

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



TESIS

**EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS TALUDES CRÍTICOS DE LA
CARRETERA COMPRENDIDA ENTRE EL PUENTE EL OBISPO –
HUANGAMARCA, DISRITO DE BAMBAMARCA**

**Para Optar el Título Profesional de
INGENIERO GEÓLOGO**

Presentado por:

Bach. HEINER RUIZ SANCHEZ

Asesor

M. Cs. Ing. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA

Cajamarca – Perú

2022

AGRADECIMIENTO

Mi majestuoso agradecimiento al Padre Dios de los cielos por haberme dado entendimiento y sabiduría, para estudiar y culminar la carrera Profesional de Ingeniería Geológica y realizar mi tesis de pregrado. Sin embargo, también mi más grado estima y lealtad a la Universidad Nacional de Cajamarca por acogerme y ser parte de esta comunidad Universitaria y también a mis profesores académicos por ser el apoyo permanente para el aprendizaje profesional en el campo de la Ingeniería sobre todo Geológica.

DEDICATORIA

Mi tesis la dedico a mis: padres, abuelitos y hermano, por seguir siempre apoyándome en todo momento hacia la excelencia profesional, sin dejar de lado sus: consejos, orientaciones y perseverancia de nunca caer en ninguna adversidad. También dedico algunas palabras para mi primo y amigos que me apoyaron a realizar la tesis, ya sea en campo y gabinete. De antemano muchísima gracias por esta oportunidad de realización y culminación de mi tesis.

ÍNDICE

	Pág.
AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
LISTA DE ABREVIATURAS	vi
LISTA DE TABLAS	vii
LISTA DE FIGURAS	iix
LISTA DE FOTOSxiii
LISTA DE PLANOSxv
RESUMEN	16
ABSTRACT	17
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	18
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	21
2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	21
2.1.1 Antecedentes Internacionales	21
2.1.2 Antecedentes Nacionales	22
2.1.3 Antecedentes Locales	22
2.2 BASES TEÓRICAS	23
2.2.1 Criterios Empíricos de Clasificación de Macizos Rocosos	23
2.2.1.1 Índice de Calidad de la Roca (RQD: Rock Quality Designation).....	23
2.2.1.2 Sistema de Valoración del Macizo Rcoso (RMR ₈₉).....	24
2.2.1.3 Índice de Resistencia Geológica (GSI: Geological Strength Index)	26
2.2.2 Criterios de Rotura para Macizos Anisótropos	28
2.2.2.1 Criterio De Hoek – Brown Generalizado.....	29
2.2.2.2 Criterio de Mohr - Coulumb.....	29
2.2.3 Análisis de Taludes	32
2.2.3.1 Métodos del Equilibrio Límite	34
2.2.3.2 Superficies de Deslizamiento en Suelo.....	36
2.2.4 Factores Geológicos y Problemas Geotécnicos	37
2.2.4.1 Roturas En Rocas.....	38
2.2.5 Geodinámica	40
2.2.5.1 Deslizamiento.....	40
2.2.6 Métodos de Estabilización.....	44
2.2.6.1 Modificación de la Geometría.....	44
2.2.6.2 Medidas de Drenaje.....	47

	Pág.
2.2.6.3	Elementos Estructurales Resistentes50
2.2.7.4	Muros y Elementos de Contención.....50
2.3	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....52
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS54
3.1	UBICACIÓN..... 54
3.2	ACCESIBILIDAD55
3.3	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN56
3.3.1	Tipo, Nivel, Diseño y Método de la Investigación 56
3.3.2	Población de Estudio 56
3.3.3	Muestra..... 56
3.3.4	Unidad de Análisis 56
3.4	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....56
3.4.1	Técnicas 56
3.4.2	Instrumentos y Materiales 56
3.4.3	Software´S..... 57
3.5	PROCEDIMIENTO57
3.5.1	Etapa De Gabinete 57
3.5.2	Etapa de Campo..... 57
3.5.3	Etapa Final 58
3.6	CLIMA.....60
3.7	FLORA Y FAUNA61
3.8	HIDROLOGÍA.....61
3.9	GEOMORFOLOGÍA.....63
3.10	GEOLOGÍA REGIONAL66
3.11	GEOLOGÍA LOCAL.....66
3.11.1	Grupo Crisnejas.....68
3.11.1.1	Formación Chúlec 68
3.11.1.2	Formación Pariatambo69
3.11.2	Grupo Pulluicana 70
3.11.3	Grupo Quilquiñan 70
3.11.4	Formación Cajamarca 71
3.11.5	Depósitos Cuaternarios 72
3.12	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....74
3.13	GEOTÉCNIA77

	Pág.
3.13.1	Análisis de estabilidad de taludes en suelos78
3.13.2	Análisis de estabilidad de taludes en rocas.....97
CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS105	
4.1	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS105
4.2	CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....110
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES111	
5.1	CONCLUSIONES.....111
5.2	RECOMENDACIONES111
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS113	
ANEXOS115	
DATOS GEOMECÁNICOS DE CAMPO115	
PLANOS115	

LISTA DE ABREVIATURAS

WGS-84	:	Sistema Geodésico Mundial 1984.
Fm.	:	Formación geológica.
MDT	:	Modelo digital del terreno.
MDE	:	Modelo digital de elevaciones.
MDP	:	Modelo digital de pendientes.
SUCS	:	Sistema unificado de clasificación de suelos.
AASHTO	:	Asociación americana de agencias oficiales de carreteras y transporte.
PRP	:	Peso retenido parcial.
%RP	:	Porcentaje de peso retenido en cada tamiz.
%RA	:	Porcentaje retenido acumulado en cada tamiz.
%PASA	:	Porcentaje acumulado que pasa en cada tamiz.
LL	:	Límite líquido.
LP	:	Límite plástico.
IP	:	Índice de plasticidad.
M-1	:	Número de muestra.
H: V	:	Altura: Ancho.
Ψ	:	Buzamiento de talud.
α	:	Buzamiento del plano de ruptura.
Cu	:	Coeficiente de uniformidad.
Cc	:	Coeficiente de curvatura.
D10	:	Diámetro de partícula.
CL	:	Arcilla de baja plasticidad
SM	:	Arcilla limosa.

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1. Índice de la calidad de la roca RQD Fuente: González, 2002.	24
Tabla 2.2. Parámetros de los valores para la clasificación RMR ₈₉ . Fuente: Bieniawski, 1989.	25
Tabla 2.3. Calidad del macizo rocoso en función al RMR ₈₉ . Fuente: Bieniawski, 1989.	26
Tabla 2.4. GSI para macizos rocosos homogéneos. Fuente: Hoek y Marinos, 2000. Fuente: Hoek et al., 2013.	27
Tabla 2.5. Guías para la estimación del factor de alteración del criterio de rotura de Hoek y Brown. Fuente: Hoek et al., 2002.	31
Tabla 2.6. Métodos para analizar estabilidad de taludes. Fuente: Suárez, 2007.	35
Tabla 2.7. Influencia de la litología en el comportamiento geotécnico del terreno. Fuente: González, 2002.	37
Tabla 3.1. Coordenadas del tramo de investigación.	54
Tabla 3.2. Acceso a la zona de estudio.	55
Tabla 3.3. Matriz de consistencia metodológica.	59
Tabla 3.4. Datos meteorológicos del año 2018. Fuente: SENAMHI, 2018.	60
Tabla 3.5. Análisis granulométrico de la calicata M-1, progresiva: Km. 06+100-Km. 06+140.	79
Tabla 3.6. Límite líquido de la calicata M-1, progresiva: Km. 06+100-Km. 06+140.	80
Tabla 3.7. Límite plástico de la calicata M-1, progresiva: Km. 06+100-Km. 06+140.	81
Tabla 3.8. Análisis granulométrico de la calicata M-2, progresiva: Km. 05+955-Km. 05+985.	85

	Pág.
Tabla 3.9. Límite líquido de la calicata M-2, progresiva: Km. 05+955-Km. 05+985.	86
Tabla 3.10. Límite plástico de la calicata M-2, progresiva: Km. 05+955-Km. 05+985.	86
Tabla 3.11. Análisis granulométrico de la calicata M-3, progresiva: Km. 02+500-Km. 02+540.	90
Tabla 3.12. Límite líquido de la calicata M-3, progresiva: Km. 02+500-Km. 02+540.	91
Tabla 3.13. Límite plástico de la calicata M-3, progresiva: Km. 02+500-Km. 02+540.	91
Tabla 3.14. Análisis granulométrico, muestra M-4 progresiva: Km. 01+700-Km. 01+750.	93
Tabla 3.15. Límite líquido de la calicata M-4, progresiva: Km. 01+700-Km. 01+750.	94
Tabla 3.16. Límite plástico de la calicata M-4, progresiva: Km. 01+700-Km. 01+750.	94
Tabla 3.17. Reporte del análisis por RocPlane.	104
Tabla 4.1. Precipitación máxima en 24 horas a altitud media de la microcuenca.	107
Tabla 4.2. Resultados de los ensayos de laboratorio de mecánica de suelos.	108
Tabla 4.3. Reporte del factor de seguridad de taludes en suelo.	109
Tabla 4.4. Método de estabilización de tramos críticos.	109
Tabla 4.5. Constantes de Hoek - Brown y Mohr – Coulomb, aplicando software RocData.	109
Tabla 4.6. Resultados de probabilidad de ruptura según Dips y Factor de Seguridad según RocPlane y Swedge.	110
Tabla 5.1. Registro geológico geotécnico - estación geomecánica 1.	116

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. Relaciones entre el esfuerzo principal: mayor y menor, para el criterio de Hoek-Brown y el equivalente de Mohr-Coulomb.	30
Figura 2.2. Dirección de esfuerzos principales en la falla de un talud. Fuente: Lambe & Whitman, 1972.	32
Figura 2.3. Variación de la cohesión y ángulo de fricción en una discontinuidad por el aumento de humedad y presión de poros. Fuente: Suarez, 2007.	32
Figura 2.4. Métodos de análisis de estabilidad de taludes. Fuente: Suárez, 2007.	33
Figura 2.5. Tipos de superficies de rotura en suelos. Fuente: González, 2002.	36
Figura 2.6. Efectos de las discontinuidades en la falla de los taludes. Fuente: Suarez, 2007.	38
Figura 2.7. Ruptura plana. Fuente: González, 2002.	39
Figura 2.8. Condiciones para la rotura en cuña. Fuente: González, 2002.	39
Figura 2.9. a) Movimiento simple, b) Movimiento múltiple, c) Movimiento sucesivo. Fuente: Hutchinson, 1968.	41
Figura 2.10. Esquema de un deslizamiento rotacional y partes del mismo (modificado de Varnes. 1988).	42
Figura 2.11. Clasificación general de los movimientos de ladera. Fuente: González, 2002.	43
Figura 2.12. Tipos de deslizamientos rotacionales. Fuente: González, 2002.	44
Figura 2.13. Métodos para aumentar el coeficiente de seguridad de taludes en suelos. Fuente: González, 2002.	45

	Pág.
Figura 2.14. Estabilización de talud mediante muro de pie. Relleno y drenes californianos. Autovía de Levante, variante Perales de Tajuña. Madrid (Oteo. 1995).	46
Figura 2.15. Estabilización de un talud mediante escollera. Fuente: González, 2002.	47
Figura 2.16. Medidas de drenaje y protección en taludes. Fuente: Uriel, 1991.	48
Figura 2.17. Disposición y eficacia de los sistemas de drenaje en un talud (modificado de CANMET. 1977).	49
Figura 2.18. Muros y pantallas de pilotes anclados. Fuente: González, 2002.	50
Figura 2.19. a) Muros de gaviones con intradós escalonado y b) Trasdós escalonado, con relleno en el muro y talud. Fuente: González, 2002.	51
Figura 3.1. Curva granulométrica de la calicata M-1, progresiva: Km. 06+100-Km. 06+140.	80
Figura 3.2. Curva de fluidez LL = 33.71%, calicata M-1 progresiva: Km. 06+100-Km.06+140.	80
Figura 3.3. Sección de corte del talud a evaluar, ubicado en la progresiva: Km. 06+100-Km. 06+140.	81
Figura 3.4. Análisis en tensiones efectivas mediante modelo numérico obteniendo FS = 0.636, ubicado en la progresiva: Km. 06+100-Km. 06+140.	82
Figura 3.5. Sección proyectada a mejorar y construir en la progresiva: Km. 06+100-Km. 06+140, mediante muro y banquetas.	83
Figura 3.6. Análisis en tensiones efectivas mediante modelo numérico obteniendo FS = 1.259, ubicado en la progresiva: Km. 06+100-Km. 06+140.	83
Figura 3.7. Curva granulométrica de la calicata M-2, progresiva: Km. 05+955-Km. 05+985.	85

Figura 3.8.	Curva de fluidez LL = 32.50%, calicata M-2 progresiva: Km. 05+955-Km. 05+985.	86
Figura 3.9.	Sección de corte del talud a evaluar, ubicado en la progresiva: Km. 05+955-Km. 05+985.	87
Figura 3.10.	Análisis en tensiones efectivas mediante modelo numérico obteniendo FS = 0.534, ubicado en la progresiva: Km. 05+955-Km. 05+985.	87
Figura 3.11.	Sección proyectada a mejorar y construir en la progresiva: Km. 05+955-Km. 05+985, mediante muro y talud.	88
Figura 3.12.	Análisis en tensiones efectivas mediante modelo numérico obteniendo FS = 1.259, ubicado en la progresiva: Km. 05+955-Km. 05+985.	88
Figura 3.13.	Curva granulométrica de la calicata M-3, progresiva: Km. 02+500-Km. 02+540.	90
Figura 3.14.	Curva de fluidez LL = 42.59%, calicata M-3 progresiva: Km. 02+500-Km. 02+540.	91
Figura 3.15.	Sección de la progresiva: Km. 05+955-Km. 05+985, mejoramiento mediante biomanta con anclajes desde el pie hasta la corona del talud.	92
Figura 3.16.	Curva granulométrica de la calicata M-4, progresiva: Km. 01+700-Km. 01+750.	94
Figura 3.17.	Curva de fluidez LL = 35.43%, calicata M-4 progresiva: Km. 01+700-Km. 01+750.	95
Figura 3.18.	Sección de corte del talud a evaluar, ubicado en la progresiva: Km. 01+700-Km. 01+750.	95
Figura 3.19.	Análisis en tensiones efectivas mediante modelo numérico obteniendo FS = 0.129, ubicado en la progresiva: Km. 01+700-Km. 01+750.	96
Figura 3.20.	Sección proyectada a mejorar y construir en la progresiva: Km. 01+700-Km. 01+750, mediante gaviones y cuneta en la parte superior del talud para evacuación de aguas pluviales.	96

	Pág.
Figura 3.21. Análisis en tensiones efectivas mediante modelo numérico obteniendo $FS = 1.398$, ubicado en la progresiva: Km. 01+700-Km. 01+750.	97
Figura 3.22. Método de equilibrio para las propiedades del macizo rocoso utilizando el criterio de linealización del método de la equivalencia de área: M-C y H-B; estación 5.	99
Figura 3.23. Probabilidad de ruptura planar de 34.15%, formado entre la discontinuidad 1 a favor del talud, entre la progresiva: Km. 00+200-Km. 00+300.	102
Figura 3.24. Probabilidad de ruptura en cuña con 36.10%, formado por en la zona crítica por la intersección de las familias: D-1 y D-2; en orientación indirecta del talud, entre la progresiva: Km. 00+200-Km. 00+300.	103
Figura 3.25. A. Dimensionamiento del talud en 2D, para el análisis de ruptura planar, reportando $FS = 1.190$, ubicado en el flanco derecho de la carretera en la progresiva: Km. 00+200-Km. 00+300. B. Block diagrama en 3D mostrando la ruptura planar y la grieta de tracción, en el diseño geométrico inicial.	104
Figura 3.26. A. Dimensionamiento del talud en 2D, para el análisis de ruptura en cuña. B. Block diagrama en 3D mostrando la ruptura en cuña con $FS = 1.117$, ubicado en el flanco derecho de la carretera en la progresiva: Km. 00+200-Km. 00+300.	104
Figura 4.1. Precipitación máxima estación de Bambamarca.	108

