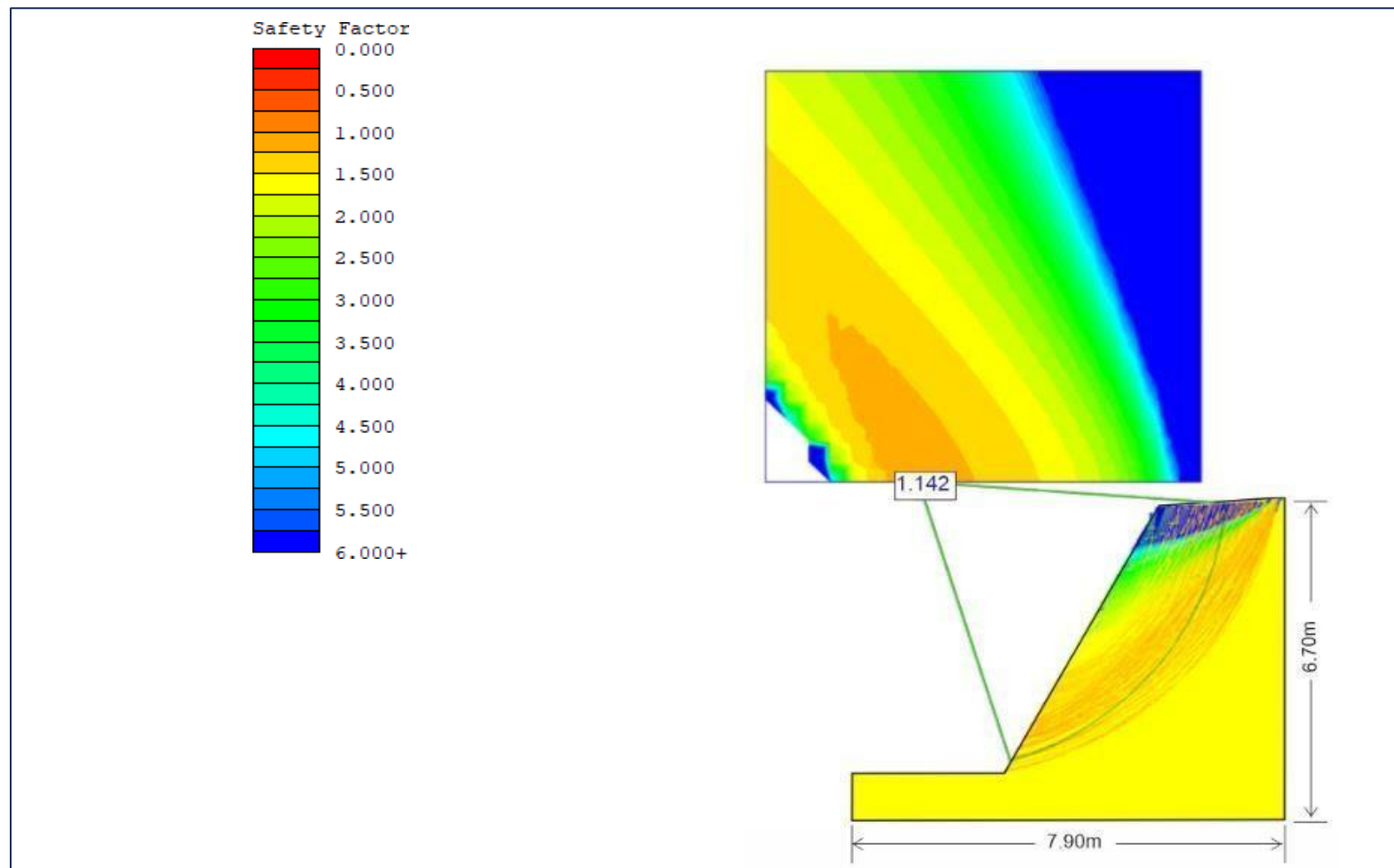


Figura 59. Factor de seguridad en condiciones estáticas de TA-06

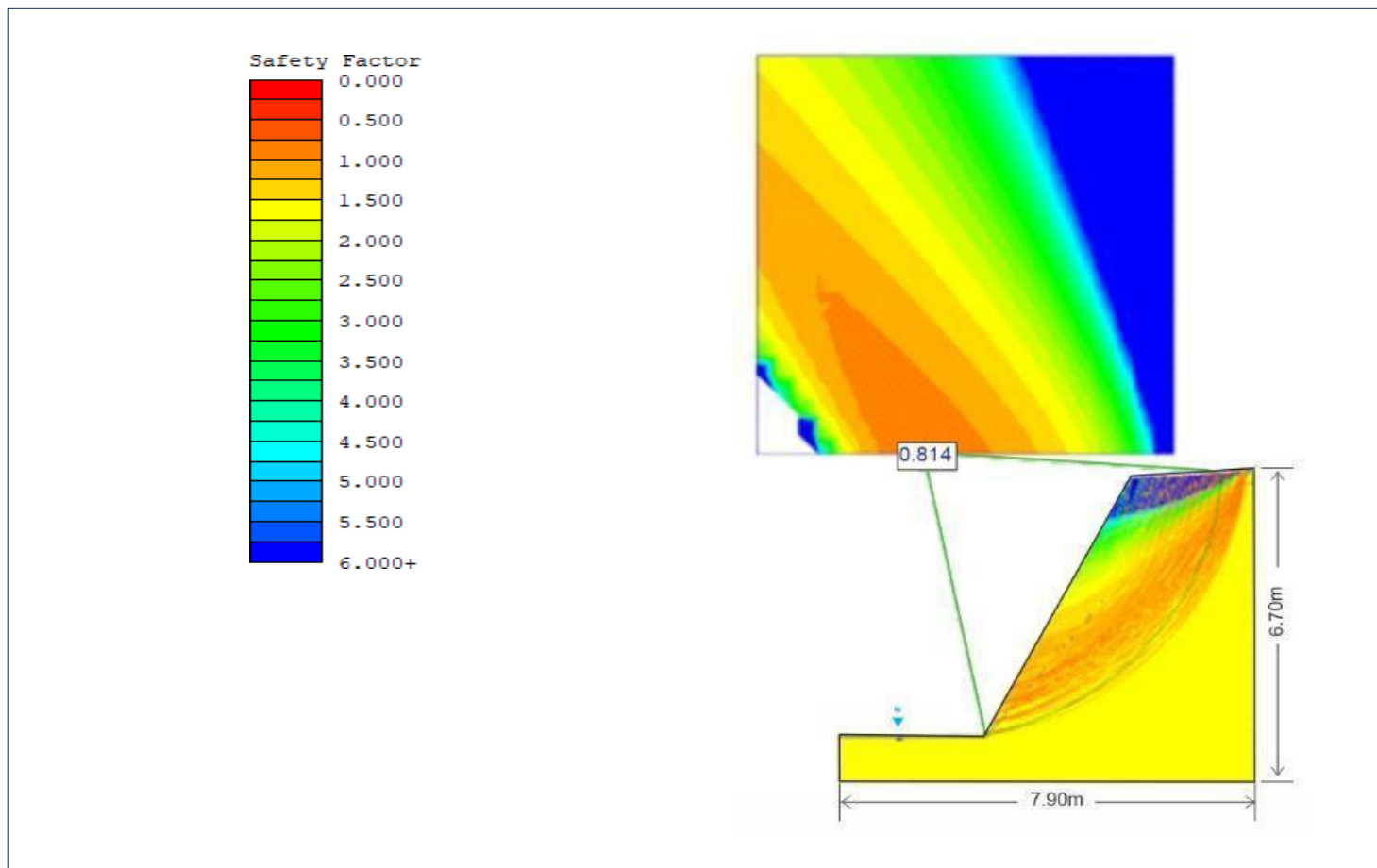


Figura 60. Factor de seguridad en condiciones saturadas de TA-06

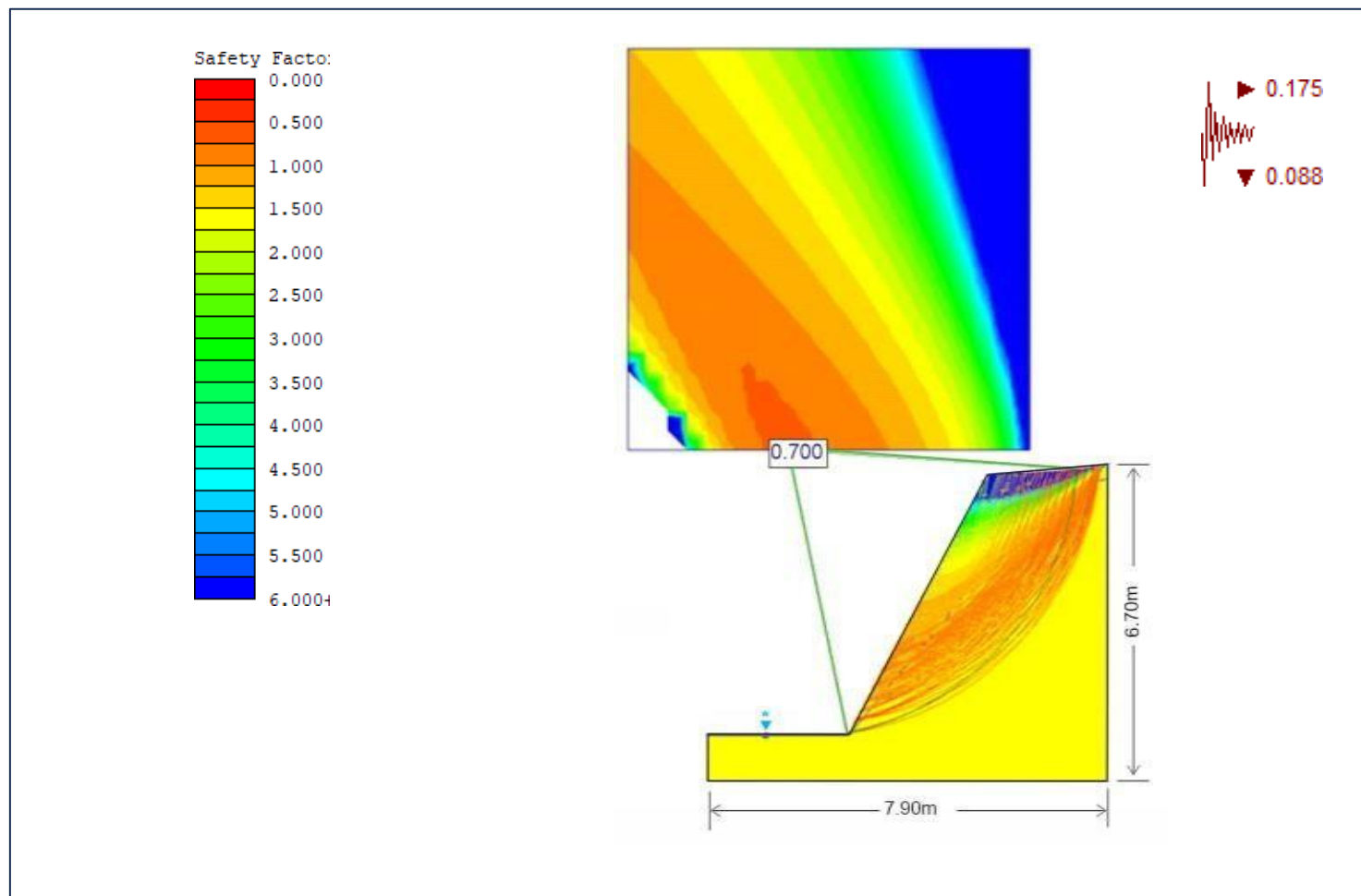


Figura 61. Factor de seguridad en condiciones sísmicas de TA-06

En las Figuras del 44 al 61 se muestran los taludes sometidos a tres condiciones: normales, freático y sísmico. Los taludes TA-01, TA-02 Y TA-03 del Grupo Goyllarisquizga muestran valores del FS en condiciones normales entre 1.802 y 1.440, en condiciones de nivel freático valores del FS que oscilan entre 1.504 y 1.258 y en condiciones de saturación más sísmico los valores del FS disminuyen en un rango de 1.170 a 1.014. Mientras que los taludes TA-04, TA-05 y TA-06 configuradas en areniscas blandas de la Formación Chota muestran valores del FS muy bajos, en condiciones de saturación más sísmica poseen valores entre 0.946 y 0.700, que son extremadamente inestables. Esto evidencia que existe una clara dependencia entre el factor litológico y tectónico.

Tabla 49. Factor de seguridad de los 06 taludes

Talud	Factor de seguridad (FS)		
	Condiciones normales	Condiciones normales + nivel freático	Nivel freático + Sismicidad
TA - 01	1.737	1.504	1.170
TA - 02	1.802	1.392	1.080
TA - 03	1.440	1.258	1.014
TA - 04	1.447	1.223	0.946
TA - 05	1.288	0.937	0.780
TA - 06	1.142	0.814	0.700

4.10 Contrastación de la hipótesis

En el área de estudio existen rocas del cretácico inferior que por haber sufrido procesos de diagénesis intensa se muestran muy compactas y duras. Por el contrario, las rocas de la formación Chota que han sufrido una diagénesis leve se muestran suaves y poco compactas, es por esta razón que son afectadas en mayor grado por los agentes atmosféricos. Aunado a ello, la presencia de las fallas regionales (Lucmapampa y Choctapampa) que jugaron en forma de fallas de cizalla generando fracturas secundarias que afectaron a las rocas y contribuyeron aún más a su erosión. El análisis de los Factores Condicionantes de la Inestabilidad (FCI) se encuentra determinado principalmente por el factor litológico con 35.05% seguido del tectónico con 27.26%. El análisis de inestabilidad de los taludes por condiciones estáticas, saturación y sísmico evidenciaron que los taludes de la formación Chota son muy inestables en condiciones de nivel freático más condiciones sísmicas. El mapa de zonificación muestra una mayor susceptibilidad en la zona norte del área de estudio, donde se concentran los taludes configurados por rocas blandas de la formación Chota, por lo que la hipótesis se contrasta positivamente.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Se determinaron que los factores condicionantes de la inestabilidad por orden de importancia fueron el litológico con un 35.5%, seguido del tectónico con 27.16% y finalmente el hidrogeológico con un 19.07%.

En el cálculo del factor de seguridad (FS) mediante el software SLIDE a los seis (06) taludes seleccionados, tanto en condiciones normales, de saturación y sísmicas, se observó una disminución significativa en los taludes de la Formación Chota (TA-04, TA-05 y TA-06), evidenciando que son más inestables que los taludes del grupo Goyllarisquizga (TA-01, TA-02 y TA-03).

Se elaboró un mapa de zonificación de taludes inestables (TA-04, TA-05 y TA-06) ubicados al NE de la zona de estudio, el cual es crucial para la planificación del uso del suelo, la gestión de riesgos y la protección de la vida y la propiedad, ya que identifica las zonas con mayor probabilidad de deslizamiento, permitiendo la toma de decisiones informadas para prevenir derrumbes, daños a edificaciones e infraestructuras, y evitar pérdidas humanas y económicas.

5.2. RECOMENDACIONES

Realizar estudios microtectónicos con la finalidad de determinar la influencia de las fallas Choctapampa (FCH) y Lucmapampa (FL) en el comportamiento geológico de las rocas del Grupo Goyllarisquizga y la Formación Chota.

A las autoridades del Distrito de José Gálvez realizar charlas continuas acerca de la prevención ante posibles movimientos de masa en las zonas donde se ubican los taludes inestables (TA- 04. TA- 05 y TA- 06).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrés L. (2019). Análisis de vulnerabilidad a los peligros naturales a fin de reducir el riesgo de desastres en la localidad de Yacus, distrito de Yacus-Huánuco 2019. Huánuco – Perú.
- Alcántara, et al. 2001 Inestabilidad de Laderas. Ciudad de México, México: CENAPRED. (2 ed.).
- Aizpiri, F., Guerrero, D., Ormaetxea, V. 2014 Riesgo de deslizamiento del terreno. Reconocimiento, prevención, control y minimización de impactos. Colegio oficial de geólogos del país vasco.
- Ayala, F et al. 1987 Los riesgos geológicos: guía didáctica. Madrid, ITGME.
- Barredo, J.1996 Sistema de Información Geográfica y evaluación multicriterio. Editorial RA-MA. Madrid, España.
- Benavides, V. 1957 Geología de la Región de Cajamarca. Tesis Doctoral.
- Carrara, A; Crosta, G; Frattini, P. 2008 Debris-flows are widespread in Val di Fassa (Trento Province, Eastern Italian Alps).
- Campos, L. 2011 Ocurrencia de aluviones en la subcuenca del Rio Shullcas durante el cuaternario y su relación con los retrocesos de los glaciares de la cordillera Huayta allana, Región Junín. Perú.
- Carrara, A. 2008. GIS Technology in Mapping landslide Harzard. Kluwe Academic Publishers. London, pág. 135-178.
- Cascini, et al. 2005 Landslide hazard and risk zoning for urban planning and development. State of the Report (SOA7).
- Castellanos, A. & Carrillo. 2003 Los desastres y fundamentos de la protección contra los mismos. En gerencia de desastres en Cuba.
- CENEPRED (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres). 2019 Informe de Evaluación de Riesgo por Inundación Pluvial en el Sector 1, Distrito de Congas, Provincia de Ocos, Departamento de Ancash. Huaraz. 81 p.

- Cornforth, H. 2005 Landslides In Practice: Investigation, Analysis, and Remedial/ Preventative Options in Soils, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Corominas, J. 2004 Tipos de Rotura en Laderas y Taludes. Barcelona, España.
- Cruden, D.M. 1991 A simple Definition of a Landslide Bulletin of the International Association of Engineering Geology.
- Crozier, M. 1999 Prediction of rainfall-triggering landslides: a test of the antecedent water status model. Earth surface processes and landforms.
- Daniel. A. 2007 Deslizamiento de la ladera sur del Viaducto N°1, autopista Caracas la Guaira. Venezuela.
- Domínguez, M. 2003 Tesis doctoral: Geomorfología e inestabilidad de ladera en la cuenca carbonífera central (Valle de Nalón, Asturias). Análisis de la susceptibilidad ligada a los movimientos superficiales del terreno
- Ferrer, M. 1984 Mecanismos de rotura de taludes mineros y análisis de su estabilidad. Tesina.
- Fidel, L. 2007 Deslizamiento traslacional - Flujo de detritos de Mayunmarca. Lima. Perú.
- García, A., 1966 Contribución para la clasificación de los movimientos de terreno: Revista de Obras Públicas.
- Gómez, G. 2018 Análisis de riesgos por inestabilidad de taludes en la subcuenca río Canipaco, Tramo Distrito de Colca provincia de Huancayo departamento de Junín. Escuela Universitaria de Post Grado. Universidad Nacional de Villarreal.
- González, L; Ferrer, M; Ortuño, L; Oteo, C. 2002 Ingeniería Geológica. Madrid, España. Editorial Pearson Educación S. A.
- Gonzalez de Vallejo, 2002, Ingeniería Geológica
- Guzmán, M. 2007 Deslizamiento rotacional de San Isidro en la Ciudad de la Paz. Bolivia
- Hayman, B. 1998 Fundamentals of engineering Design. Upper Saddle River, Prentice Hall, New Jersey.