LISTA DE FOTOS

	Pág.
Foto 3.1. A. Puente el Obispo, punto de inicio. B. Centro Poblado de Huangamarca, punto final.	54
Foto 3.2. A. Río Paraguran. B. Quebrada Onda. C. Río Llaucan.	62
Foto 3.3. Geomorfología de la zona de estudio, conformando valles subsecuentes, ubicado en la parte en el centro poblado Huangamarca.	64
Foto 3.4. Valle transversal a la estructura, ubicado en el puente Obispo, formando secciones transversales en forma de V y cañones de gran altura y mínimo ancho, desde las progresivas: Km. 00+000 – Km. 00+250.	65
Foto 3.5. A. Litología de la Formación Chúlec, en el flanco izquierdo de la carretera. B. Secuencia sedimentaria rítmica de intercalación de lutitas laminares y calizas nodulares, altamente intemperizadas de color amarillento, de espesor de 0.08 a 0.10 m.	68
Foto 3.6. Formación Pariatambo, compuesta por secuencias de lutitas y calizas bituminosas a negruzcas, presentando alta meteorización en la secuencia litoestratigráfica.	69
Foto 3.7. Paquetes competentes de calizas e intercalaciones de lutitas de color gris, pertenecientes al Grupo Quilquiñan.	71
Foto 3.8. Calizas grises azuladas de grosor entre: 0.60 a 0.85 m. de la Formación Cajamarca, con superficies de color blanquecino por la meteorización de la roca.	72
Foto 3.9. Depósito Coluvio-aluvial, ubicado en el flanco derecho de la carretera, conformado por fragmentos de rocas y material englobante de composición limosa de color gris.	73
Foto 3.10. A. Depósito Aluvial, de composición limo arcillosa, evidenciándose zona de deslizamiento progresivo en la cresta del talud. B. El Depósito reciente forma en su estructura cárcavas progresivas, por las aguas de escorrentía pluvial.	74

	Pág.
Foto 3.11. A. Se ubica en el flanco derecho de la carretera de la Formación Pariatambo, cubierta por Depósito Cuaternario, aflorando en la parte inferior del talud el plano de falla en la roca caliza, ubicado en la progresiva: Km. 03+950. B. Plano de falla dextral, observándose las estrías de falla, escalones y el movimiento cinemático de la falla.	75
Foto 3.12. Falla inversa, en el flanco derecho de la carretera, ubicado en las calizas del Grupo Quilquiñan con orientación: Az = 150° y Bz = 58°SW; en la progresiva: Km. 00+410.	76
Foto 3.13. A. Espejos de fallas ubicadas en las calizas del Grupo Quilquiñan. B. Espejo de falla de movimiento cinemático: sinistral. C. Falla dextral, con recristalización de minerales de calcita; en la progresiva: Km. 00+520.	76
Foto 3.14. A. Plano de falla dextral ubicado en el pie del talud, de la Formación Cajamarca. B. Movimiento cinemático del espejo de falla con orientación: Az = 300°, Bz = 75°NE y pitch = 5°, en la progresiva: Km. 00+310.	77
Foto 3.15. Rotura circular de pie, afectando 40 m. de la carretera entre la progresiva: Km. 06+100-Km. 06+140.	78
Foto 3.16. Rotura circular de pie, afectando 30 m. ubicado en el flanco izquierdo de la carretera entre la progresiva: Km. 05+955-Km. 05+985.	84
Foto 3.17. Formación de cárcavas en el talud del flanco derecho de la carretera entre la progresiva: Km. 02+500-Km. 02+540.	89
Foto 3.18. Cárcavas en el talud del flanco derecho de la carretera entre la progresiva: Km. 01+700-Km. 01+750..	93
Foto 3.19. Inestabilidad en el talud del flanco derecho de la carretera entre la progresiva: Km. 00+200-Km. 00+300.	98

LISTA DE PLANOS

	Pág.	
PLANO 01	IMAGEN SATELITAL SAS PLANET – BING MAPS	117
PLANO 02	MDT – MDE – UBICACIÓN	118
PLANO 03	GEOLÓGICO ESTRUCTURAL LOCAL	129
PLANO 04	UNIDADES MORFOGENÉTICAS	120
PLANO 05	MORFOLÓGICO ALTITUDINAL	121
PLANO 06	GEODINÁMICO	122
PLANO 07	GEOTÉCNICO	123
PLANO 08	ZONIFICACIÓN DE INESTABILIDADES CRÍTICAS	124

RESUMEN

La carretera entre el puente El Obispo y centro poblado Huangamarca, se ubica en el distrito Bambamarca, provincia Hualgayoc y departamento de Cajamarca, ubicada geográficamente al NE de la ciudad de Bambamarca, geológicamente en el cuadrángulo de Celendín, conformando cinco Formaciones: Chúlec, Pariatambo, Grupo Pulluicana, Grupo Quilquiñan y Cajamarca; pertenecientes al Cretácico: Inferior y Superior. Sin embargo, algunos tramos por la alta meteorización se encuentran cubiertos por Depósitos Cuaternarios del Holoceno: Aluviales, Coluvio-aluvial y Eluviales; conformados por suelos: gravoso, limosos a arcillosos; de color crema, gris a negruzco, ocasionando en muchos de los casos inestables de taludes. La tesis busca realizar la evaluación geotécnica de los taludes críticos en suelos y rocas; en relación con la estabilidad vinculado a variables como: Litomorfoestructura, precipitación y sismicidad; mediante la utilización de metodologías: exploratorias, descriptivas, correlacionales y explicativas. Las geoestructuras presentes son plegamientos de orientaciones: NE-SW y WSW-ENE relacionados con: sinclinales y anticlinales, presentando tres tipos de fallas: dextrales, sinetrales e inversas; evidenciándose un control estructural de orientación NNW-SSE, por la falla sinestral con esfuerzos: $\sigma_1 = 23.40^\circ$, $\sigma_2 = 47.70^\circ$ y $\sigma_3 = 33.00^\circ$; con orientación principal: SSE-NNW a NNE-SSW (falla dextral) y NW-SE (falla sinestral). El cartografiado geotécnico se basó analizar tamos críticos, siendo en su totalidad Depósitos Cuaternarios, con factores de seguridad inferiores a 1.10 y 1.50, aplicando los modelos numéricos (Slide, RocData, Dips, RocPlane y Swedge) se ingresó la sección actual de los taludes y las discontinuidades, obtenido factores de seguridad inferiores a los valores requerido para su estabilidad. El mejoramiento se basó en la aplicación de criterios ingenieriles de estabilización para la construcción como: muros de mampostería (gravedad), biomanta, anclaje y gaviones, mejorando la estabilidad superando el factor de seguridad mayor a 1.10 a 1.5 y en rocas se planteó en el desquinchado del talud.

Palabras claves: Litología, factor de seguridad, estabilidad, modelo numérico y clasificación geotécnica.

ABSTRACT

The road between the El Obispo bridge and the Huangamarca town center is located in the Bambamarca district, Hualgayoc province and Cajamarca department, geographically located NE of the city of Bambamarca, geologically in the Celendín quadrangle, forming five Formations: Chúlec, Pariatambo, Grupo Pulluicana, Grupo Quilquiñan and Cajamarca; belonging to the Cretaceous: Inferior and Superior. However, some sections due to high weathering are covered by Holocene Quaternary Deposits: Alluvial, Colluvium-alluvial and Eluvial; made up of soils: gravelly, silty to clayey; cream-colored, gray to blackish, causing unstable slopes in many cases. The thesis seeks to perform the geotechnical evaluation of critical slopes in soils and rocks; in relation to stability linked to variables such as: lithomorphostructure, precipitation and seismicity; through the use of methodologies: exploratory, descriptive, correlational and explanatory. The geostructural present are folds of orientations: NE-SW and WSW-ENE related to: synclines and anticlines, presenting three types of faults: dextral, sinetral and inverse; evidencing a structural control of the NNW-SSE orientation, due to the sintral failure with stresses: $\sigma_1 = 23.40^\circ$, $\sigma_2 = 47.70^\circ$ and $\sigma_3 = 33.00^\circ$; with main orientation: SSE-NNW to NNE-SSW (dextral fault) and NW-SE (sintral fault). The geotechnical mapping was based on analyzing critical areas, being in their entirety Quaternary Deposits, with safety factors lower than 1.10 and 1.50, applying the numerical models (Slide, RocData, Dips, RocPlane and Swedge) the current section of the slopes was entered and the discontinuities, obtained safety factors lower than the values required for its stability. The improvement was based on the application of stabilization engineering criteria for the construction such as: masonry walls (gravity yi), biomat, anchorage and gabions, improving stability, exceeding the safety factor greater than 1.1 to 1.5 and in rocks it was based on the shearing of the slope.

Keywords: Lithology, safety factor, stability, numerical model and geotechnical classification

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La carretera ubicada al NE de la ciudad de Bambamarca; específicamente entre el puente El Obispo y Huangamarca, presenta taludes de diferentes tipos de deslizamientos y roturas , debido a que están constituidos por rocas sedimentarias y depósitos cuaternarios, donde estos últimos se superponen a los macizos rocosos formando discontinuidades favoreciendo a la inestabilidad de los taludes, que se debe principalmente a la infiltración del agua de las precipitaciones pluviales y la sismicidad , además favorecida por las condiciones de las discontinuidades y la geometría del talud ; dando lugar a los deslizamientos de rocas y suelos, es por ello que es necesario definir las características geotécnicas y geomecánicas a lo largo del tramo de la carretera, para determinar los factores de seguridad y con ello ver la forma de mejorar los tramos críticos de la carretera, debido a ello se formula el siguiente problema a resolver ¿La inestabilidad de los taludes críticos de la carretera comprendida entre Puente el Obispo – Huangamarca, corresponden a taludes conformados por: suelos y rocas, siendo afectados por: litomorfoestructuras, precipitación y sismicidad?. Para responder a la incógnita, se hizo la evaluación geomecánica y geotécnica de los taludes de la mencionada carretera, encontrándose la mayor parte de los taludes inestables, producto de las precipitaciones pluviales, litomorfoestructuras y la sismicidad.

La carretera comprendida entre: Puente el obispo – centro poblado Huangamarca, representan un peligro eventual para la transitabilidad por dicha vía debido a la vulnerabilidad de los taludes , los cuales se encuentran mayormente en condiciones inestables debido a que los taludes han sido modificados por el ensanche de la carretera y no tienen el mantenimiento adecuado, es por ello que existen deslizamientos y desprendimientos de suelo y roca , que con ayuda del agente detonante, como es las precipitaciones pluviales y la sismicidad ayudan a que los taludes sean más inestables, debido a ello se realizará una investigación

geotécnica de la carretera comprendida entre el puente El Obispo – Huangamarca, y teniendo los resultados se logrará un proceso de control y mejoramiento de los taludes, siguiendo una correcta metodología de trabajo en los taludes críticos.

En la presente investigación se realizó la evaluación geotécnica de los taludes críticos de la carretera de manera: exploratoria, descriptiva, explicativa y correlacional, cuyo objetivo general es realizar la evaluación geotécnica de los taludes críticos en suelos y rocas de la carretera comprendida entre el puente El Obispo – Huangamarca, cuya finalidad de establecer soluciones para mejorar la estabilidad de los taludes, donde los objetivos específicos enmarcados en la presente investigación son: Realizar el cartografiado geológico para determinar las propiedades geomecánicas del macizo rocoso y el comportamiento geotécnico de los taludes , Calcular los factores de seguridad e identificar los taludes inestables para zonificar los tramos críticos de la carretera y establecer medidas de estabilización de los taludes críticos. Para la elaboración del presente trabajo de investigación existen ciertas limitaciones como son, Recursos económicos para realizar ensayos de compresión triaxial e Impedimentos relativos para el ingreso al área de investigación.

El proyecto de investigación consta de **V** capítulos, en los cuales se describe lo siguiente:

En el Capítulo **I**, Introducción, se muestra la realidad problemática, la formulación del problema, importancia, objetivos y las limitaciones de la investigación.

En el Capítulo **II**, Marco Teórico de la Investigación, contiene un compendio de antecedentes, bases teóricas y definición de términos básico; estos tres acápite del capítulo II son tan importantes como los anteriores, debido a que son el sustento para el desarrollo de la investigación.

En el Capítulo **III**, Materiales y Métodos. En este acápite se describe a detalle la Ubicación geográfica donde se desarrolló la investigación y cada uno de los procedimientos, técnicas e instrumentos utilizados para la recolección y procesamiento de datos de la investigación.

En el Capítulo **IV**, es el capítulo donde se realiza el Análisis y Discusión de Resultados. Donde se describen las estaciones con su respectivo análisis para hacer una contrastación con la hipótesis planteada.

En el Capítulo **V**, en este último capítulo se describe las conclusiones derivadas de los resultados de la investigación y en base a los objetivos planteados, además se describen algunas recomendaciones para mejora de esta y de próximas investigaciones.

Por ultimo tenemos las referencias bibliográficas y se presentan los anexos, donde se adjunta los datos complementarios a la investigación como son; planos, tablas geomecánicas, entre otros.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

Existen estudios realizados a nivel internacional, nacional y local (Bambamarca), pero ello en su gran mayoría por parte de INGEMMET; brindando información que sirve como base para esta investigación de años anteriores y recientes; para mejores análisis e interpretación de la zona en estudio. Las investigaciones realizadas de investigación geológica y geotécnica son las siguientes:

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Gallardo et al .2013. Aportaron con la “Investigación geotécnica para la estabilización de las laderas del Barrio San Fermín, municipio de Ocaña, departamento de Norte de Santander (Colombia)”. El asentamiento urbano está ubicado en la zona suroccidental del municipio de Ocaña. Los cartografiados geológicos encuentran dos formaciones geológicas: una de carácter sedimentario conocida como Formación Algodonal y la otra de carácter ígneo conocida como el Complejo intrusivo – extrusivo denominado “Macizo Santander”, sin embargo, geomorfológicamente se encuentra emplazado en laderas bastante empinadas con pendientes 45° a 65°. La geotecnia lo conformo sondeos y calicatas en la parte baja, media y alta de la ladera obteniendo resultados de factores de seguridad desde 0.351 a 0.717 considerándolos como inestables y remediando los taludes: T2 y T3 se obtiene condiciones de estabilidad estables desde 1.216 a 1.239, con muros de contención apoyados sobre pilotes de 2.00 m.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Zavala y Vílchez. 2007. “Deslizamiento – flujo de detritos de Auyos y Asia, Pataz, Perú”, El deslizamiento y flujo de detritos fue un movimiento complejo, se desplazó a lo largo de la ladera media del cerro Tampash represando los Ríos: Buldibuyo y Toyos. Afectando áreas de cultivos, terrenos de pastizales y viviendas rurales, así como 6 Km. de la carretera que une Huaylillas y Buldibuyo.

2.1.3 Antecedentes Locales

Zabala y Rosado. 2011. “Riesgos geológicos de la ciudad de Cajamarca”, en el ámbito regional como parte de las cuencas medio-altas de la vertiente del pacífica, donde identifican las zonas con deslizamientos y otros eventos geodinámicos.

Mercado. 2014. Realiza un análisis de estabilidad de taludes de la carretera Encañada-Celendín, tramo km. 52+000-km 94+400”. En esta tesis se evalúa zonas críticas para la estabilidad de los taludes de esta carretera.

Montoya. 2011. “evaluación geotécnica de los taludes de la carretera Cruz Blanca – El Gavilán”, evalúa las zonas inestables de los taludes de la carretera y plantea formas de mejoramiento o estabilización. Concluyendo que el principal agente de erosión es la precipitación, favoreciendo con la cinemática de los macizos rocosos y las superficies de falla en suelos, mediante: la infiltración, geoestructuras, litología y orientación del talud, emplazadas en las Formaciones: Chimú, Santa, Farrat, Carhuaz, Inca, Chúlec, Pariatambo; Obteniendo factores de seguridad inestables en suelos y en rocas ocasionando rotura planares y cuñas.

Ocón. 2015. Realizo la “evaluación geotécnica de inestabilidad de taludes de la carretera Hualgayoc - Apan Alto”, definiendo que los flancos de la carretera son pendientes abruptas mayores a 70°, pertenecientes a rocas sedimentarias e ígneas y geoestructuras fuertemente disturbadas.