- Hernández, S. 2022 Evaluación de los peligros geológicos y elaboración del mapa de susceptibilidad en la zona de Huambocancha Baja. Cajamarca. Tesis para obtener el título de Ingeniero geólogo. IUNC- Perú.
- Hervas, J. 2002 Elaboración de mapas de susceptibilidad de deslizamientos mediante SIG, Teledetección y Métodos de Evaluación Multicriterio. Aplicación a la Depresión de Tirajana (Gran Canaria). pág. 169- 180.
- Hervas, J.; Barredo-Cano, J. y Lomoschitz, A.; 2002 Elaboración de mapas de susceptibilidad de deslizamientos mediante el uso de conjunto de SIG Teledetección y Métodos de Evaluación Multicriterio. Aplicación a la Depresión de Tirajana (Gran Canaria).
- Hoek, E., Carranza, C., & Corkum, B. 2002 El criterio de rotura de Hoek - Brown - Edición 2002. Minnesota.
- Huaripata, M. 2013 Tesis profesional: “Modelo Geodinámico de la quebrada Cruz Blanca, microcuenca Cruz Blanca – Los Chilcos.
- Hutchinson, N. 1988 Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. Holland.
- IGACC, 2005 Geomorfología aplicada a levantamiento edafológico y zonificación física de tierras. Bogotá- Colombia.
- INGEOMINAS. 1998 Zonificación de amenaza por procesos de remoción en masa en las cuencas de los ríos Bolo y Fraile y avenidas torrenciales en la cabecera municipal de pradera - Valle del Cauca. Bogotá
- INGEOMINAS, 2000 Guía Metodológica. Evaluación de Riesgos por Fenómenos de Remoción en Masa. 1º edición, Colombia.
- INDECI, 2005 Programa de Prevención y Medidas de Mitigación ante Desastres de la Ciudad de los Baños del Inca. Cajamarca.
- INDECI. 2011 Análisis de susceptibilidad ante peligros por Movimientos de Masa en Laderas. Manual de Estimación de Riesgos ante Movimientos en Masa en Laderas.
- INGEOMINAS. 2001 Mapa de categorías de amenaza relativa por movimientos en masa de Colombia, escala 1:1.500.000”. Bogotá

- Keefer, D. 1984 Landslides caused by earthquakes. Geological Survey of America Bulletin.
- Luis, E. 2007 Caída de bloques en el litoral de Huicha de Chiloé. Chile. SENAGEOMIN.
- Luque, G. 2011 Peligros Geológicos y zonas críticas en el Perú”. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico – INGEMMET – PERÚ.
- Luzi, L. 1995 GIS for slope stability zonation in the Fabriano area, Central Italy. Unpublished MSc. Thesis, ITC Enschede the Netherlands.
- MAHNAZMEZON 2021 Densidad de rocas y minerales comunes <https://es.mahnazmezon.com/articles/science/densities-of-common-ocks>.
- Martínez, A. 1972 Análisis de Estabilidad de Taludes. Laboratorio de Geología y Geomorfología Aplicada. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Maldonado, Y. 2020. Riesgos Naturales. Deslizamiento de tierras y sus tipos.
- Medina, J. 1991 Fenómenos geodinámicos. Estudio y medidas de tratamiento. Municipio Santiago de Cali, Colombia.
- Millán, C. 2019. Deslizamientos de tierra y avalanchas de escombros Análisis de estabilidad . Lima- Peru.
- Mora S & Vahrson G., 1993. Mitigación de Georriesgos en Centroamérica.
- Moreno, J. 2007 Deslizamiento de El Mirador, km 105 Carretera Bogotá-Villavicencio. Colombia.
- Morgenstern, N. 1997 Toward landslide risk assessment in practice. Proceeding of the international Workshop on landslide risk assessment. Honolulu, Hawaii.
- Montrasio, L et al. 2011 Towards a real-time susceptibility assessment of rainfall-induced shallow landslides on a regional scale.
- Mora, S. & Wahrson, G. 1991 Disaster Prevention and and sustainable development in Central America: Socioeconomic and political factors. Bulkena Rotterdam. 411- 448.
- Núñez, S; Medina, L 2008 Riesgos geológicos en la región Ucayali. INGEMMET, Serie C. Geodinámica e Ingeniería Geológica, N°37.

- Ochoa, M. y Lagos, A. 2008 Susceptibilidad a los Movimientos en Masa en la Cuenca de Rio Rímac. Sector Ticlio- Matucana. Lima- Perú. XIII Congreso Latinoamericano y XII Congreso Peruano de Geología.
- Oliva, et al. 2019 Terrain instability in the Tijuana metropolitan area: Analysis of a failure in the access road to a industrial park. ScienceDirect(104), 354-370.
- Parkhurst, S. 2000 Risk assessment and quantification of slope conditions based upon site insopection surveys. 8th International Symposium on Landslides Cardiff.
- Pérez, A. 2014 Evaluación de los Riesgos y peligros Geológicos de la Quebrada Puylucana, Baños del Inca- Cajamarca. Tesis para obtener el Título de ingeniero Geólogo. EAP de Ingeniería Geológica. Perú.
- Petak, J. & Atkisson, A. 1982 Natural Hazard Risk Assessment and Public Policy: Anticipating. New York: Springer-Verlag.
- Pierson, C. & Scott, M. 1996 Downstream dilution of a lahar: Transition from debris flow to hyperconcentrated streamflow: Water Resources Research.
- Reyes, L. 1980 Geología de los cuadrángulos de Cajamarca (15-f), San Marcos (15-g) y Cajabamba (16-g). Boletín N°31 INGEMMET. Perú.
- Richards, G. 1985 Geotechnical aspects of Residual Soils”. Southeast Asian Geotechnical. Society, Scorpion Press, Hong Kong.
- Rodríguez, S. 2016 Método de investigación Geológico - Geotécnico para el análisis de inestabilidad de laderas por deslizamientos, Zona Ronquillos – Corisorgona. (Tesis de Maestría) Universidad Mayor de San Marcos.
- Saaty, L. & Vargas, G. 1991 Prediction, Projection, and Forecasting: Applicayions of the Analytical Hierarchy Process in Economics, Financ, Ploitics, Games, and Sports. Boston.
- Suárez, J. 1998 Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Bucaramanga, Colombia: Publicaciones UIS.
- Shuk, T. 1990 La Evolución y el Estado Actual de la Metodología Basada en Taludes Naturales para Análisis de Estabilidad en Masas de Materiales Geológicos – Parte I. SVMSIF, Caracas.

- Smith, J. 2001 Spending on safety nets for the poor: how much, for how many? The case of Malawi, African Region Working Paper Series.
- Soeters, R & Van Westen, J. 1996 Slope Instability Recognition, Analysis and Zonation. In: Turner, A.K. and Schuster, R.L. Transportation Board, National
- Suárez, J. 1985 Deslizamientos: Análisis Geotécnico. Colombia.
- Suárez, J. 1998 Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. Colombia.
- Trujillo et al. 2016 Evaluación de susceptibilidad por movimientos en masa para la empresa canteras de Colombia S.A.C. Universidad De Manizales Facultad de Ciencias e Ingeniería Programa Especialización En Sistemas De Información Geográfica Manizales.
- UNESCO, 2000 Disaster Reduction. Enviromental and Development BRIEFS.
- Valderrama, P., Fidel, L., Reginald, H., Grosse, J. 2008 Geodinámica del Nevado Huascarán, nuevos alcances sobre “el evento Matacoto.” Sociedad Geológica del Perú.
- Vargas, G. 1999 Guía técnica para la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza por Movimientos de masa. Villavicencio.
- Varnes, J. 1978 Slope movement types and processes. In Landslides, Analysis and Control, Special Report N°176. Washington.
- Villacorta, S., Llorente, M., Laín, L., Fide, L., Machare, J., & Carlott, V. (2011). Análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera en la cuenca del Río Llaminchán (Cajamarca, Perú). Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG.
- Villota, H. 1991 Geomorfología Aplicada a Levantamientos Edafológicos y Zonificación Física de las Tierras. IGAC, Bogotá.
- Zezere, J. 2002 Landslide susceptibility assessment considering landslide typology. A case study in the area north of Lisbon. Natural Hazards and Earth System Sciences.