Obteniendo factores de seguridad menores a 1 considerándolos inestables en los seis tramos de interpretación en suelos y rocas, clasificándolos geodinámicamente de acuerdo a su peligrosidad como: zona de alta peligrosidad (deslizamientos, caídas de rocas y agrietamientos), zona de media peligrosidad (deslizamientos y caídas de rocas) y zona de baja peligrosidad (caídas de rocas)

2.2 BASES TEÓRICAS

- La mecánica de rocas se ocupa del estudio teórico y práctico de las propiedades geomecánicas y comportamiento mecánico de los materiales rocosos, y su respuesta ante la acción de fuerzas aplicadas en su entorno físico; iniciándose como consecuencia de la utilización del medio geológico en obras superficiales y subterráneas. La caracterización de las rocas y los macizos rocosos y el estudio del comportamiento mecánico y deformacional son complejos debido a la gran variabilidad de características y propiedades que presentan y el elevado número de factores que los condicionan.

2.2.1 Criterios Empíricos de Clasificación de Macizos Rocosos

Las clasificaciones de los macizos rocosos se basan en factores que determinan su comportamiento geomecánico como son: las propiedades de la matriz rocosa, frecuencia y tipo de las discontinuidades, que definen el grado de fracturación, el tamaño y la forma de los bloques del macizo además de sus propiedades hidrogeológicas, grado de meteorización o alteración, estado de tensiones in-situ y presencia de agua. Sin embargo, la mayoría de estos se basa en observaciones cualitativas y por ello se hace muy importante una interpretación correcta, y experta, de las observaciones en campo. Como tenemos: RQD, RMR y GSI.

2.2.1.1 Índice de Calidad de la Roca (RQD: Rock Quality Designation)

Para determinar el RQD en una línea de muestreo, se puede obtener el promedio del espaciado de las discontinuidades (número de discontinuidades dividida para

la longitud de la línea de muestreo), (Gavilanes & Andrade, 2004). Se calcula mediante la ecuación:

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

Dónde: λ = N° De Discontinuidades/Longitud

Tabla 2.1. Índice de la calidad de la roca RQD.

RQD (%)	CALIDAD DE LA ROCA
<25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	regular
75 – 90	Buena
90 – 100	Muy buena

Fuente: González de Vallejo, 2002.

2.2.1.2 Sistema de Valoración del Macizo Rocoso (RMR₈₉: Rock Mass Rating)

La clasificación geomecánica RMR₈₉ de Bieniawski, postulando actualizaciones en 1979 en el cual propone unos valores orientados para ambos parámetros en función de calidad del macizo rocoso dada por el índice RMR el cual permite estimar los parámetros de resistencia y deformabilidad del macizo y mejorado en 1989 constituyendo un sistema de clasificación de los macizos rocosos que permiten a su vez relacionar el índice de calidad con los parámetros geotécnicos del macizo.

Tabla 2.2. Parámetros de los valores para la clasificación RMR₈₉.

PARÁMETRO		RANGO DE VALORES							
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo carga puntual	> 10 MPa	10 – 4 MPa	4 – 2 MPa	2 – 1MPa			
		Compresión simple	> 250 MPa	250 – 100 MPa	100 – 50 MPa	50 – 25MPa	25 – 5 MPa	5 – 1 MPa	< 1 MPa
	VALOR	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD	90 – 100 %	75 – 90 %	50 – 75 %	25 – 50 %	< 25%			
	VALOR	20	17	13	8	3			
3	Espaciado de las discontinuad.	> 2 m	0.6 – 2 m	0.2 – 0.6 m	6 – 20 cm	< 6 cm			
	VALOR	20	15	10	8	5			
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinui.	< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10- 0 m	> 20 m		
		VALOR	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm	> 5 mm		
		VALOR	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		VALOR	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno Duro < 5 mm	Relleno Duro > 5 mm	Relleno Blando < 5 mm	Relleno Blando > 5 mm		
		VALOR	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
VALOR	6	5	3	1	0				
5	Flujo de agua en las discontinuidades.	Relación P agua / σ principal	0	0 – 0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	> 0.5		
		Condiciones generales	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
	VALOR	15	10	7	4	0			

Fuente: Bieniawski, 1989.

Tabla 2.3. Calidad del macizo rocoso en función al RMR_{89} .

CLASE	CALIDAD	VALORACION RMR
I	Muy buena	100-81
II	Buena	80-61
III	Media	61-41
IV	Mala	40-21
V	Muy mala	<20

Fuente: Bieniawski, 1989.

2.2.1.3 Índice de Resistencia Geológica (GSI: Geological Strength Index)










Propuso el Índice Geológico de Resistencia (GSI), para evaluar la calidad del macizo rocoso en función del grado y las características de la fracturación, estructura geológica, tamaño de bloques y alteración de las discontinuidades. El uso en el criterio de Hoek - Brown ha sido presentado en diversos artículos por Hoek (1994), Hoek et al. (1995) y Hoek - Brown (1997), asociado a macizos de roca dura y equivalente al sistema RMR. A partir de 1998 a la fecha se ha desarrollado el sistema GSI con el objetivo de incluir macizos rocosos de mala calidad (Hoek et al., 1998; Marinos y Hoek, 2000 y 2001). El GSI proporciona un sistema para estimar la disminución de la resistencia que presentaría un macizo rocoso con diferentes condiciones geológicas y se obtiene de la combinación de 2 parámetros geológicos fundamentales, la estructura del macizo rocoso y la condición de las discontinuidades.

González de Vallejo; (2002), menciona que el GSI se basa en estimaciones cualitativas, y en modelos simples, que rara vez coinciden con las condiciones reales y que las observaciones debían ser realizadas por geólogos o Ingenieros geólogos cuantificadores. Por consiguiente, Hoek et al. (2013), presentan una "Cuantificación de la tabla GSI sobre la base de dos parámetros bien establecidos, las condiciones de las discontinuidades y el RQD".

$$GSI = RMR_{89} - 5$$

Ecuación 1

Tabla 2.4. GSI para macizos rocosos homogéneos.

<p>INDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA PARA ROCAS FRACTURADAS (HOEK y MARINOS. 2000)</p> <p>Estimar el valor promedio del GSI para la litología, estructura y condiciones superficiales de las discontinuidades. No intentar ser muy preciso. Citar un rango de 33 a 37 es más realístico que un GSI de 35. Note que las tablas no se aplican a las fracturas estructuralmente controladas. Cuando los planos estructurales débiles están en una orientación desfavorable con respecto de la cara excavada, éstas dominarán el comportamiento de todo macizo rocoso. La resistencia de cizalla de las superficies de las rocas es propensa a deteriorarse como el resultado de cambios en el contenido de humedad, se reducirá si hay presencia de agua. Cuando se trabaja con rocas en las categorías de débil a muy débil, se deberían hacer un desplazamiento hacia la derecha. La presión del agua es tratada con análisis de esfuerzos efectivos.</p>		<p>CONDICIONES DE DISCONTINUIDAD</p> <p>MUY BUENA Superficies muy rugosas, inalteradas y frescas.</p> <p>BUENA Superficies muy rugosas, ligeramente meteorizadas, con patinas y óxido de hierro</p> <p>REGULAR Superficies lisas, moderadamente meteorizadas y/o alteradas.</p> <p>MALA Superficies lisas y cizalladas, altamente meteorizadas y/o alteradas, con recubrimiento compacto o rellenos de fragmentos angulares.</p> <p>MUY MALA Superficies lisas y cizalladas, altamente meteorizadas con revestimiento o relleno de arcilla blanda.</p>	
<p>ESTRUCTURAS</p>		<p>DISMINUCIÓN DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL</p>	
<p>DISMINUYE LA TRABAZON DE LAS PIEZAS DE ROCA</p>		<p>DISMINUCIÓN DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL</p>	
	<p>NTACTA O MASIVA. Espécimen de roca intacta o roca in-situ masiva con pocas discontinuidades ampliamente espaciadas.</p>	90	N/A N/A
	<p>BLOCOSA. Macizo rocoso inalterado bien trabado, definido por bloques cúbicos formados por 3 familias de discontinuidades.</p>	80	70
	<p>MUY BLOCOSA. Macizo rocoso trabado, parcialmente perturbado, definido por bloques angulares de varias caras formado por 4 o más familias de discontinuidades.</p>	70	60
	<p>BLOCOSA/PERTURBADA/DEFORMADA. Plegada, bloques angulares de muchas familias de discontinuidades, persistencia de los planos de estratificación o esquistosidad.</p>	60	50
	<p>DESINTEGRADA. Pobremente trabada, macizo rocoso muy fracturado con mezcla de fragmentos de roca angulares y redondeados.</p>	50	40
	<p>LAMINADA/CIZALLADA. Ausencia de blocosidad debido a espacidos cercanos de débil esquistosidad o planos de cizalla.</p>	40	30
	<p>LAMINADA/CIZALLADA. Ausencia de blocosidad debido a espacidos cercanos de débil esquistosidad o planos de cizalla.</p>	30	20
	<p>LAMINADA/CIZALLADA. Ausencia de blocosidad debido a espacidos cercanos de débil esquistosidad o planos de cizalla.</p>	20	10
	<p>LAMINADA/CIZALLADA. Ausencia de blocosidad debido a espacidos cercanos de débil esquistosidad o planos de cizalla.</p>	10	N/A

Fuente: Hoek y Marinos, 2000.

2.2.2 Criterios de Rotura para Macizos Anisótropos

2.2.2.1 Criterio De Hoek – Brown Generalizado.

Tiene en cuenta los factores que determinan la rotura, Hoek también introdujo el concepto de criterio de Hoek-Brown Generalizado en el que la forma de la curva de la tensión principal o la envolvente de Mohr podría ajustarse por medio de un coeficiente variable, **a**, en lugar del término de la raíz cuadrada.

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

Ecuación 2

Donde **m_b** es un valor reducido de la constante del material **m_i** y está dado por:

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

Ecuación 3

s y a son constantes del macizo rocoso dadas por las siguientes relaciones:

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

Ecuación 4

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

Ecuación 5

D es un factor que depende sobre todo del grado de alteración al que ha sido sometido el macizo rocoso por los efectos de las voladuras o por la relajación de esfuerzos.

2.2.2.2 Criterio de Mohr - Coulomb

El criterio de rotura de Mohr - Coulomb, es necesario determinar los ángulos de fricción y las resistencias cohesivas para cada macizo rocoso e intervalo de esfuerzos. Esto se hace ajustando una relación lineal media a la curva generada a partir de la ecuación 1 para un intervalo de esfuerzo principal menor definido por: $\sigma_1 < \sigma_3 < \sigma'_{3max}$, tal como se ilustra en la Figura 2.1. El proceso de ajuste supone equilibrar las áreas por encima y por debajo de la curva de Mohr-Coulomb. Esto da lugar a las siguientes ecuaciones para el ángulo de fricción ϕ' y la resistencia cohesiva c' :

$$\phi' = \sin^{-1} \left[\frac{6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}} \right] \quad \text{Ecuación 6}$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci}[(1+2a)s + (1-a)m_b\sigma'_{3n}](s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a)\sqrt{1 + [6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}]/(1+a)(2+a)}} \quad \text{Ecuación 7}$$

Siendo: $\sigma'_{3n} = \sigma'_{3max} / \sigma_{ci}$

La resistencia al corte de Mohr - Coulomb (τ), para un esfuerzo normal dado σ' , se encuentra sustituyendo estos valores de c y ϕ en la ecuación.

$$\tau = c' + \sigma' \tan \phi'$$

La gráfica equivalente, en términos de esfuerzos principales menor y mayor (Figura 2.1), está dada por la expresión.

$$\sigma'_1 = \frac{2c' \cos \phi'}{1 - \sin \phi'} + \frac{1 + \sin \phi'}{1 - \sin \phi'} \sigma'_3$$

El concepto de resistencia del macizo rocoso global (σ_{cm}) fue introducido por Hoek & Brown (1994), estimándolo a partir de la relación de Mohr – Coulomb.

$$\sigma'_{cm} = \frac{2c' \cos \phi'}{1 - \sin \phi'}$$

Para la estimación del parámetro σ_{3max} en estudios de taludes, Hoek et al. (2002) establecieron la siguiente relación.

$$\frac{\sigma'_{3max}}{\sigma'_{cm}} = 0.72 \left(\frac{\sigma'_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0.91}$$

Donde γ es peso unitario del macizo rocoso y H la altura del talud.

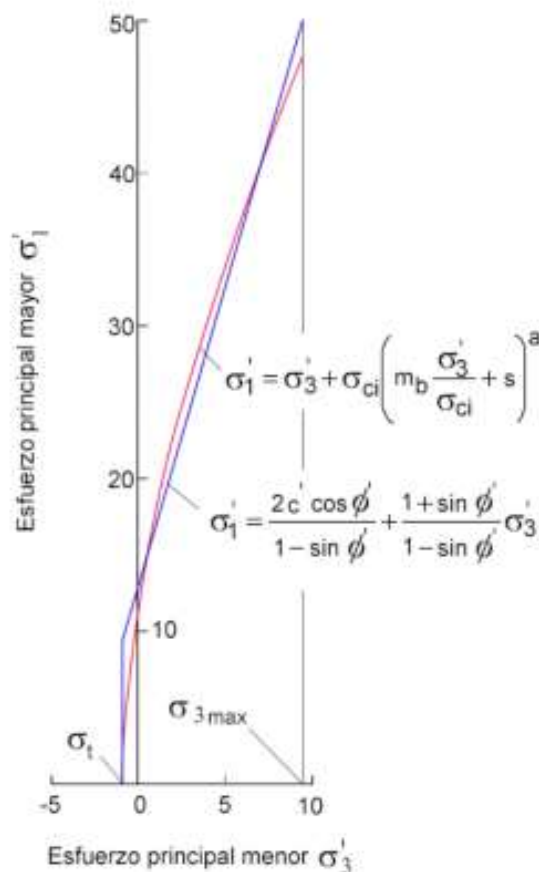



Figura 2.1. Relaciones entre el esfuerzo principal: mayor y menor, para el criterio de Hoek-Brown y el equivalente de Mohr-Coulomb. (Hoek et al., 2002).

Hoek (1990), trato la desviación de las resistencias cohesivas y de los ángulos de fricción equivalentes para diferentes situaciones prácticas. Estas deducciones se basaron en las tangentes a la envolvente de Mohr obtenida por Bray. Hoek (1994) sugirió que la resistencia cohesiva determinada al ajustar una tangente a la envolvente curvilínea de Mohr es un valor sobredimensionado y pueden dar unos resultados.

Tabla 2.5. Guías para la estimación del factor de alteración del criterio de rotura de Hoek y Brown.

Apariencia del Macizo Rocosó	Descripción del Macizo Rocosó	Valor D Sugerido
	Excelente calidad de voladura controlada o excavación con tuneladora TBM, con resultados de alteración mínima del macizo rocoso confinado circundante al túnel.	D=0
	Excavación mecánica o manual en macizos rocosos de mala calidad (sin voladuras) con una alteración mínima en el macizo circundante. Cuando aparezcan problemas de deformación en el piso durante el avance. La alteración puede ser severa a menos que se coloquen una contrabóveda temporal, tal como se muestra en la figura.	D=0 D=0.5 No invert
	Voladura de muy mala calidad en un túnel en roca competente con daños locales severos, extendiéndose 2 o 3 metros en el macizo rocoso circundante.	D=0.8
	Pequeñas voladuras en taludes de ingeniería civil y geotécnica dan lugar a pequeños daños al macizo rocoso, particularmente si se usan voladuras de contorno como se muestra en el lado izquierdo de la fotografía. Sin embargo, la alteración de tensión resulta en alguna alteración.	D=0.7 Good blasting D=1.0 Poor blasting
	Los taludes en las grandes minas a cielo abierto sufren alteraciones significativas debido a las grandes voladuras de producción y también debido a la relajación de tensiones al resistir el estéril de recubrimiento En algunas rocas blandas la excavación puede llevarse a cabo mediante el ripado y empuje con tractores de orugas y el grado de afección a los taludes será menor.	D=1.0 Production blasting D=0.7 Mechanical excavation

Fuente: Hoek et al., 2002

2.2.3 Análisis de Taludes

Los análisis de estabilidad se aplican al diseño de taludes o cuando estos presentan problemas de inestabilidad. Se debe elegir el coeficiente de seguridad adecuado, dependiendo de la finalidad de la excavación y del carácter temporal o definitivo del talud, combinando los aspectos de seguridad, costes de ejecución, consecuencias o riesgos que podría causar la rotura, etc. (González de Vallejo, 2002).

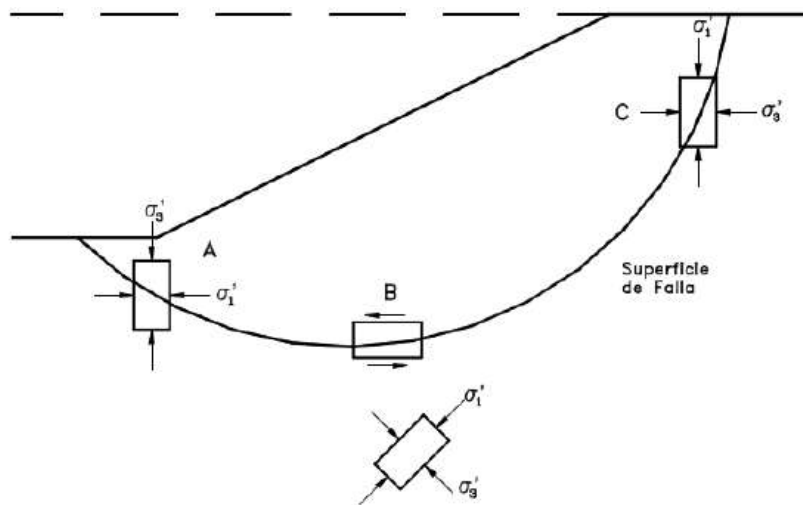


Figura 2.2. Dirección de esfuerzos principales en la falla de un talud.
Fuente: Lambe & Whitman, 1972.

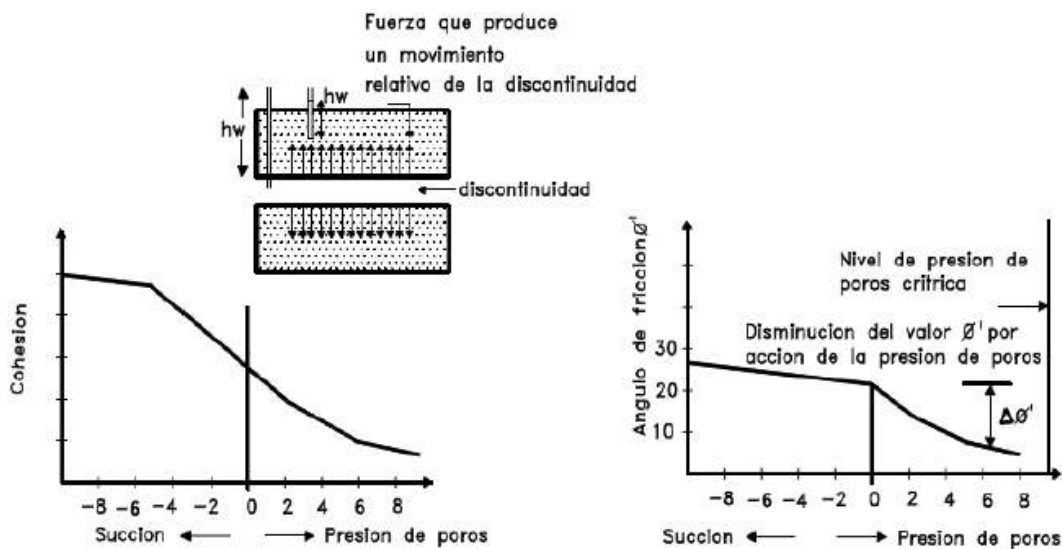


Figura 2.3. Variación de la cohesión y ángulo de fricción en una discontinuidad por el aumento de humedad y presión de poros. Fuente: Suarez, 2007.

La distribución de estas tensiones en un talud se asocia al tipo de movimiento que experimenta ésta a lo largo de la superficie de cizalle. La Figura 2.2 muestra las diferentes condiciones de stress a las que es sometido un elemento de roca y/o suelo en un talud.

El efecto de la humedad sobre este valor es solamente de uno o dos grados (Lambe y Whitman, 1972), sin embargo, puede influir fuertemente sobre valores de cohesión otorgándole al suelo una cohesión que podría llamarse “aparente”, sobre todo si el suelo se encuentra en condiciones de humedad óptima, donde éste alcanza su densidad seca máxima.

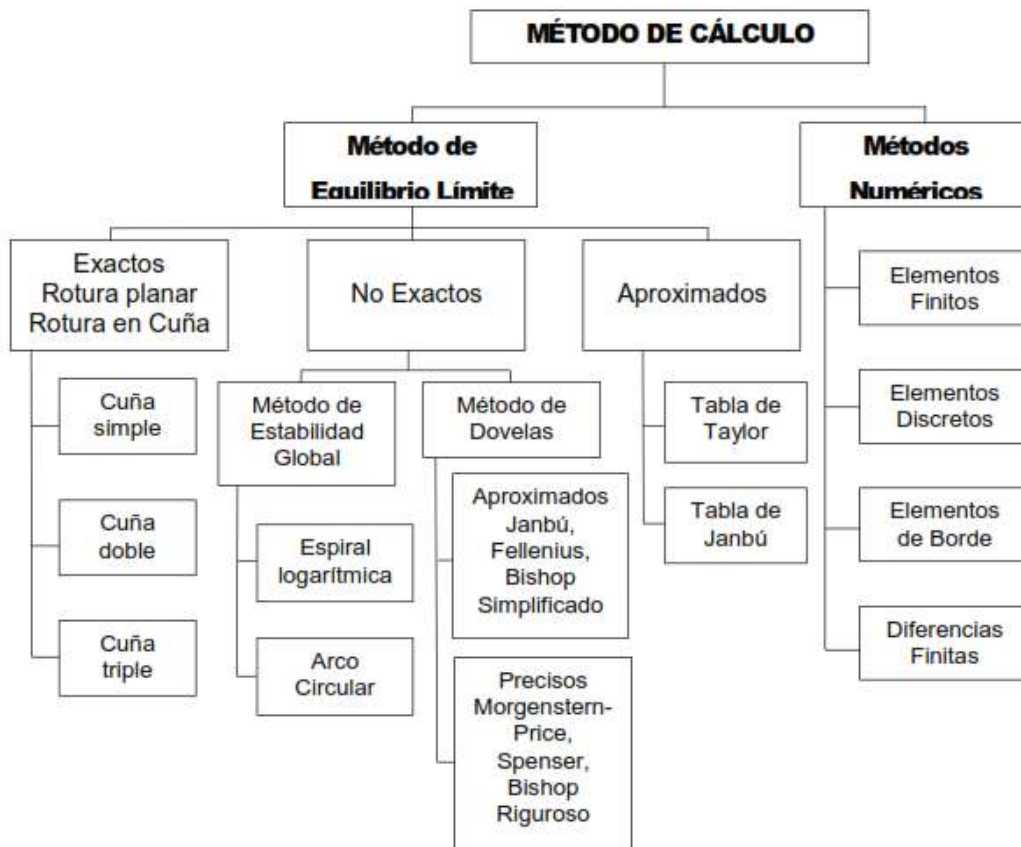


Figura 2.4. Métodos de análisis de estabilidad de taludes. Fuente: Suarez, 2007.

2.2.3.1 Métodos del Equilibrio Límite

Los métodos de equilibrio límite analizan el equilibrio de una masa potencialmente inestable, y consisten en comparar las fuerzas tendentes al movimiento con las fuerzas resistentes que se oponen al mismo a lo largo de una determinada superficie de rotura. Se basan en:

La selección de una superficie teórica de rotura en el talud.

- El criterio de rotura de Mohr-Coulomb.
- La definición de coeficiente de seguridad.

Los problemas de estabilidad son estáticamente indeterminados, y para su resolución es preciso considerar una serie de hipótesis de partida diferentes según los métodos. Así mismo se asumen las siguientes condiciones:

- La superficie de rotura debe ser postulada con una geometría tal que permita que ocurra el deslizamiento, es decir, será una superficie cinemáticamente posible.
- La distribución de las fuerzas actuando en la superficie de rotura podrá ser computada utilizando datos conocidos como peso específico del material, presión de agua, etc.).
- La resistencia se moviliza simultáneamente a lo largo de todo el plano de rotura.

Estas condiciones se establecen las ecuaciones del equilibrio entre las fuerzas que inducen el deslizamiento y las resistentes. Los análisis proporcionan el valor del coeficiente de seguridad del talud para la superficie analizada, referido al equilibrio estricto o límite entre las fuerzas que actúan. Es decir, el coeficiente F por el que deben dividirse las fuerzas tangenciales resistentes (o multiplicarse las fuerzas de corte desestabilizadoras) para alcanzar el equilibrio estricto (González de vallejo 2002).

Tabla 2.6. Métodos para analizar estabilidad de taludes.

Método	Superficies de Falla	Equilibrio	Características
Ordinario o de Fellenius (Fellenius1927)	Circulares	De Fuerzas	No tienen en cuenta las fuerzas entre las dovelas y no satisfacen equilibrio de fuerzas, tanto para la masa deslizante como para las dovelas individuales, los factores de seguridad son bajos
Bishop Simplificado Bishop 1955	Circulares	De momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante entre dovelas son cero. Reduciendo en número de incógnitas
Janbú Simplificado (Janbú 1968)	Cualquier forma de superficie de falla	De Fuerzas	Al igual que Bishop asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas. Los factores de seguridad son bajos.
Sueco Modificado U.S Army Corpus of Engineers 1970	Cualquier forma de superficie de falla	De Fuerzas	Asume que todas las fuerzas tienen la misma dirección que la superficie del terreno. Los factores
Lowe y Karafiath 1960	Cualquier forma de superficie de falla	De Fuerzas	Se considera el más preciso de los métodos de equilibrio de fuerzas.
Spencer 1967	Cualquier forma de superficie de falla	Momentos y Fuerzas	Establece el equilibrio estático asumiendo que la fuerza resultante entre tajadas tiene una inclinación constante pero desconocida
Morgenstern Price 1965	Cualquier forma de superficie de falla	Momentos y Fuerzas	El método es similar al método Spencer con la diferencia que la inclinación de la resultante de las fuerzas entre dovelas se asume que varía de acuerdo a una función arbitraria.
Sarma 1973	Cualquier forma de superficie de falla	Momentos y Fuerzas	Permite desarrollar una relación entre el coeficiente sísmico y el factor de seguridad
Elementos Finitos	Cualquier forma de superficie de falla	Analiza esfuerzos y deformaciones	Satisface todas las condiciones de esfuerzo. Se obtienen esfuerzos y deformaciones en los nodos de elementos, pero no se obtiene un factor de seguridad.
Espiral Logaritmica	Espiral Logaritmica	Momentos y Fuerzas	Existen diferentes métodos con diversas condiciones de equilibrio

Fuente: Suarez, 2007.

2.2.3.2 Superficies de Deslizamiento en Suelo

Las roturas de taludes en suelos se generan a favor de un único plano paralelo al talud son prácticamente inexistentes, aunque este modelo puede ser válido en el caso de laderas naturales con recubrimientos de suelos sobre rocas. Rompiéndose generalmente a favor de las superficies curvas, como forma diversa condicionada por la morfología y estratigrafía del talud. Puede ser aproximadamente circular (la más frecuente), con su extremo interior en el pie del talud, (deslizamiento de pie), cuando este está formado por terreno homogéneo o por varios estratos de propiedades geotécnicas homogéneas. Si se dan determinadas condiciones en el talud, como la existencia de estratos o capas de diferente competencia, puede tener lugar a la rotura a favor de una superficie plana o de superficie poligonal formando así varios tramos planos.

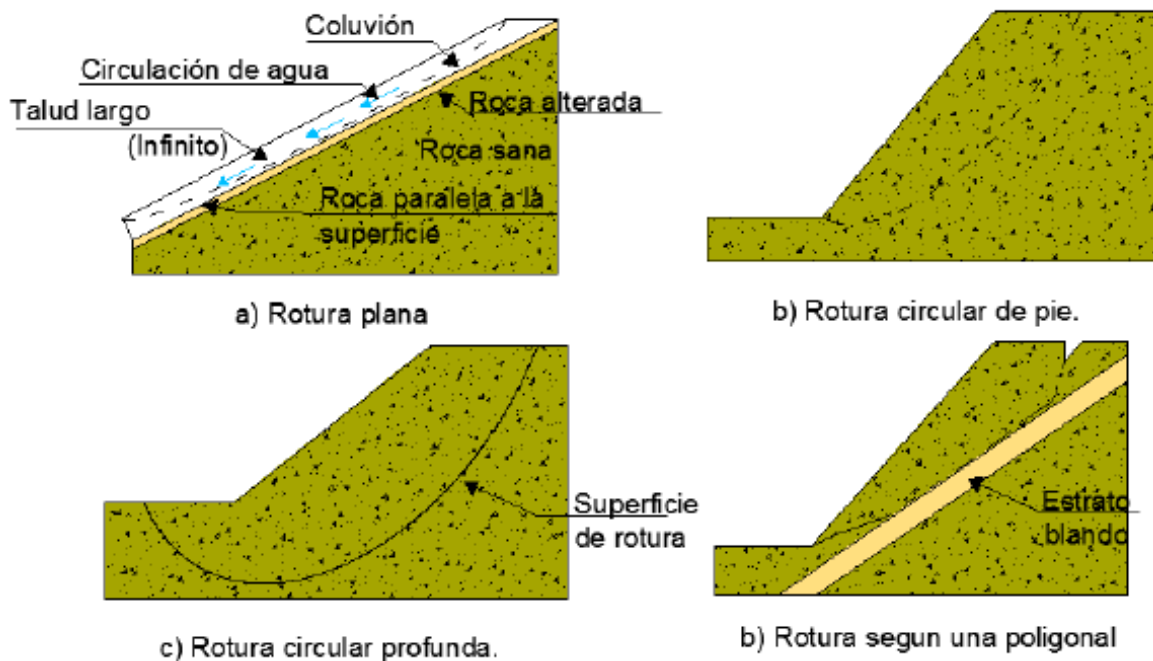


Figura 2.5. Tipos de superficies de rotura en suelos.

Fuente: González de Vallejo, 2002.

2.2.4 Factores Geológicos y Problemas Geotécnicos

La diversidad de medio geológico y la complejidad de sus procesos hacen que en las obras de Ingeniería se deban resolver situaciones donde los factores geológicos son condicionantes de un proyecto. Las Tablas. 2.7 y 2.8, se presentan las posibles influencias de la litología y la estructura geológica sobre el comportamiento geotécnico de los materiales rocosos y suelos, mientras que en la Tabla 2.8, se indica como el agua y los materiales son afectados por los diferentes procesos geológicos, dando lugar a problemas geotécnicos, como:

- Los factores geológicos son la causa de la mayoría de los problemas Geotécnicos.
- El agua es uno de los factores de mayor incidencia en el comportamiento geotécnico de los materiales.
- Los procesos geológicos pueden modificar el comportamiento de los materiales, incidiendo sobre el medio físico, y ocasionar problemas geotécnicos.

Tabla 2.7. Influencia de la litología en el comportamiento geotécnico del terreno.

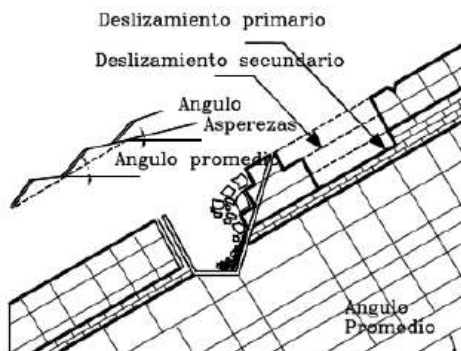
Litología	Factores característica	Problemas geotécnicos
Rocas duras	-Minerales duros y abrasivos	-Abrasividad -Dificultad de arranque
Rocas blandas	-Resistencia media a baja -Minerales alterables	-Roturas en taludes -Deformabilidad en túneles -Cambio de propiedades con el tiempo
Suelos duros	-Resistencia media a alta	-Problemas en cimentaciones con arcillas expansivas y estructuras colapsables
Suelos blandos	-Resistencia baja a muy baja	-Asientos en cimentaciones- Roturas en taludes
Suelos orgánicos y Biogénicos	-Alta compresibilidad -Estructuras inestables	-Subsidencia y colapsos

Fuente: González de Vallejo, 2002.