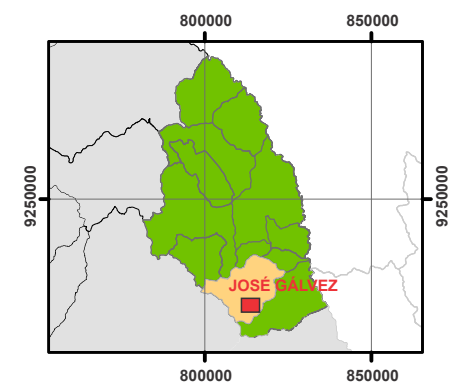
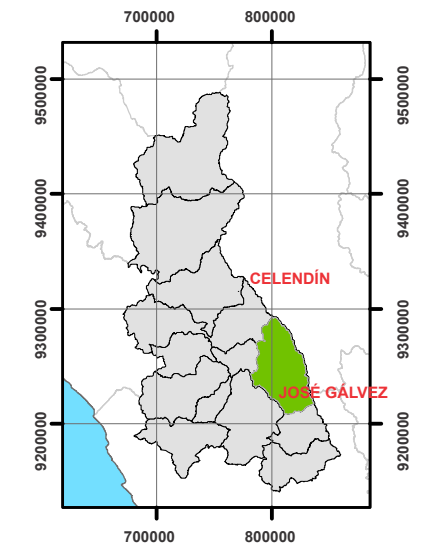
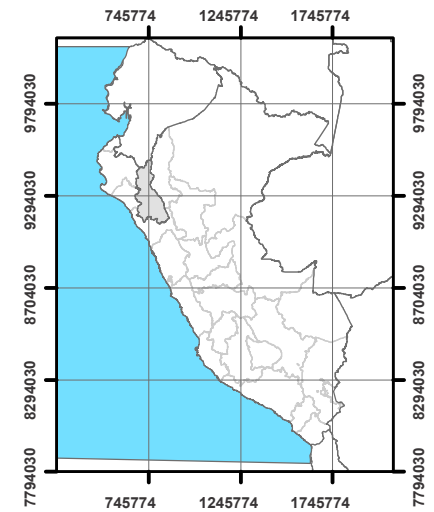
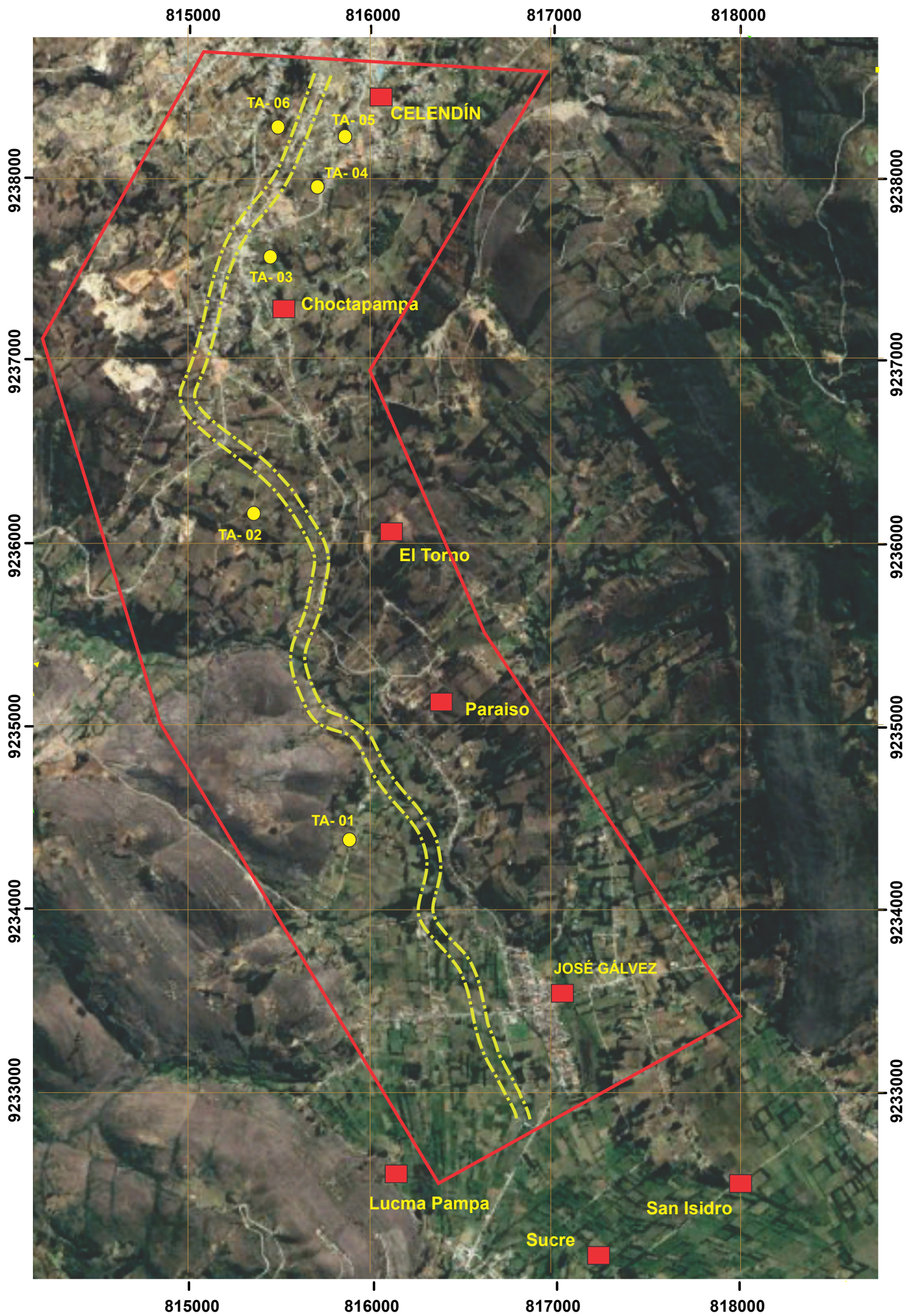
ANEXO- 01
MAPAS TEMÁTICOS

- 1. UBICACIÓN**
- 2. GEOLÓGICO**
- 3. LITOLÓGICO**
- 4. HIDROGEOLÓGICO**
- 5. GEOMORFOLÓGICO**
- 6. ESTRUCTURAL**
- 7. PENDIENTES**
- 8. COBERTURA VEGETAL**
- 9. ZONIFICACIÓN**

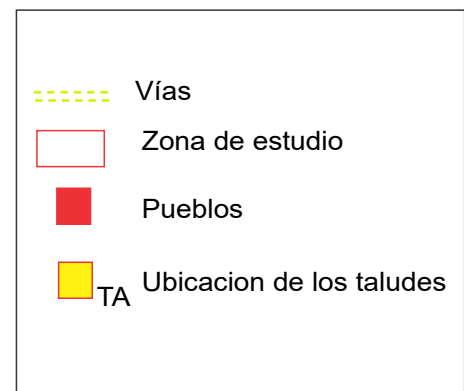
ANEXO- 02
RESULTADOS DE LABORATORIO

- 1. CÁLCULO DEL PESO ESPECÍFICO**



MAPAS TEMÁTICOS



SIMBOLOGÍA



Sistema de Coordenadas: UTM
Datum: WGS- 84
Zona: 17S

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Profesional de Ingeniería Geológica			
TESIS: EVALUACIÓN GEOLÓGICA PARA DETERMINAR LA INESTABILIDAD DE LOS TALUDES EN EL KM 0 AL KM 7 DEL DISTRITO DE JOSÉ GÁLVEZ- CELENDÍN					
PLANO		UBICACIÓN			DATUM:
TESISTA		Bach. ROJAS BENAVIDES JHON HARRIS			UTM WGS 84
ASESOR		Dr. LAGOS MANRIQUE ALEJANDRO CLAUDIO			P-01
FECHA		OCTUBRE 2024		ESCALA: 1: 25000	

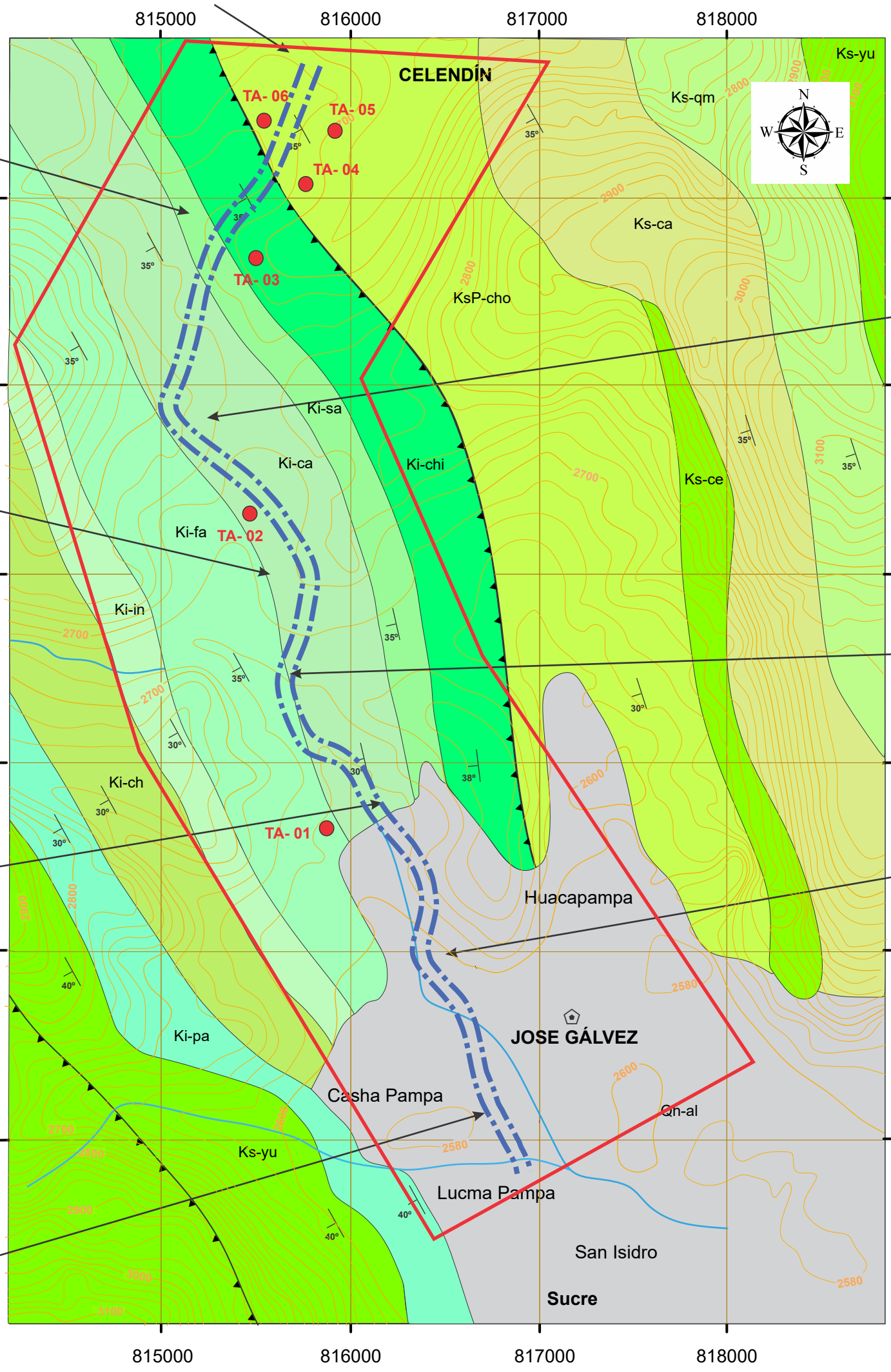
FINAL:
Km:07+000

Km: 06+000

Km: 04+000

Km: 02+000

INICIO:
Km:00+000



Km: 05+000

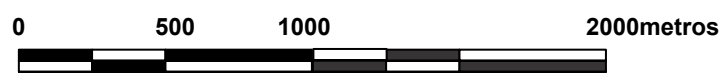
Km: 03+000

Km: 01+000

LEYENDA

Fuente: INGEMMET (2005)