2.2.4.1 Roturas En Rocas

Los diferentes tipos de roturas están condicionados por el grado de fracturación del macizo rocoso y por la orientación y distribución de las discontinuidades con respecto al talud, quedando la estabilidad definida por los parámetros resistentes de las discontinuidades y de la matriz rocosa. Como se presentan en los macizos duros o resistentes, las discontinuidades determinan la situación de los planos de rotura. Presentándose los modelos de rotura más frecuentes como: planares y cuneiforme.

A. Buzamiento en la dirección del talud.



B. Buzamiento en la dirección contra al talud.

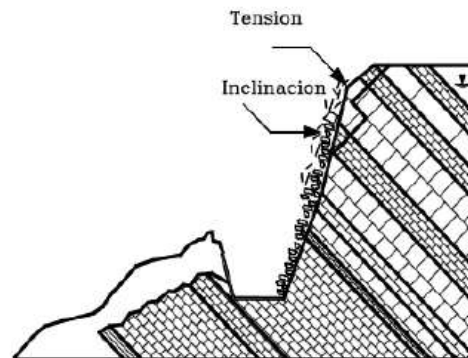


Figura 2.6. Efectos de las discontinuidades en la falla de los taludes.
Fuente: Suarez, 2007.

- **Rotura Planar**

Se entiende por rotura planar, como aquella en el que el deslizamiento se produce a de una única superficie plana. Siendo la más sencilla de las formas de rotura posibles se produce cuando existe una fracturación dominante en la roca y convenientemente orientada respecto al talud. La representación semiesférica en la red de Schmidt de esta condición se observa en la Figura 2.7, se prevé el deslizamiento cuando el rumbo de la familia de discontinuidades es similar al del talud y su buzamiento menor que este.

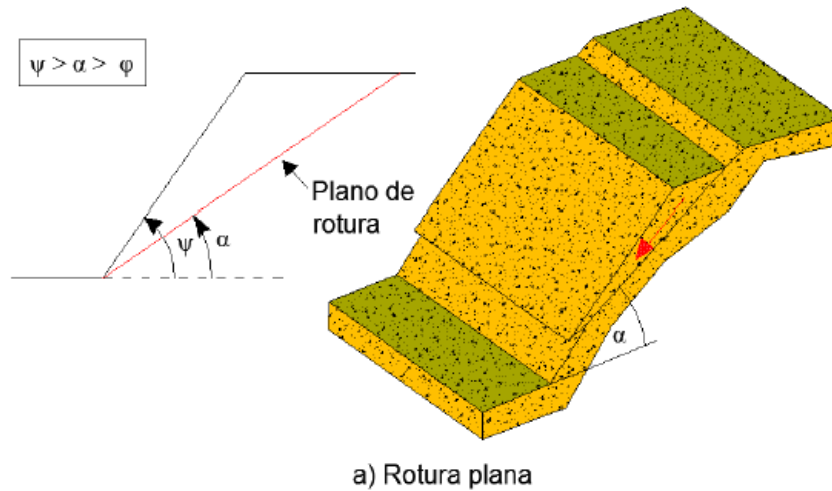


Figura 2.7. Ruptura plana. Fuente: González de Vallejo, 2002.

- **Rotura en Cuña**

Corresponde al deslizamiento de un bloque en forma de cuña, formado por dos planos de discontinuidad, a favor de su línea de intersección. Para que se produzca este tipo de rotura, los dos planos deben aflorar en la superficie del talud, y deben cumplir iguales condiciones que para la rotura plana, siendo el buzamiento la línea de intersección; suele presentarse en macizos con varias familias de discontinuidades, cuya orientación, espaciado y continuidad determinan la forma y volumen de la cuña.

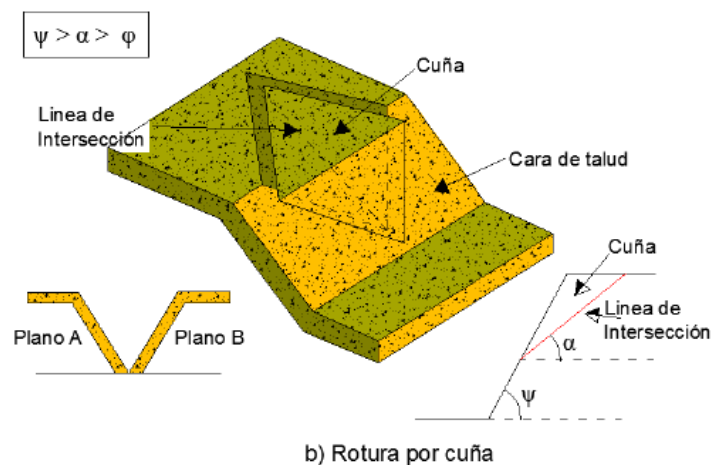


Figura 2.8. Condiciones para la rotura en cuña. Fuente: González de Vallejo, 2002.

2.2.5 Geodinámica

Esta clasificación de remoción de masas más aceptada y aplicada a nivel internacional está basada por: Hauser, 1993, 2000; Cruden, Varnes, Hutchinson 1996, Collins 2004 y Corominas, 2007, elaborando una diferenciación entre el tipo de movimiento y los materiales involucrados. Dividiendo los movimientos en masa en dos tipos: caída, deslizamiento. Además, dividiendo a los materiales en dos clases: rocas y suelos, estos últimos subdivididos en detritos y tierra.

2.2.5.1 Deslizamiento

Son movimientos ladera abajo de una masa de suelo, detritos o roca, la cual ocurre sobre una superficie reconocible de ruptura. Este movimiento no ocurre a lo largo de toda la superficie de ruptura simultáneamente, sino más bien comienza en zonas donde se generan fallas locales, a menudo evidenciadas por grietas de tensión en la superficie original a lo largo de la cual se formará el escarpe principal del deslizamiento.

El inicio de estos desplazamientos se produce cuando el esfuerzo de cizalle supera el valor del esfuerzo normal y la resistencia del suelo en dicha superficie. Cuanto mayor sea la pendiente mayor es la componente de cizalle y los deslizamientos serán más frecuentes (Hauser, 1993). Los movimientos pueden involucrar una masa individual desplazada a lo largo de una única superficie de ruptura o bien dos o más masas desplazadas a lo largo de más de una superficie, en tales casos el movimiento es catalogado como „simple“ o „múltiple“ respectivamente (Hutchinson, 1968); y si un movimiento múltiple ocurre durante un periodo de tiempo se denominará movimiento “sucesivo” (Hutchinson, 1968).

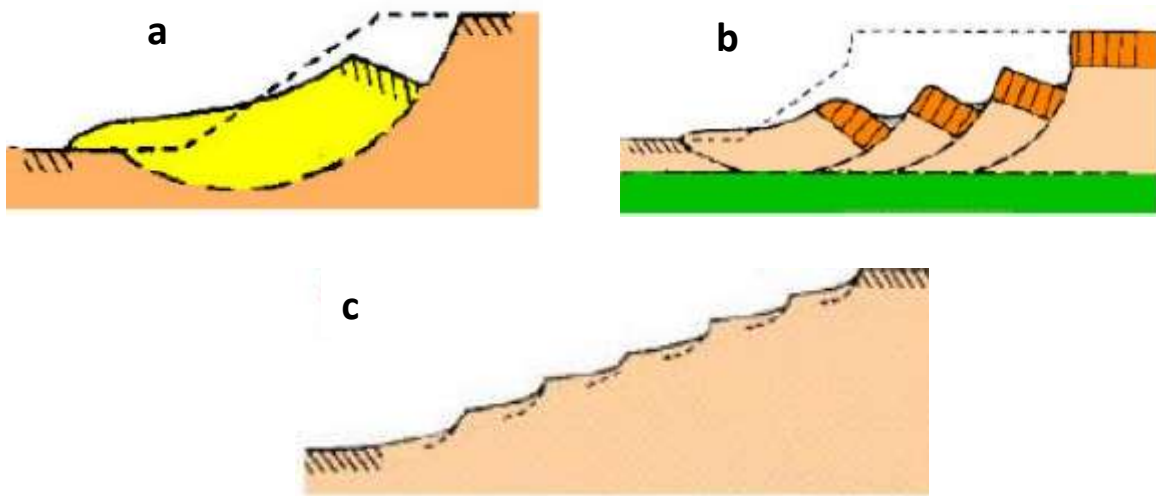


Figura 2.9. a) Movimiento simple, b) Movimiento múltiple, c) Movimiento sucesivo.
Fuente: Hutchinson, 1968.

Los deslizamientos, por otro lado, pueden clasificarse según la superficie de ruptura generada, lo cual está directamente condicionado por el tipo de material involucrado en el movimiento. En esta categoría se encuentran los deslizamientos rotacionales y los deslizamientos traslacionales, que son descritos a continuación. La superficie de ruptura define el tipo de deslizamiento, por lo que las superficies curvas, cóncavas o en forma de cuchara se asocian a deslizamientos rotacionales; las superficies de ruptura semiplanas u onduladas a los deslizamientos traslacionales y las superficies planas a los deslizamientos planos. Los deslizamientos planos se clasifican en deslizamientos de rocas, deslizamiento de derrubios y las coladas de barro (Coraminas, 2007).

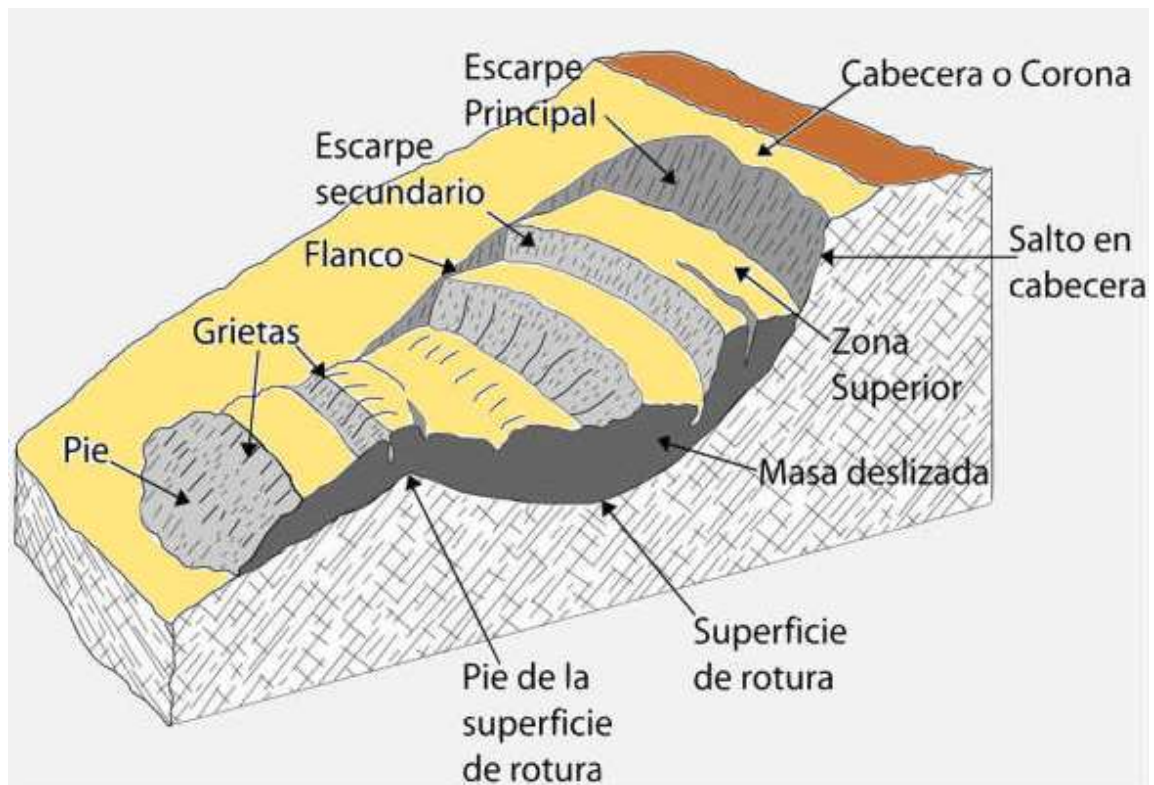


Figura 2.10. Esquema de un deslizamiento rotacional y partes del mismo (Modificado de Varnes. 1988).

- **Deslizamiento Traslacional**

Se genera una superficie de cizalle aproximadamente plana, donde la masa deslizará por una superficie menos resistente que corresponderá a discontinuidades presentes ya sea en la roca o el suelo, como fallas, diaclasas, superficies de estratificación o superficies de contacto entre roca y suelo. Este tipo de deslizamiento es en general más superficial que los rotacionales, además mientras la rotación de estos últimos tiende a estabilizar la masa desplazada, el deslizamiento traslacional puede continuar si la superficie de ruptura se mantiene lo suficientemente inclinada (Cruden y Varnes 1996). A medida que el deslizamiento traslacional continúa, y si la velocidad de éste o su contenido de agua aumentan, el desplazamiento podría tomar una forma más parecida a un flujo de detritos. Entre los principales tipos de deslizamientos traslacionales figuran los deslizamientos en bloque. Estos pueden estar limitados por una sola estructura mayor, también llamados deslizamientos planos.



Figura 2.11. Clasificación general de los movimientos de ladera.
Fuente: González de Vallejo, 2002.

- **Deslizamiento Rotacional**

Este tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava; presentando una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y un contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento. Pueden ocurrir lenta a rápidamente, con velocidades menores a 1m/s. Estos movimientos ocurren en materiales homogéneos, por lo cual tienen gran incidencia sobre rellenos. Sin embargo, los materiales naturales no son idealmente uniformes, por esto los movimientos en laderas se orientan, al menos parcialmente, por las discontinuidades y zonas de debilidad que estos presentan. La generación de este tipo de remoción está asociada a pendientes que varían entre 20° y 40° (Soeters & Westen, 1996).

El escarpe principal generado por un deslizamiento rotacional Figura 2.12, es cercanamente vertical e inestable, en consecuencia, pequeños movimientos podrán generar la retrogresión del deslizamiento. A esto se suman los pequeños deslizamientos que se podrán generar en las paredes de la superficie cóncava de ruptura, dada su inestabilidad. El nivel de agua no suele presentarse a mucha profundidad y podrá drenarse de tal manera de mantener húmeda la superficie y la zona del escarpe, generando potenciales deslizamientos en la cabecera una vez que el escarpe ha alcanzado pendientes suficientes. La vegetación en materiales deslizados se observa caótica y perturbada, y la ausencia de cultivos o diferencias en el uso del suelo con respecto a zonas aledañas hablan de la actividad de los movimientos (Soeters Westen, 1996).

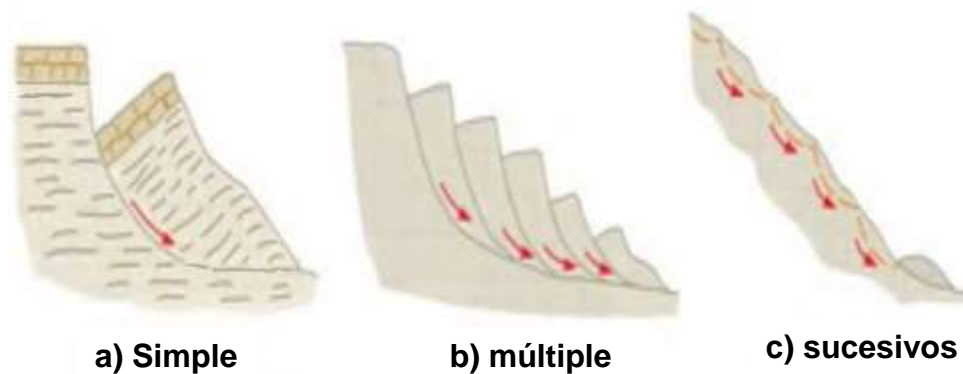


Figura 2.12. Tipos de deslizamientos rotacionales. Fuente: González de Vallejo, 2002.

2.2.6 Métodos de Estabilización.

2.2.6.1 Modificación de la Geometría

Mediante la modificación de la geometría de los taludes se redistribuyen las fuerzas debidas al peso de los materiales, obteniéndose una nueva configuración más estable. Las actuaciones más frecuentes son (Figura 2.13):

- Disminuir la inclinación del talud.
- Eliminar peso de la cabecera del talud («descabezamiento»).
- Incrementar el peso en el pie del talud («tacones» o escolleras).
- Construir bancos y bermas (escalonar el talud).

La excavación de la cabecera del talud elimina peso de esta zona, reduciendo las fuerzas desestabilizadoras. La disminución del ángulo general del talud y la retirada de peso en su cabecera no siempre pueden llevarse a cabo por las dificultades de acceso a la parte superior del talud, los grandes volúmenes que a veces es necesario mover para que las medidas sean efectivas, el problema ambiental que supone el vertido del material excavado, las expropiaciones en la zona de cabecera del talud, la presencia de instalaciones que impidan esta solución, etc. Por ello los cambios de geometría consisten, principalmente, en aumentar el peso en el pie del talud, aunque esta solución implica ocupar mayor espacio en la base del talud, donde el espacio disponible suele ser escaso. La construcción de «tacones» aumenta las tensiones normales sobre la superficie de rotura, mejorando la estabilidad. Es recomendable que el relleno aplicado en el pie del talud sea de material drenante o, en su caso, construir un sistema de drenaje adecuado; en caso contrario su efecto estabilizador puede verse anulado por una acumulación de agua en la zona de pie del talud (González de Vallejo, 2002).

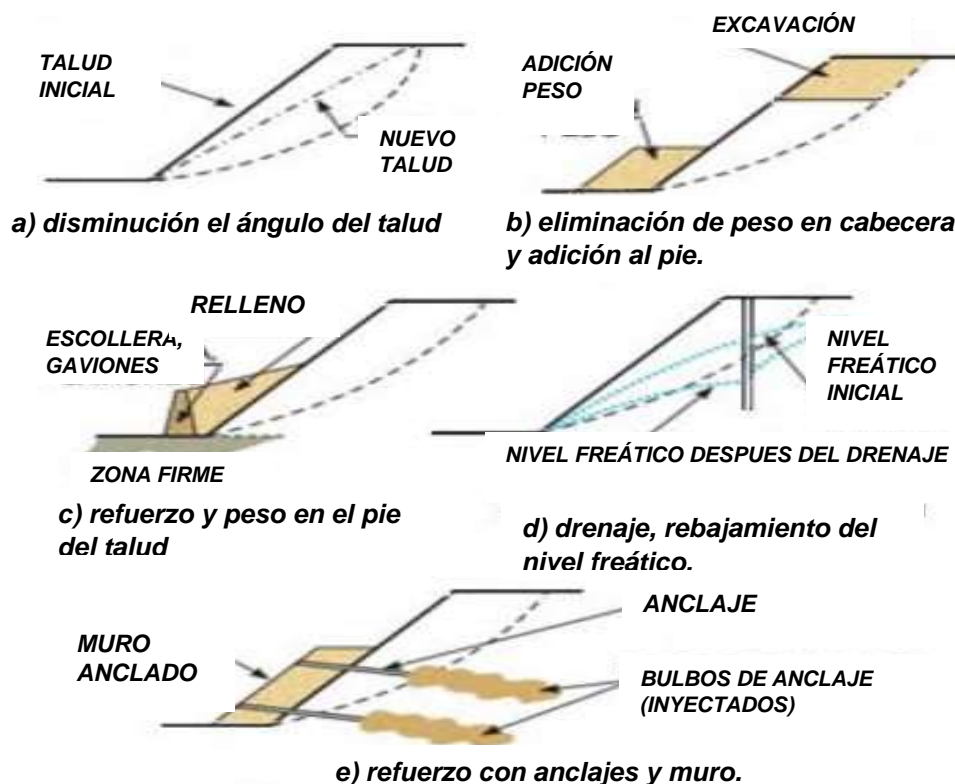


Figura 2.13. Métodos para aumentar el coeficiente de seguridad de taludes en suelos.
Fuente: González de Vallejo, 2002.

Esta medida es aplicable, sobre todo, a taludes en suelos y puede efectuarse en combinación con excavaciones en cabecera. Si el terreno en el pie del talud es resistente y la inestabilidad no es profunda, puede recurrirse a la construcción de un muro, bien cimentado, al pie del talud (a veces incluso recortando un poco éste), cuyo trasdós (espacio entre el muro y el terreno) puede rellenarse de forma que se aporte un peso adicional en esta zona; este relleno, además, puede proteger al terreno natural de las acciones ambientales. La Figura 2.14 muestra un ejemplo de aumento de peso en el pie de un talud en arcillas y arenas mediante la construcción de un muro dren (en este caso un muro de gaviones) apoyado sobre un terreno resistente, que permitió colocar un relleno impermeable sobre gran parte de la superficie del talud. Con ello se consiguió, además, evitar la desecación de las arcillas expansivas que aparecían en la mitad inferior del talud (con problemas de inestabilidad por la fisuración que sufrían al perder humedad). El empleo de escolleras al pie de taludes deslizados para aportar peso, permitir el drenaje y reforzar el conjunto es una solución frecuente y rápida de ejecutar (realmente es una sustitución del terreno), muy utilizada en el caso de inestabilidades superficiales en materiales arcillosos (Figura 2.14).

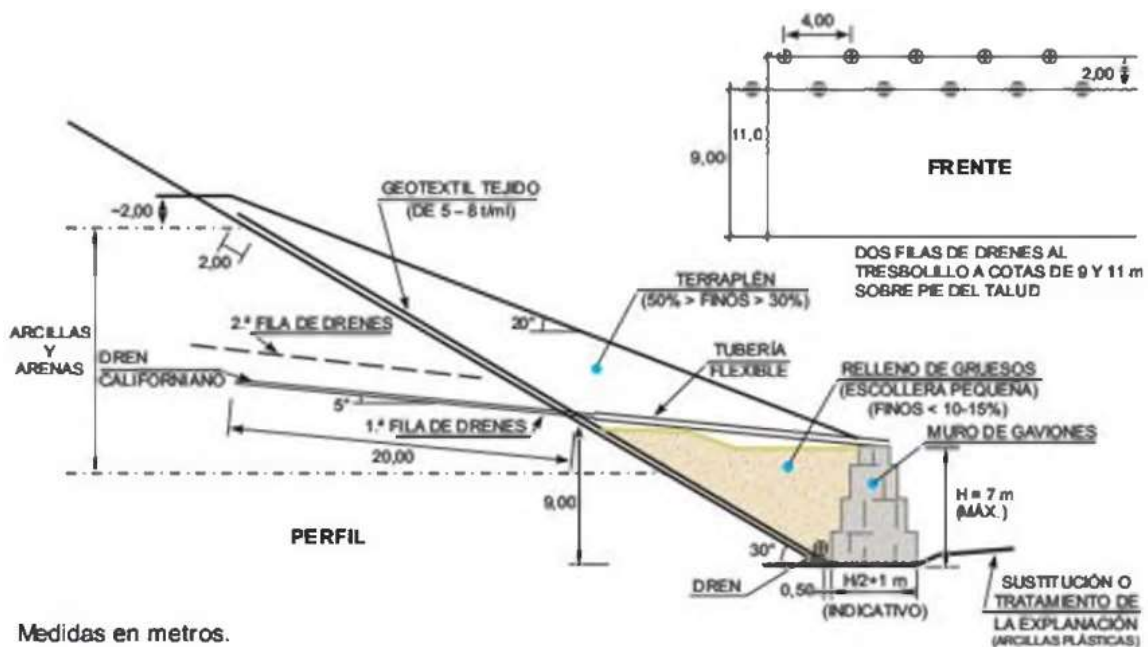


Figura 2.14. Estabilización de talud mediante muro de pie. Relleno y drenes californianos. Autovía de Levante, variante Perales de Tajuña. Madrid (Oteo. 1995).

Esta medida suele decidirse antes de la excavación del talud; además las bermas sirven para retener bloques que se desprendan y roturas locales del talud, para instalación de medidas de drenaje y accesos para las obras de saneamiento y control del talud.



Figura 2.15. Estabilización de un talud mediante escollera.
Fuente: González de Vallejo, 2002.

2.2.6.2 Medidas de Drenaje

Las medidas de drenaje tienen por finalidad eliminar o disminuir el agua presente en el talud y, por tanto, las presiones intersticiales que actúan como factor desestabilizador en las superficies de rotura y grietas de tracción. Además, el agua reduce las propiedades resistentes en determinados tipos de materiales.

Estas medidas son, generalmente, las más efectivas, ya que el agua es el principal agente que desencadena los problemas de inestabilidad de taludes, aumentando el peso de la masa inestable, elevando el nivel freático y las presiones intersticiales, creando empujes hidrostáticos, reblandeciendo el terreno, erosionando el pie del talud, etc.

Los drenajes superficiales evitan que las aguas de escorrentía se infiltren en el talud o penetren a favor de discontinuidades y grietas, dando lugar a la elevación del nivel freático, a la aparición de presiones intersticiales y la saturación en los suelos. Evitan, asimismo, los efectos erosivos de las aguas de escorrentía y el lavado de discontinuidades en macizos rocosos. Este tipo de medidas, más que estabilizadoras, son preventivas.

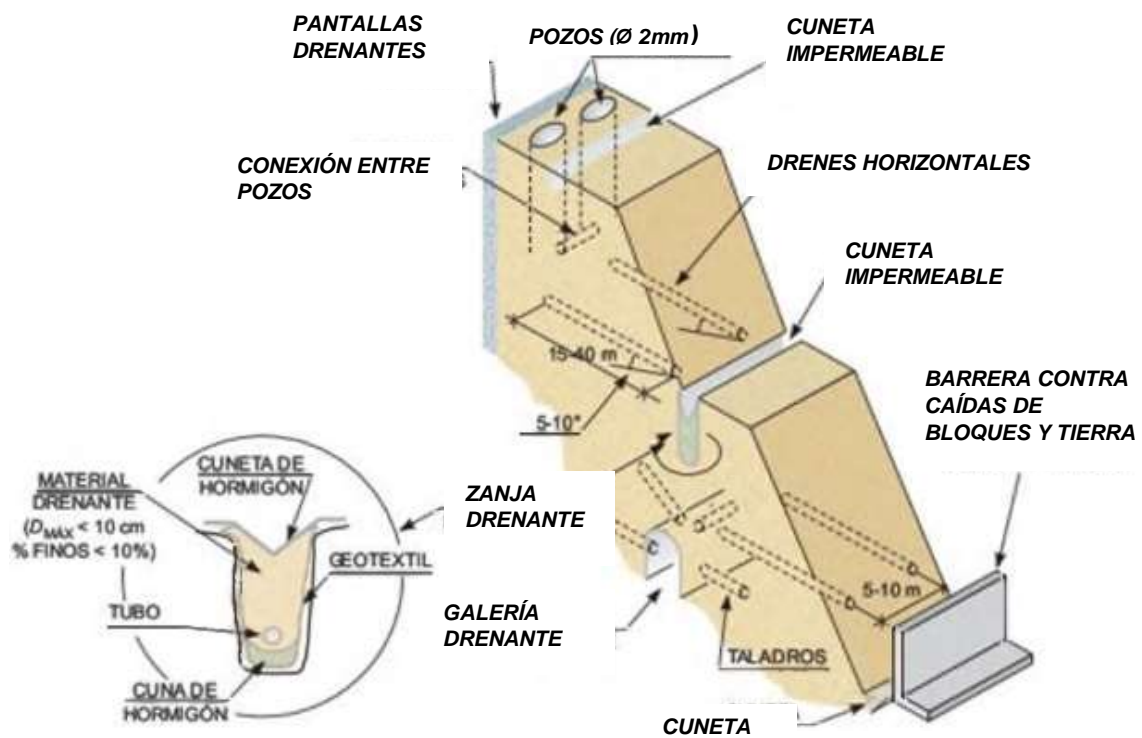


Figura 2.16. Medidas de drenaje y protección en taludes. Fuente: Uriel, 1991.

- Las perforaciones deben alcanzar las cotas a las que se encuentra el agua y, en su caso, profundizar hasta las cotas a que se quiere rebajar el nivel freático.
- Dependiendo de su ubicación y profundidad, los elementos drenantes pueden quedar rotos o inutilizados si hay movimientos en el talud, y causar los efectos contrarios a los pretendidos, introduciendo agua en la superficie de rotura o en la masa inestable.

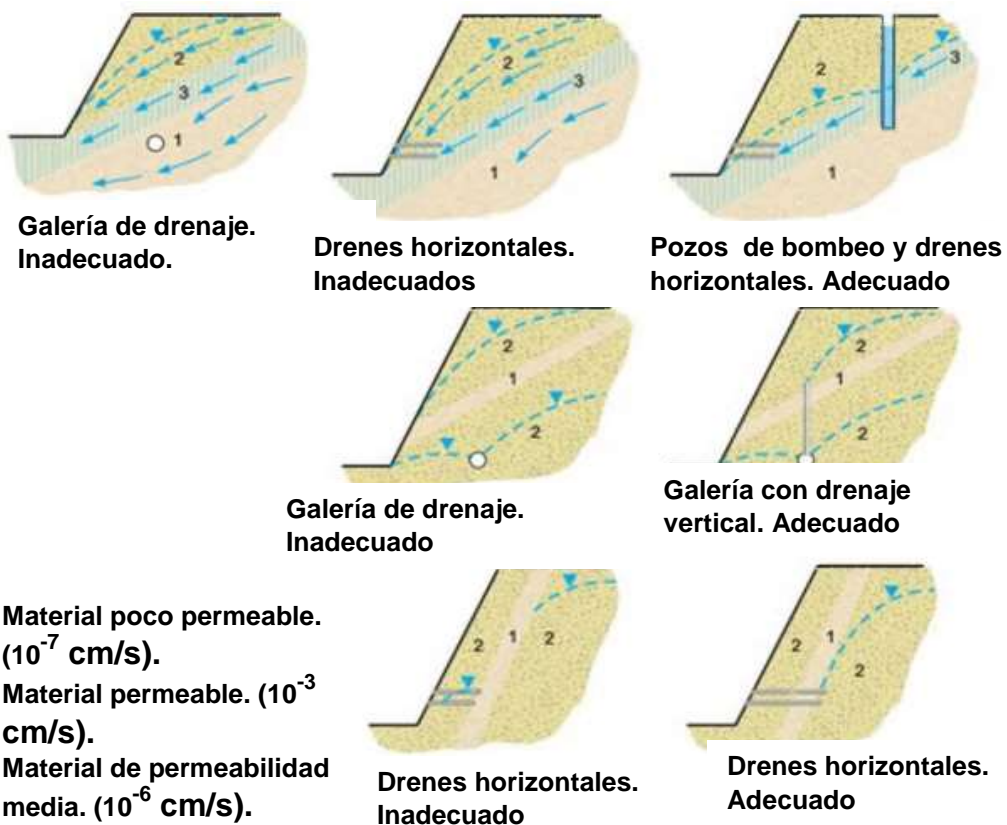


Figura 2.17. Disposición y eficacia de los sistemas de drenaje en un talud (Modificado de CANMET. 1977).

2.2.6.3 Elementos Estructurales Resistentes

La introducción de elementos resistentes en el terreno tiene por finalidad aumentar la resistencia al corte mediante alguno de los siguientes sistemas:

- Introduciendo elementos que mejoran la resistencia del terreno en la superficie de rotura (por ejemplo, pilotes o micropilotes).
- Introduciendo elementos que aumentan las fuerzas tangenciales de rozamiento en la superficie de rotura (por ejemplo, anclajes y bulones; Figura 2.18).