Qh-al	Depositos aluviales
KsP-cho	Formación Chota
Ks-ce	Formación Celendín
Ks-ca	Formación Cajamarca
Ks-qm	Grupo Quilquiñan- Mujarrum
Ks-yu	Formación Yumagual
Ki-pa	Formación Pariatambo
Ki-ch	Formación Chulec
Ki-in	Formación Inca
Ki-fa	Formación Farrat
Ki-ca	Formación Carhuaz
Ki-sa	Formación Santa
Ki-chi	Formación Chimú

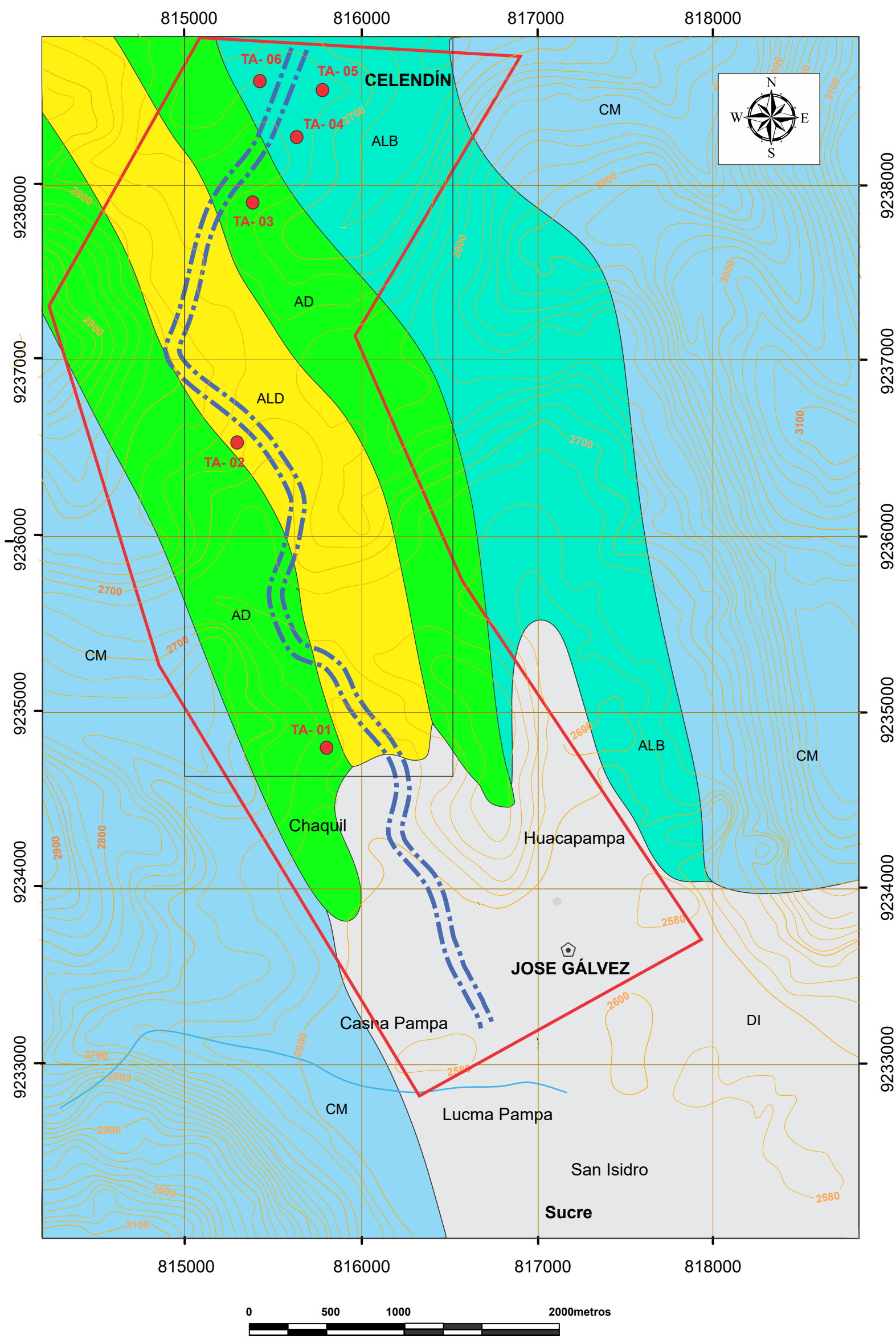


Sistema de Coordenadas: UTM
Datum: WGS- 84
Zona: 17S

SIMBOLOGÍA

	Drenajes
	Tramo de carretera
	Falla inversa
	Rumbo y buzamiento
	Zona de estudio
	Curva de nivel

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Profesional de Ingeniería Geológica			
TESIS: EVALUACIÓN GEOLÓGICA PARA DETERMINAR LA INESTABILIDAD DE LOS TALUDES EN EL KM 0 AL KM 7 DEL DISTRITO DE JOSÉ GÁLVEZ- CELENDÍN					
PLANO:		GEOLÓGICO			DATUM:
TESISTA:		Bach. ROJAS BENAVIDES JHON HARRIS			UTM WGS 84
ASESOR:		Dr. LAGOS MANRIQUE ALEJANDRO CLAUDIO			P-02
FECHA:		ENERO 2025		ESCALA: 1: 25000	



Fuente: INGEMMET (1995)



Sistema de Coordenadas: UTM
Datum: WGS- 84
Zona: 17S

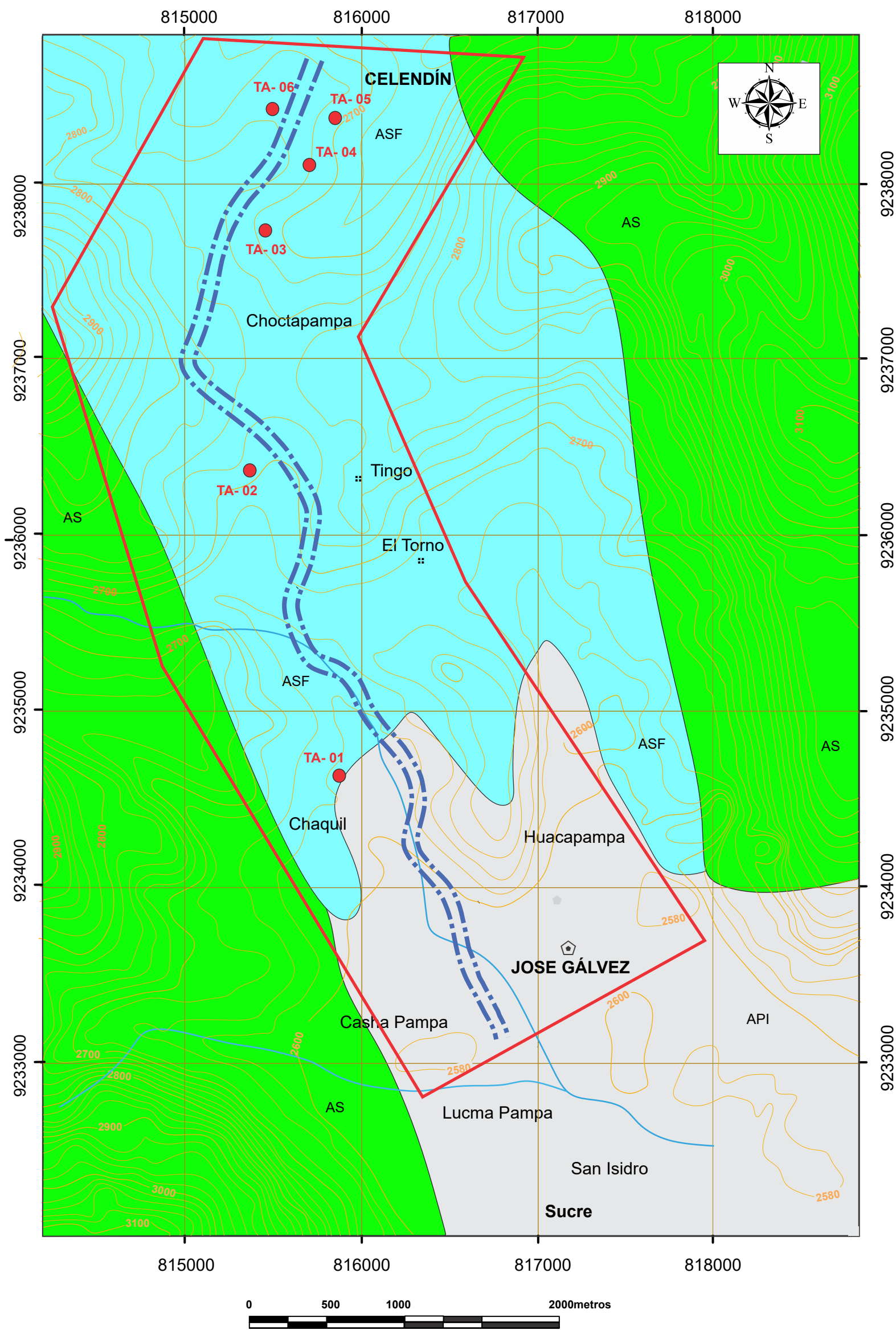
LEYENDA

DI	Depósitos inconsolidados
AD	Areniscas duras
AB	Areniscas y limolitas blandas
ALD	Arcillitas y limolitas duras
CM	Calizas y margas

SIMBOLOGÍA

	Drenajes
	Tramo de carretera
	Zona de estudio
	Curva de nivel

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Profesional de Ingeniería Geológica		
TESIS: EVALUACIÓN GEOLÓGICA PARA DETERMINAR LA INESTABILIDAD DE LOS TALUDES EN EL KM 0 AL KM 7 DEL DISTRITO DE JOSÉ GÁLVEZ- CELENDÍN			
PLANO	LITOLÓGICO	DATUM: UTM WGS- 84	
TESISTA	Bach. ROJAS BENAVIDES JHON HARRIS		P-03
ASESOR	Dr. LAGOS MANRIQUE ALEJANDRO CLAUDIO		
FECHA	ENERO 2025	ESCALA: 1:25000	



Fuente: INGEMMET (1995)



Sistema de Coordenadas: UTM
Datum: WGS- 84
Zona: 17S

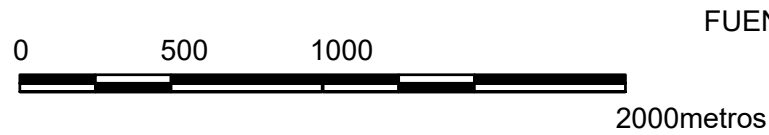
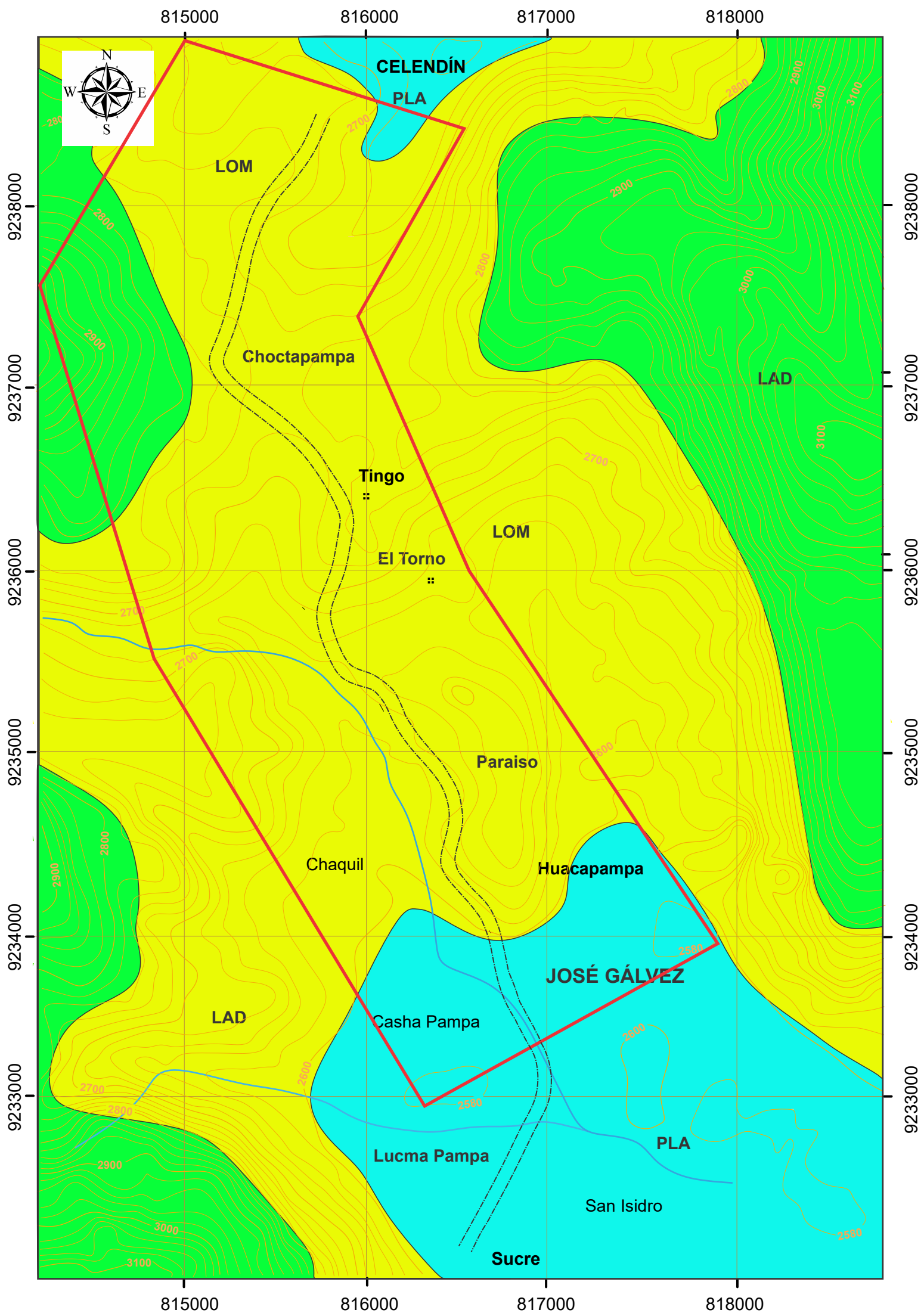
LEYENDA

API	Acuífero poroso inconsolidado
AB	Acuífero sedimentario fisurado
AS	Acuitardo sedimentario

SIMBOLOGÍA

	Drenajes
	Tramo de carretera
	Zona de estudio
	Curva de nivel

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Profesional de Ingeniería Geológica		
TESIS: EVALUACIÓN GEOLÓGICA PARA DETERMINAR LA INESTABILIDAD DE LOS TALUDES EN EL KM 0 AL KM 7 DEL DISTRITO DE JOSÉ GÁLVEZ- CELENDÍN			
PLANO	HIDROGEOLÓGICO		DATUM: UTM WGS 84
TESISTA	Bach. ROJAS BENAVIDES JHON HARRIS		
ASESOR	Dr. LAGOS MANRIQUE ALEJANDRO CLAUDIO		P-04
FECHA	ENERO 2025	ESCALA: 1:25000	



Zona: 17SSistema de Coordenadas: UTM
Datum: WGS-84



FUENTE: RODRÍGUEZ (2015)