2.2.6.4 Muros y Elementos de Contención

Los muros se construyen a pie de talud como elementos resistentes, de contención o sostenimiento, siendo efectivos frente a inestabilidades superficiales. Los muros de contención presentan el inconveniente de que hay que excavar el pie del talud para su construcción, lo que favorece la inestabilidad, y no evitan posibles deslizamientos a favor de superficies de rotura por encima o por debajo del muro. Los muros de sostenimiento se construyen separados del pie del talud, rellenando posteriormente el trasdós (espacio entre el muro y el talud); los de revestimiento tienen como misión proteger el terreno de la erosión y proporcionar un peso estabilizador a pie del talud.

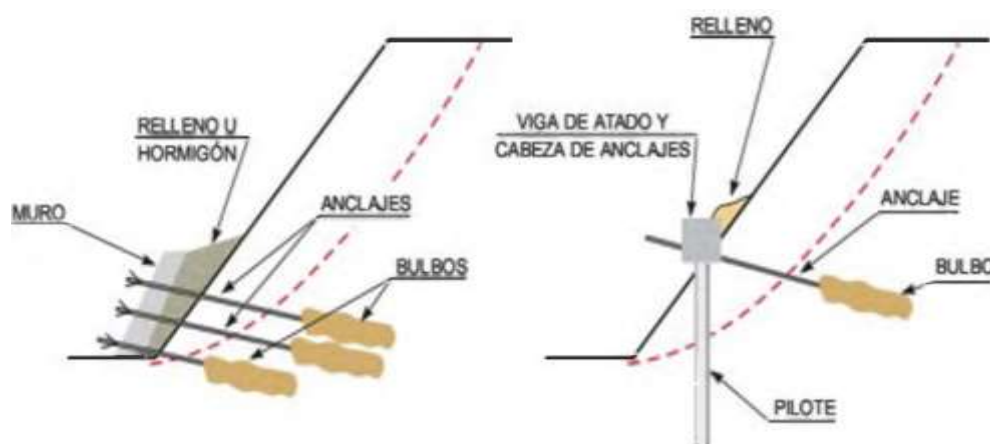


Figura 2.18. Muros y pantallas de pilotes anclados.
Fuente: González de Vallejo, 2002.

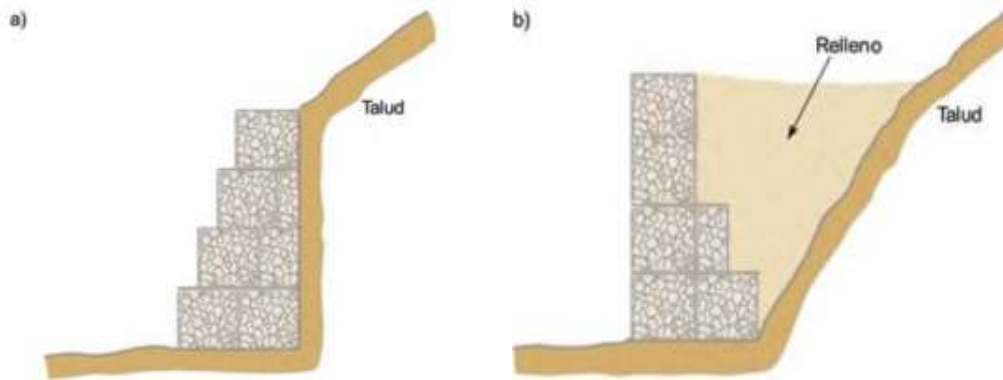


Figura 2.19. a) Muros de gaviones con intradós escalonado y b) Trasdós escalonado, con relleno en el muro y talud. Fuente: González de Vallejo, 2002.

Los diferentes tipos de muros presentan una serie de características que los hacen adecuados para diferentes casos de estabilización, según se requieran muros flexibles o rígidos, se quiera detener un movimiento o aportar una resistencia adicional. Los muros de gaviones son muros flexibles que consisten en rellenos de fragmentos rocosos o escollera contenidos en una malla de acero, trabajan por gravedad y pueden ser construidos con escalonamiento hacia el exterior o el interior del talud (Figuras 2.19). Tienen la ventaja de permitir la circulación de agua procedente del talud. Los muros pantalla son elementos de hormigón armado construidas *in situ*, en zanjas excavadas por debajo de la superficie del terreno, cuya acción estabilizadora es similar a la de las pantallas de pilotes, con la diferencia de que constituyen elementos continuos.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.

Geomecánica: Es el estudio de cómo se deforman los suelos y rocas, hasta terminar a veces en falla, en respuesta a los cambios de esfuerzos, presión y temperatura (González de Vallejo, 2002).

Macizo Rocoso: Conjunto de matriz rocosa y discontinuidades. Presenta carácter heterogéneo, comportamiento discontinuo y normalmente anisótropo, consecuencia de la naturaleza, frecuencia y orientación de los planos de discontinuidad, que condicionan su comportamiento geomecánico e hidráulico (González de Vallejo, 2002).

Talud: Superficie inclinada del terreno que se extiende de la base a la cumbre de un cerro (Gavilanes y Andrade, 2004).

Precipitación: Producto de la condensación del vapor de agua atmosférico que se deposita en la superficie de la Tierra. Ocurre cuando la atmósfera (que es una gran solución gaseosa) se satura con el vapor de agua, y el agua se condensa y cae de la solución (es decir, precipita). El aire se satura a través de dos procesos: por enfriamiento y añadiendo humedad. La precipitación que alcanza la superficie de la tierra puede producirse en muchas formas diferentes, como lluvia, lluvia congelada, llovizna, nieve, aguanieve y granizo (Dávila, 2011).

Litología: Ciencia que estudia el origen, evolución y clasificación de las rocas. Se podría considerar como un sinónimo de petrología. (Dávila, 2011)

Estructural: Estudia las deformaciones de la corteza terrestre relacionadas con el tiempo geológico. Estudia las deformaciones orogénicas, diastróficas, epirogénicas. Las deformaciones pueden ser pliegues (homoclinales, anticlinales, sinclinales, domos), fallas (normales, inversas.), intrusiones (vetas, diques, lacolitos, batolitos). (Belousov, 1974).

Morfología: Es la ciencia que estudia las formas del relieve terrestre teniendo en cuenta su origen, naturaleza de las rocas, el clima de la región y las diferentes

fuerzas endógenas y exógenas que de modo general entran como factores constructores del paisaje. Estudia el relieve actual, estudiando previamente las formas del relieve desarrollado en el transcurso del tiempo geológico (Rivera, 2011).

Diaclasas: Fractura o juntura que aparece en el cuerpo de una roca ocasionalmente producida por los esfuerzos tectónicos, presentando direcciones definidas a las cuales se les denomina sistemas de diaclasas. Las diaclasas tienen especial importancia en el modelado terrestre dado que facilita la erosión. El diaclasamiento está controlado por la estructura geológica y por las deformaciones tectónicas (Belousov, 1974).

Estabilidad: Dícese de un área o parte de la corteza terrestre que no muestra ningún tipo de deformación ni signos de movimientos tectónicos a través de mucho tiempo geológico (Suarez, 2007).

Factor de seguridad: Es la resistencia global frente a cargas externas que tiene el macizo rocoso antes de sufrir deformaciones permanentes en su estructura (González de Vallejo, 2002).

Infiltración: Capacidad de penetración de las aguas (mayormente lluvias) en las rocas y/o suelos, o de cualquier otro fluido (Suarez, 2007).

Zonas críticas: Delimitación espacial que hace referencia del estado actual respecto a variables físicas y temporales. (Dávila, 2011).

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN

La carretera está comprendida entre el Puente el Obispo – Centro Poblado Huangamarca, Distrito: Bambamarca, Provincia: Hualgayoc y Departamento de Cajamarca, ubicada geográficamente al NE de la ciudad de Bambamarca, en el cuadrángulo de Celendín (14-g4) con una extensión de 7.54 Km., en la parte occidental de los Andes Peruanos, utilizando como base grafica las coordenadas cartesianas: UTM – DATUM – WGS-84 - ZONA - 17S.

Tabla 3.1. Coordenadas del tramo de investigación.

Tramo	Ubicación	Distancia (Km.)	Este (m.)	Norte (m.)	Cota (msnm.)
Inicio	Puente el Obispo	00+000	779100.00	9265000.00	2430
Final	Centro poblado Huangamarca	07+540	780954.00	9264772.00	2827

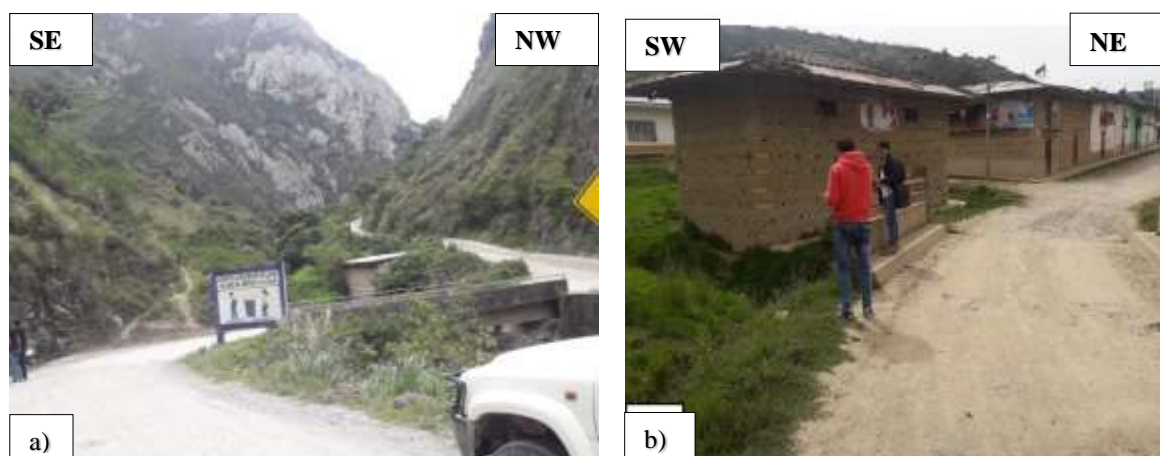


Foto 3.1. Fotografía a) Puente el Obispo, punto de inicio. Fotografía b) Centro Poblado de Huangamarca, punto final.

3.2 ACCESIBILIDAD

El punto de inicio al área de estudio se realiza desde la ciudad de Cajamarca, tomando el Jr. Angamos con la dirección NW (salida de combis); luego se toma la dirección NW siguiendo la misma carretera pavimentada, hasta cierto tramo; cambiando bruscamente a carretera afirmada en regulares condiciones, llegando a Bambamarca y finalmente siguiendo la orientación NE llegando al Centro Poblado de Huangamarca como punto inicio (ver plano N°2).

Tabla 3.2. Acceso a la zona de estudio.

Tramo		Estado de Vía	Vía	Transporte	Recorrido	
De	A				Distancia (Km.)	Tiempo (h.)
Cajamarca	Grifo Continental	Regular	Terrestre	Camioneta	01+500	00:10
Grifo Continental	Bambamarca	Regular	Terrestre	Camioneta	113+500	03:03
Bambamarca	Huangamarca	Mala	Terrestre	Camioneta	10+000	00:30

3.3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1 Tipo, Nivel, Diseño y Método de la Investigación

Esta investigación conformada por el tipo: exploratorio, descriptivo, correlacional y explicativo.

3.3.2 Población de Estudio

Taludes de la carretera comprendida entre: puente El Obispo – centro poblado Huangamarca.

3.3.3 Muestra

Taludes críticos en la carretera comprendida entre: puente El Obispo - centro poblado Huangamarca.

3.3.4 Unidad de Análisis

Las clasificaciones geomecánicas (RQD, RMR, GSI), clasificación de suelos (AASHTO, SUCS) y los factores de seguridad en las secciones transversales en el corte de la carretera comprendida entre: puente El Obispo - centro poblado Huangamarca.

3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se utiliza básicamente, la observación, ficha de campo, apoyo cartográfico, fotográfico y libreta de campo.

3.4.1 Técnicas

- Análisis documental, observación.
- Interpretación de imágenes satelitales.
- Aplicación de criterios geomecánicos empíricos y recolección de información mediante tablas geomecánicas.

3.4.2 Instrumentos y Materiales

- GPS Garmin : Ubicar un punto en el espacio en UTM
- Libreta de Geólogo : Toma de datos de campo.
- Brújula Brunton – azimutal : Medir Rumbo y Buzamiento.
- Picota de Geólogo : Determinar empíricamente la UCS.
- Flexómetro de 5.00 m. : Medir distancias de los taludes.
- Tablas geomecánicas : Anotar datos geomecánicos.
- Cámara digital : Tomar fotos del trabajo de investigación.
- Laptop : Elaboración de tesis.
- Mallas granulométricas : Determinar la granulometría de los suelos.

3.4.3 Software´S

- ArcGIS 10.3 : Elaborar los planos.
- Dips v6 : Esquematizar los planos de las discontinuidades.
- RocData v5 : Encontrar los parámetros geotécnicos.
- Slide v6 : Análisis de estabilidad de taludes.
- Rocplane y swedge : Análisis de estabilidad de roturas en rocas.

3.5 PROCEDIMIENTO

3.5.1 Etapa De Gabinete

Esta etapa se conforma en dos fases: la primera conformada por una planificación de tareas a realizar anexado a una recopilación y análisis de teorías relacionadas con el problema de investigación, evaluación de imágenes satelitales para un mejor estudio de geoestructuras y geoformas. Se elaboraron los planos básicos de ubicación y geológico, este último con la data de la carta 14-g (Celendín) tomado del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), en base al modelo digital de elevaciones (MED) se diseñaron el plano topográfico y de pendientes. La segunda fase lo conforma campañas de campo constituyendo un análisis e interpretaciones de los datos obtenidos en campo.

3.5.2 Etapa de Campo

Se realizó el cartografiado geológico-geotécnico mediante caracterización geomecánica de la carretera comprendida entre: puente El Obispo - Huangamarca, a escala 1:20,000; logrando análisis: exploratorio, descriptivo, correlacional y explicativo; permitiendo definir las condiciones geotécnicas de los taludes inestables de la carretera.

3.5.3 Etapa Final

Con la información obtenida en las etapas anteriores, se procesó e interpretó utilizando software´s como: SAS Planet, ArcGIS 10.3, RocData v5, Dips v6, Slide v6, AutoCAD 2016, RocPlane y Swedge.

Tabla 3.3. Matriz de consistencia metodológica.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	POBLACIÓN. MUESTRA Y UNIDAD DE ANÁLISIS
<p>Problema General</p> <p>¿La inestabilidad de los taludes críticos de la carretera comprendida entre Puente el Obispo – Huangamarca, corresponden a taludes conformados por: suelos y rocas, siendo afectados por: litomorfoestructuras, precipitación y microsismicidad?</p>	<p>General</p> <p>Realizar la evaluación geotécnica de los taludes críticos en suelos y rocas, de la carretera comprendida entre el puente El Obispo – Huangamarca.</p> <p>Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Realizar el cartografiado geológico para determinar las propiedades geomecánicas del macizo rocoso y el comportamiento geotécnico de los taludes. ✓ Calcular los factores de seguridad e identificar los taludes inestables para zonificar los tramos críticos de la carretera. ✓ Establecer medidas de estabilización de los taludes críticos. 	<p>General</p> <p>Los problemas de estabilidad de taludes en la carretera puente El Obispo – Huangamarca, están influenciados por las condiciones litomorfoestructurales que se presentan a lo largo de la carretera, siendo el principal detonante las lluvias de carácter excepcional que caen en el área de estudio.</p>	<p>Variable Independiente</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Litomorfoestructura <p>Relacionado con la litología, morfología y geoestructuras, que definen el estado de los taludes de la carretera.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Precipitación <p>Drenaje superficial y zonas de recarga.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Sismicidad <p>Fenómenos causados por movimientos telúricos o las vibraciones de los vehículos.</p> <p>Variables Dependientes</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Taludes críticos <p>Lo definen la inestabilidad progresiva que ocurre en sectores a analizar e interpretar.</p>	<p>Técnica de Campo: <i>Observación</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ En el año 2018 se realizó reconocimiento general de la carretera evidenciando las porque se generan inestabilidades progresivas y cuáles son sus causantes. <p>Técnica Documental</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Sa recopilo información importantes del trazado del eje de la carretera, como también de información geológica para la investigación. <p>Instrumentos de Recolección de Datos</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Imágenes satelitales, planos, tablas geotécnicas, registros geológico-geotécnico, libreta de campo, cámara digital, GPS, rayados, brújula, protactor, etc. 	<p>Población</p> <p>Taludes de la carretera comprendida entre: Puente El Obispo – centro poblado Huangamarca.</p> <p>Muestra</p> <p>Taludes críticos en la carretera comprendida entre: Puente El Obispo – centro poblado Huangamarca.</p> <p>Unidades de Análisis</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Litomorfoestructura ✓ Precipitación ✓ Sismicidad

3.6 CLIMA

El proyecto presenta un clima templado a frío, con temperaturas promedio mínima y máxima que varían durante todo el año; presentando una variación en cuanto a la temperatura mínima que varía de 7 y 13°C en las partes más altas en el Centro Poblado de Huangamarca, presentando un enfriamiento durante las noches claras y por la consecuencia de heladas y mientras que sus temperaturas máximas fluctúan entre los 13 y 21°C en Bambamarca (SENAMHI, 2018).