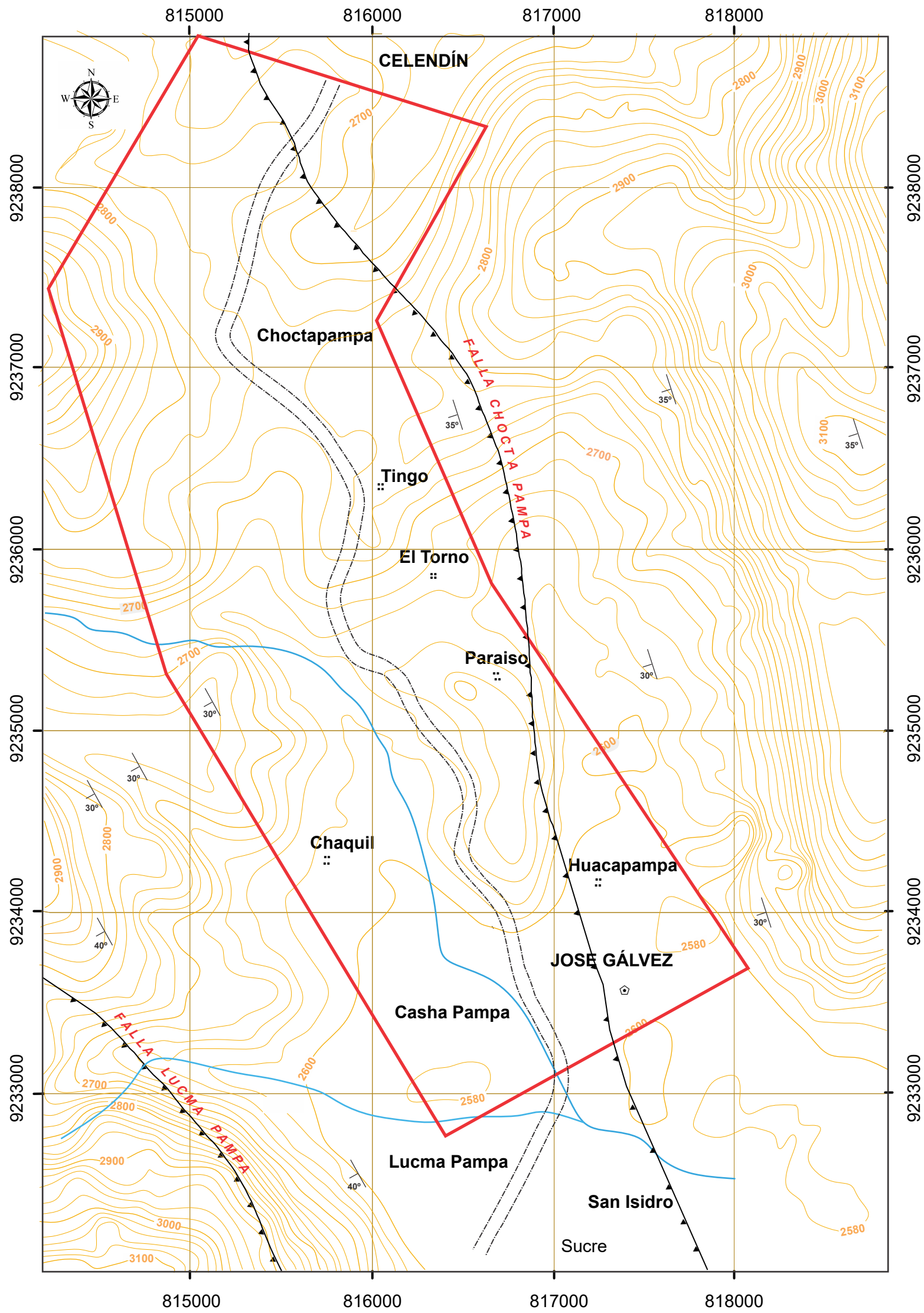
LEYENDA

PLA	PLANICIE
LOM	LOMADA
LAD	LADERA

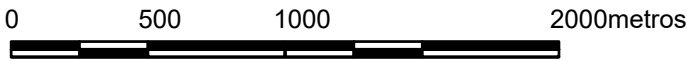
SIMBOLOGÍA

	Curva de nivel
	Drenajes
	Tramo de carretera
	Lugares
	Zona de estudio

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Profesional de Ingeniería Geológica		
TESIS: EVALUACIÓN GEOLÓGICA PARA DETERMINAR LA INESTABILIDAD DE LOS TALUDES EN EL KM 0 AL KM 7 DEL DISTRITO DE JOSÉ GÁLVEZ- CELENDÍN			
PLANO	GEOMORFOLÓGICO		DATUM:
TESISTA	Bach. ROJAS BENAVIDES JHON HARRIS		UTM WGS 84
ASESOR	Dr. LAGOS MANRIQUE ALEJANDRO CLAUDIO		P-05
FECHA	ENERO 2025	ESCALA: 1: 25000	



Fuente: INGEMMET (1980)

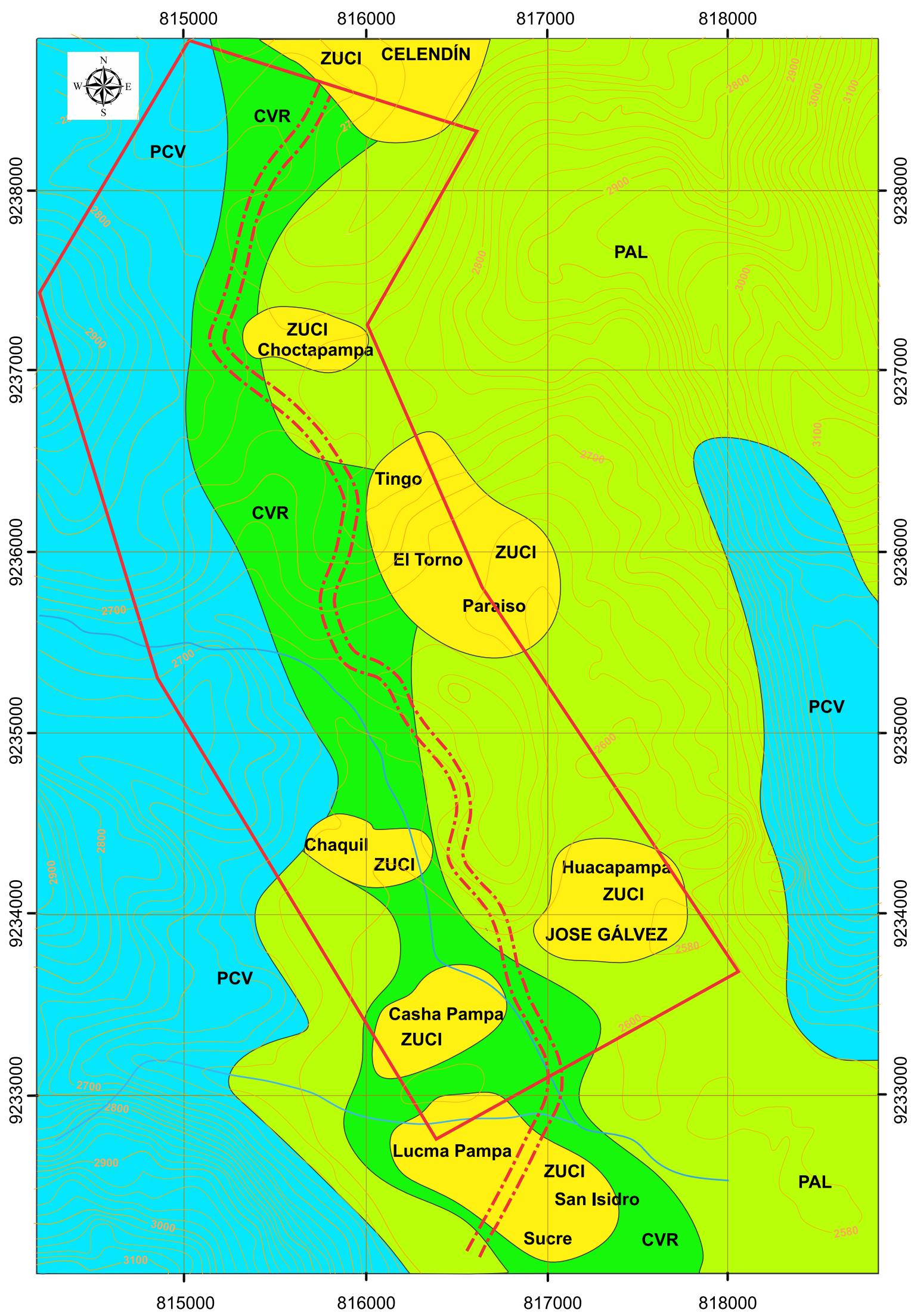


Sistema de Coordenadas: UTM
Datum: WGS-84
Zona: 17S

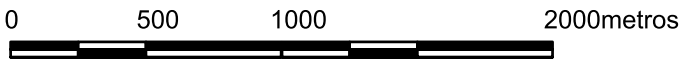
SIMBOLOGÍA

	Drenajes
	Tramo de carretera
	Falla inversa
	Rumbo y buzamiento
	Lugares
	Curva de nivel
	Zona de estudio

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Profesional de Ingeniería Geológica		
TESIS: EVALUACIÓN GEOLÓGICA PARA DETERMINAR LA INESTABILIDAD DE LOS TALUDES EN EL KM 0 AL KM 7 DEL DISTRITO DE JOSÉ GÁLVEZ- CELENDÍN			
PLANO	ESTRUCTURAL		DATUM: UTM WGS 84
TESISTA	Bach. ROJAS BENAVIDES JHON HARRIS		
ASESOR	Dr. LAGOS MANRIQUE ALEJANDRO CLAUDIO		P-06
FECHA	OCTUBRE 2024	ESCALA: 1:25000	



Fuente: INGEMMET (1980)





Sistema de Coordenadas: UTM
Datum: WGS-84
Zona: 17S

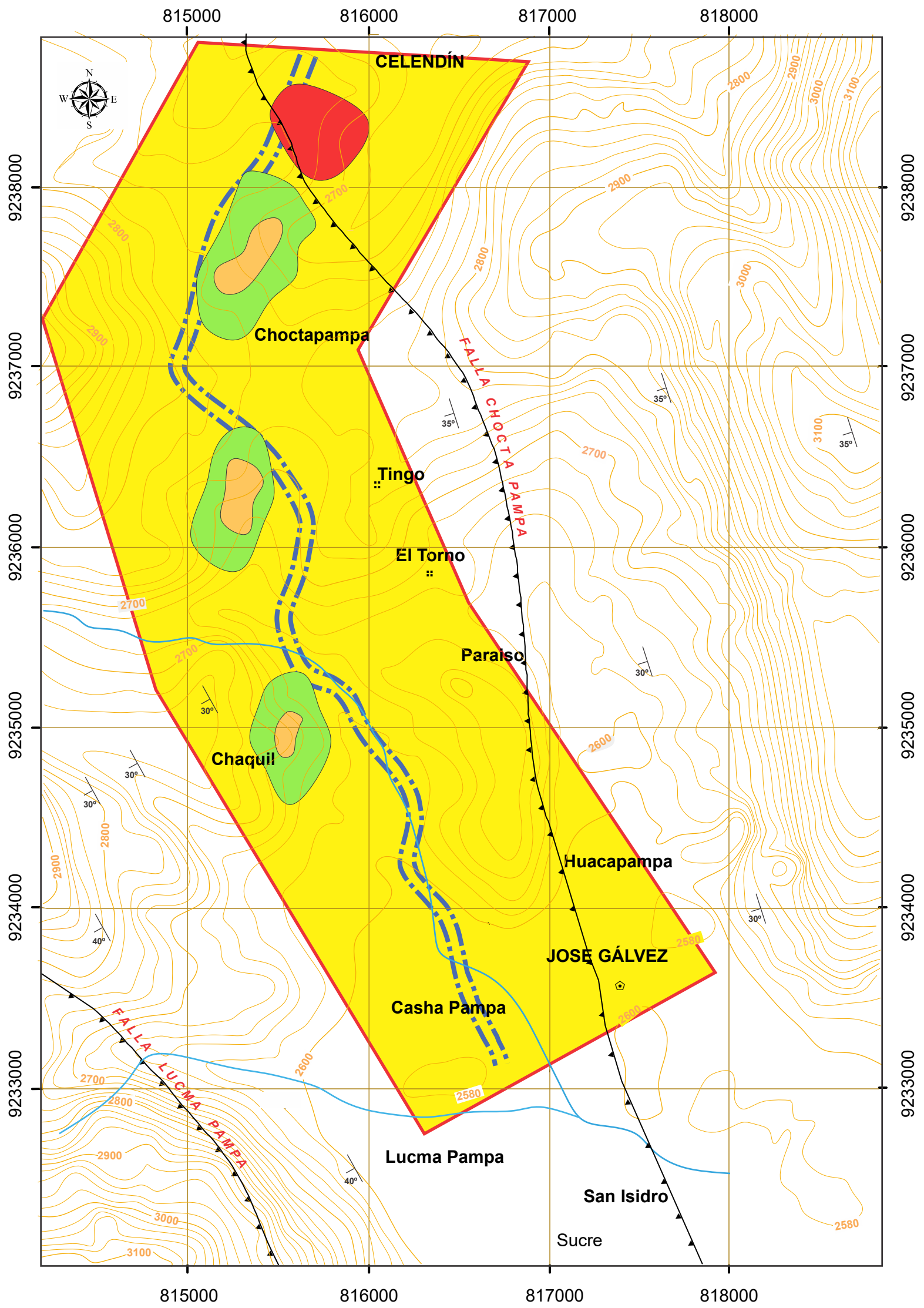
LEYENDA

PCV	Pobre cobertura vegetal
CVR	Cultivo y bosques reforestados
PAL	Pastos alóctonos
ZUCI	Zona urbana con infraestructura

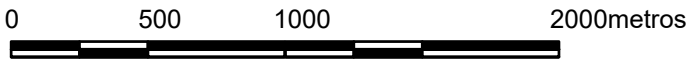
SIMBOLOGÍA

	Drenaje
	Tramo de carretera
	Curva de nivel
	Zona de estudio

<div><div>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Profesional de Ingeniería Geológica</div><div></div></div>		
TESIS: EVALUACIÓN GEOLÓGICA PARA DETERMINAR LA INESTABILIDAD DE LOS TALUDES EN EL KM 0 AL KM 7 DEL DISTRITO DE JOSÉ GÁLVEZ- CELENDÍN		
PLANO	COBERTURA VEGETAL	DATUM: UTM WGS- 84
TESISTA	Bach. ROJAS BENAVIDES JHON HARRIS	
ASESOR	Dr. LAGOS MANRIQUE ALEJANDRO CLAUDIO	P-08
FECHA	ENERO 2025	



Fuente: INGEMMET (1980)




Sistema de Coordenadas: UTM
Datum: WGS-84
Zona: 17S

SIMBOLOGÍA

	Drenajes
	Tramo de carretera
	Lugares
	Curva de nivel
	Zona de estudio

ZONIFICACIÓN

	MUY ALTA
	ALTA
	MEDIA
	BAJA

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Profesional de Ingeniería Geológica	
TESIS: EVALUACIÓN GEOLÓGICA PARA DETERMINAR LA INESTABILIDAD DE LOS TALUDES EN EL KM 0 AL KM 7 DEL DISTRITO DE JOSÉ GÁLVEZ- CELENDÍN		
PLANO	:	ZONIFICACIÓN
TESISTA	:	Bach. Rojas Benavides Jhon Harris
ASESOR	:	Dr. Lagos Manrique Alejandro Claudio
FECHA	:	ENERO 2025

PLANO
09

RESULTADOS DE LABORATORIO

Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua.
Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto ambiental, construcción de edificios, obras de Ingeniería Civil.
PROYECTOS- ASESORIA Y CONSULTORIA
RPM: 696826 CELULAR976026950 TELEFONO:354793

CÁLCULO DEL PESO ESPECÍFICO DE ARENISCAS

SOLICITA	: ROJAS BENAVIDES JHON HARRIS
TESIS	: EVALUACIÓN GEOLÓGICA PARA DETERMINAR LA INESTABILIDAD DE LOS TALUDES EN EL KM 0 AL KM 7 DEL DISTRITO DE JOSÉ GÁLVEZ. CELENDÍN
PROCEDENCIA	: DISTRITO DE JOSÉ GÁLVEZ
UNIDAD	: FORMACIÓN CHOTA
EDAD	: CRETÁCICO SUPERIOR- PALEÓGENO
FECHA	: 10/12/2024

1. PROCEDIMIENTOS

A solicitud del Sr. Rojas Benavides Jhon Harris, se realizaron las pruebas de laboratorio de 06 muestras de areniscas con la finalidad de conocer su peso específico. La determinación del PE de cada una de las muestras de roca se realizó mediante el siguiente procedimiento:

- 1 Preparación de un trozo de muestra de roca arenisca
- 2 Peso del trozo de arenisca en la balanza electrónica.
- 3 Llenado el vaso de prueba con agua hasta la mitad aproximadamente.
- 4 Medida y registro del volumen del agua en el vaso.
- 5 Medición del vaso con agua mas el fragmento de roca introducida.

Todos estos procedimientos se realizaron para las 06 muestras.

Nota: la muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado para su respectivo análisis.



Ing. Nely Hugo Mosquera Estrover
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27664

Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua.
Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto ambiental, construcción de edificios, obras de Ingeniería Civil.
PROYECTOS- ASESORIA Y CONSULTORIA
RPM: 696826 CELULAR976026950 TELEFONO:354793

2. DATOS DE TA- 01 PERTENECIENTE A LA FORMACIÓN CHOTA

Peso de la muestra de arenisca = 228.11gr

Volumen de H₂O sin muestra arenisca= 244.43 cm³

Volumen de H₂O con muestra de roca= 333.64cm³

3. APLICACIÓN DE LAS FÓRMULAS

$$VH20_{desp} = (VolH20 + Frag. Roca) - (VolH20 \text{ sin } Frag. Roca)$$

VH20 desp. = Volumen de agua desplazado

Vol H2O= Volumen de H₂O

Frag. Roca= Fragmento de roca

4. REEMPLAZANDO DATOS

$$Vf = 333.64\text{cm}^3 - 244.43\text{cm}^3 = 83.21\text{cm}^3 \text{ (diferencia de volúmenes)}$$

Nota: la muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado para su respectivo análisis.



Ing. MSc. Hugo Mosquera Estraver
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27664

Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua.
Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto ambiental, construcción de edificios, obras de Ingeniería Civil.
PROYECTOS- ASESORIA Y CONSULTORIA
RPM: 696826 CELULAR976026950 TELEFONO:354793

5. DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DE LABORATORIO

$$PE = \frac{\text{Peso de la masa de roca (gr)}}{\text{Diferencia de volúmenes (cm³)}}$$

$$PE = \frac{228.11gr}{83.21cm^3}$$

$$PE = 2.56gr/cm^3$$

Este mismo procedimiento se realizó para todas las muestras.

Nota: la muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado para su respectivo análisis.



Ing. MSc. Hugo Mosqueira Estróver
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27664

Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua.
Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto ambiental, construcción de edificios, obras de Ingeniería Civil.
PROYECTOS- ASESORIA Y CONSULTORIA
RPM: 696826 CELULAR976026950 TELEFONO:354793

6. CALCULO REALIZADOS DE LAS 03 MUESTRAS (FORMACIÓN CHOTA)

Muestra TA- 01	
Peso de la masa de roca arenisca (gr)	228.11
Volumen de H ₂ O sin muestra de roca (cm3)	244.43
Volumen de H ₂ O con muestra de roca (cm3)	333.64
Diferencia de volúmenes (cm3)	89.21
Peso específico (gr/cm3)	2.56

Muestra TA- 02	
Peso de la masa de roca arenisca (gr)	221.77
Volumen de H ₂ O sin muestra de roca (cm3)	241.44
Volumen de H ₂ O con muestra de roca (cm3)	329.09
Diferencia de volúmenes (cm3)	87.65
Peso específico (gr/cm3)	2.53

Muestra TA- 03	
Peso de la masa de roca arenisca (gr)	226.77
Volumen de H ₂ O sin muestra de roca (cm3)	240.11
Volumen de H ₂ O con muestra de roca (cm3)	329.55
Diferencia de volúmenes (cm3)	88.44
Peso específico (gr/cm3)	2.535

Nota: la muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado para su respectivo análisis.



Ing. MSc. Hugo Mosquera Estróver
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27664

Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua.
Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto ambiental, construcción de edificios, obras de Ingeniería Civil.
PROYECTOS- ASESORIA Y CONSULTORIA
RPM: 696826 CELULAR976026950 TELEFONO:354793

7. CALCULO REALIZADOS DE LAS 03 MUESTRAS (FORMACIÓN FARRAT Y CHIMÚ)

Muestra TA- 04	
Peso de la masa de roca arenisca (gr)	235.33
Volumen de H ₂ O sin muestra de roca (cm ³)	241.55
Volumen de H ₂ O con muestra de roca (cm ³)	338.53
Diferencia de volúmenes (cm ³)	96.98
Peso específico (gr/cm³)	2.427

Muestra TA- 05	
Peso de la masa de roca arenisca (gr)	221.99
Volumen de H ₂ O sin muestra de roca (cm ³)	246.12
Volumen de H ₂ O con muestra de roca (cm ³)	337.99
Diferencia de volúmenes (cm ³)	86.54
Peso específico (gr/cm³)	2.416

Muestra TA- 06	
Peso de la masa de roca arenisca (gr)	229.01
Volumen de H ₂ O sin muestra de roca (cm ³)	241.02
Volumen de H ₂ O con muestra de roca (cm ³)	337.13
Diferencia de volúmenes (cm ³)	86.36
Peso específico (gr/cm³)	2.383

Nota: la muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado para su respectivo análisis.



Ing. MSc. Hugo Mosqueira Estróver
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27664

Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua.
Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto ambiental, construcción de edificios, obras de Ingeniería Civil.
PROYECTOS- ASESORIA Y CONSULTORIA
RPM: 696826 CELULAR976026950 TELEFONO:354793

RESULTADO DEL PESO ESPECÍFICO DE LAS 06 MUESTRAS

MUESTRA	PESO ESPECÍFICO (gr/cm ³)
TA- 01	2.56
TA- 02	2.53
TA- 03	2.535
TA-04	2.427
TA- 05	2.416
TA- 06	2.383

Nota: la muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado para su respectivo análisis.

NOMAS UTILIZADAS:
ASTM C25-96
NTP 334.131- 2008



Ing. MSc. Hugo Mosqueira Estróver
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27664