La estación meteorológica tipo: convencional - Bambamarca – 000362, Latitud: 6° 40´ 35.58´´, Longitud: 78° 31´ 06.01´´; Distrito: Bambamarca, Provincia: Hualgayoc y Departamento: Cajamarca.

Tabla 3.4. Datos meteorológicos del año 2018.

Meses	Temperatura Max (°C)	Temperatura Min (°C)	Precipitación (mm)		Dirección del viento 13h	Velocidad del viento 13h (m/s)
			7	19		
Enero	20.32	6.60	1.23	1.06	NE	4.60
Febrero	20.65	7.15	2.21	1.09	NE	3.25
Marzo	19.67	8.38	0.55	0.89	NE	3.33
Abril	20.58	7.63	0.78	2.02	NE	3.63
Mayo	20.45	7.25	1.76	1.60	NNE	3.22
Junio	-	-	-	-	-	-
Julio	20.72	4.37	0.20	0.07	NE	4.27
Agosto	21.11	4.84	0.05	0.00	NNE	4.17
Septiembre	22.91	5.22	0.04	0.11	NE	4.00
Octubre	22.26	6.14	1.85	1.54	NE	3.62
Noviembre	21.36	6.94	2.50	2.31	N	3.22
Diciembre	20.04	6.20	0.53	0.80	NE	3.33

Fuente: SENAMHI, 2018.

3.7 FLORA Y FAUNA

La vegetación existente es: herbácea (cubierto de plantas silvestres presentando en muchos de los casos tallos flexibles), arbustos (se evidencia en campo arbustos de bajo tamaño en la cual se ramifican desde la base del tallo, utilizados para leña) y arbórea (por presentar alturas mayores a 5 m.). La flora es uno de los componentes del ecosistema terrestre, basándose en clasificación de las unidades de cobertura vegetal y uso de la tierra; así como: fisonómicos, fisiográficos, condición de humedad y del estado actual de intervención antrópica sobre las tierras. El predominando son las herbáceas y arbustos como: Tayanco, Chilca, Penca Azul, cortadera, Cadillo, Zarzamora, gualte (*Stipa ichu*), Chancua, Cucharilla, Curafe y otras plantas de tallo corto, predominantes. No dejando de lado la vida arboréa y silvestre como la presencia arboles cultivados: Eucaliptos (*Eucaliptus glóbulos*), Pino (*Pinus*), para un mejor control de los ecosistemas.

La Fauna silvestre local está constituida por aves, mamíferos y algunos roedores. Dentro de los mamíferos es frecuente encontrar: Lagartija (*Thecadactylus*), Tordos (*M. Bonariensis*), Palomas (*Dysmoropelia*), Serpiente andina (*Tachymenis peruviana*), Perdiz (*Nothura maculosa*) y Ratones orejón andino (*Phyllotis darwini*). Asimismo, es común la presencia de animales domésticos, destacando entre ellos los vacunos: Toro (*Bos taurus*), ovinos: Oveja (*Ovis aries*), caprinos, porcinos, cuyes (*Cavia porcellus*) y aves de corral, especies que se ubican principalmente en los alrededores, es común encontrar una gran diversidad de insectos: Grillo campestre (*Gryllus Campestris*), Oruga (*Papilio machaon*), mariposa (*Argema mittrei*).

3.8 HIDROLOGÍA

Hidrológicamente el agua de la escorrentía superficial se encuentra influenciadas en dos sectores por la importancia del agua pluvial en la zona de estudio que cruzan y afectan la estabilidad de la carretera, habiéndose construido obras de arte conformado por: baden, pontón y puente.

Sector I: Lo conforma la Quebrada Honda, para encauzar a la carretera en la progresivas: Km. 04+160 (construido un baden $A = 7.50$ m. y $L = 8.00$ m.) y Km. 07+525 (construido un pontón, de $L = 4.00$ m y $A = 3.5$ m.); **Sector II:** se ubica en el Río Pachachaca, presentando caudales mayores 60 Lts/seg siendo una zona influenciada por las aguas pluviales, habiendo construido un puente de $L = 30.00$ m, $A = 7.50$ m. y $H = 6.00$ m., ubicado en la progresiva Km. 03+560; y **Sector III:** se ubica en el Río Llaucan, presentando caudales mayores 80 Lts/seg siendo el cauce principal al cual discurren las aguas, ubicándose el puente obispo de $L = 20.00$ m, $A = 5.00$ m. y $H = 7.00$ m., ubicado en la progresiva Km. 00+000.



Foto 3.2. **a).** Río Paraguran. Coordenadas: E: 779236, N: 9264988, cota: 2555 m.s.n.m.
b). Quebrada Onda. Coordenadas E: 778783; N: 9265291, cota: 2561 m.s.n.m. **c).** Río Llaucano. Coordenada E: 778500; N: 9266122.cota: 2320 m.s.n.m.

La hidrología de la zona II, tiene como nacimiento por en los centros poblados: Ocshapampa y Parahuaron, delimitado la Quebrada: Ocshapampa (La nacimiento está ubicado a los 3,400 msnm. con orientación NE, conformando una longitud de 2.79 Km.) y Parahuaron (La nacimiento está ubicado a los 3,350 msnm. con orientación N, cambiando a los 3,150 msnm. a orientación al NW); confluyendo estas dos Quebradas y formando el Río Paraguaran a los 3,000 msnm., con orientación NW, con una longitud de 4.37 Km., siguiendo su mismo curso en la orientación NW, a los 2,700 msnm., cambiando a Río Pachachaca, con una longitud de 3.600 Km., confluyendo con la Quebrada Honda (Zona I, la nacimiento está ubicado en el centro poblado de Huangamarca, en la cota 2,800 msnm., con orientación NW, conformando una longitud de 2.40 Km.) en la cota 2,470 msnm., formando el mismo Río Pachachaca, evacuando sus aguas el Río Llaucan a una altura aproximada de 2,350 msnm., con orientación NW pasando por el flanco derecho de la ciudad de Bambamarca, cambiando de orientación NE siguiendo su orientación de cauce pasando por el Puente el Obispo, conformando estos dos afluentes en Río Marañón con una longitud 25.00 Km., hasta los 2,000 msnm., lugar donde confluye con desembocando en el Océano Atlántico.

3.9 GEOMORFOLOGÍA

La carretera entre el Puente el Obispo – Centro Poblado Huangamarca, está conformado por unidades geomorfológicas mayores como: planicies, lomadas, laderas y escarpas, que están definiendo el modelamiento morfotopométrico de la zona de estudio, siendo la carretera emplazada en el Cretáceo Superior y Depósitos Cuaternarios, mostrando zonas de avenamiento tipo dendrítico por el efecto de laderas excepcionalmente empinadas desarrollándose tributarios hacia el drenaje principal, formando relieves negativos por el tamaño y aspecto variable. El valle predominante está ubicado en el Centro Poblado Huangamarca, siendo un área conformada por depósitos aluviales, de color rojizo a gris, siendo materiales deleznable por su baja compacidad, presentando profundizaciones valle por: lavaje pluvial contribuyendo al ensanchamiento de la parte baja a intermedia, influenciando controles: geológicos y climáticos locales.

La descripción de cada unidad morfogénica como son planicies (0°- 8°), lomadas (8°-20°), laderas (20°- 0°) y escarpas (mayor 50°), estas clasificaciones son dadas por Rodríguez, 2016



Foto 3.3. Lomada, ubicado en la parte en el centro poblado Huangamarca. Coordenadas E: 779012, N: 9265015, Cota: 2511 m.s.n.m.

La profundización del valle es asimétrico del Río Llaucano, siendo el efecto más notable del río durante su estado juvenil que presenta actualmente, siendo su sección transversal en forma de V, formando desfiladeros predominantes siendo la profundidad muy excedente que el ancho del Río Llaucan, transportando su drenaje fluvial materiales angulosos a sub-angulosos de diámetros: 0.50 m a 1.20 m., con cierta composición limo arenosa. La asimetría está reflejada por controles geoestructurales que aparecen horizontales, conformados por estratos débiles y fuertemente alternantes, evidenciándose en a partes intermedia y bajas terrazas: estructurales (Acumulación ocasionada por la meteorización: física y química, de las partes superiores de la roca) y artificiales (Formadas por la acumulación y corte de la carretera sobre todo en el flanco izquierdo, siendo materiales muy inestables por su acumulación progresiva, conformados por: gravas, arenas y

aluvión más fino); particularmente predominantes a lo largo del trazo del eje de la carretera, que fueron acumulados como conos de transición.

Está conformado por valles: subsecuentes (Lo conforma la parte superior de la zona de estudio, mediante análisis satelital se observa que siguen la secuencia de rumbo de la roca del Cretáceo) y transversales a la estructura (Esta ubicado entre las progresivas: Km. 00+000 – Km. 00+250, claramente cartografiadas por ser contadas las geoestructuras definiendo zonas escarpadas de sección transversal en forma V); estas dos unidades son las más representativas de la zona de investigación, sin embargo teniendo la debida importancia, unidades geomorfológicas menores: cañón, avenamientos, terrazas, taludes, laderas, etc.; que conforman el modelamiento superficial.



Foto 3.4. Escarpe, ubicado en el puente Obispo. Coordenadas E: 779100, N: 9265000 cota: 2340 m.s.n.m.

3.10 GEOLOGÍA REGIONAL

La geología regional está constituida por la facie sedimentaria de la Cordillera Occidental Peruana, con unidades rocosas desde la edad el Cenozoico (Cretáceo: Inferior y Superior) hasta el Cenozoico, conformado por secuencias volcánicas del Paleógeno (Volcánico Llama) y Depósitos Cuaternarios recientes (Holoceno) e intrusivos profundos siendo generalmente andesitas, dioritas, tonalitas y granodioritas, constituyendo la prolongación el batolito de la costa relacionado con el precámbrico.

Los orígenes están ligados al tectonismo regional iniciado desde el Proterozoico hasta la actualidad. Los rasgos morfo-estructurales de deformaciones actuales han sido iniciados en el Cretáceo tardío y continúan durante el Cenozoico, correspondientes al Ciclo Andino.

Estos movimientos deformacionales se intercalaron con periodos de estabilidad en donde se produjo la acumulación de sedimentos y superficies de erosión, para posteriormente producirse periodos volcánicos (Grupo Calipuy) y magmáticos (Intrusiones Dacíticas andesitas, dioritas, tonalitas y granodioritas). Al finalizar el ciclo sobrevino un periodo netamente erosivo glacial y posteriormente retrabajo fluvial, los cuales han originado las características actuales.

Las rocas más antiguas están representadas por afloramientos de secuencias litoestratigráficas sedimentarias parcialmente correspondientes al Grupo Goyllarisquizga constituyendo las facies de la plataforma equivalente de las formaciones anteriores. El Albiano está representado por secuencias calcáreas que une a la Formación Inca, Chúlec, Pariatambo y parte del Pulluicana, hacia el este. La Formación Crisnejas con mayor proporción de clastos, equivalente al Albiano medio en los Andes Septentrionales del Perú. Evidenciándose paquetes de calizas y margas en la parte superior constituida por los Grupos Pulluicana, Grupo Quilquiñan y por las Formaciones: Cajamarca y Celendín; correspondientes entre el Albiano Superior y el Santoniano, señalando la culminación de la sedimentación marina del Cretáceo en el área de estudio

La actividad volcánica ha sido intensa durante el Terciario y está representada por andesitas y dacitas del Volcánico Llama el cual está cubierto discordantemente por el Volcánico Porculla compuesto por dacitas, andesitas y dacitas que infrayacen, en igual relación de las tobas acidas de la Formación Huambos del Terciario Superior.

3.11 GEOLOGÍA LOCAL

La carretera que une el Puente Obispo – Centro Poblado Huangamarca, se encuentra emplazada sobre cinco Formaciones geológicas: Chúlec, Pariatambo, Grupo Pulluicana, Grupo Quilquiñan y Cajamarca, pertenecientes al Cretáceo: Inferior y Superior, con orientación SW-NE y WSW-ENE, estructuralmente, formando secuencia de plegamientos: anticlinales y sinclinales. Presentando secuencias litoestratigráficas de calizas margosas de color amarillento, con intercalaciones de lutitas, calizas bituminosas de color negruzco, así como estructuras sedimentarias: nodulares, lenticulares y tabulares de color gris claro a azuladas en el techo de la secuencia litológica, presentando espesores muy delgados, predominantes y potentes que están definiendo el grado de estabilidad de los taludes de la carretera. Sin embargo, algunos tramos se encuentran cubiertos por Depósitos Cuaternarios del Holoceno: Aluviales, Coluvio-aluvial y Eluviales; conformados por suelos: gravoso, limosos a arcillosos; de color gris plomo a negruzco, ocasionando en muchos de los casos inestables progresivas por la composición litológica, con tendencias: estratiformes, heterogéneos y desordenadas. Geocronológicamente y estratigráficamente, se ubica desde la edad: Albiano, Cenomaniano, Turoniano y Versiliano, desde 113 Ma. hasta la actualidad, conformando serie de fases tectónicas como: Mochica a Neotectónica, con direcciones convergencia N-S, NE-SW y ENE-WSW, originando la estratigrafía y tectónica de la zona de estudio, presenta actualmente.

3.11.1 Grupo Crisnejas

3.10.1.1 Formación Chúlec

Sobreyace a la Formación Inca evidenciándose claramente las transiciones entre la Formación Chúlec, siendo un ambiente marino profundo. Constituida por secuencias fosilíferas de calizas nodulares, margas y potentes paquetes de centenas de metros de lutitas; adquiriendo color crema o gris amarillento, presentando aspecto terroso amarillento en algunos casos; ubicándose desde la progresiva: Km. 03+600 – Km. 06+000, Km. 06+150 – Km. 07+540, con el desarrollo de topografía de pendientes suaves conformado por: planicies y lomadas, y entre las progresiva Km. 06+000 – Km. 06+150, conforman laderas. Sus espesores varían de 500 a 700 m. con tendencia de aumentar hacia el SE. Generalmente las intercalaciones de bancos de margas se presentan muy nodulosos y las calizas lutáceas generalmente presentan capaz delgadas y nodulares. El facie más delgada contiene escasos amonites y abundantes restos de Exogyras.



Foto 3.5. a. Litología de la Formación Chúlec, en el flanco izquierdo de la carretera. B. Secuencia sedimentaria rítmica de intercalación de arcillolitas y calizas nodulares, altamente intemperizadas de color amarillento, de espesor de 0.08 a 0.10 m. Coordenadas E: 779123, N: 9265272 cota: 2507 m.s.n.m.

3.10.1.2 Formación Pariatambo

Conformada por calizas de textura fina de color bituminoso generalmente de olor fétido con intercalaciones de lutitas delgadas y uniformes en forma de lajas de color negruzco, Característico de un ambiente marino de mayor profundidad que la Formación Yumagual correlacionándolos con los planos de estratificación y de muestreo presentando alternancia de arcillolitas en lechos delgados de caliza bituminosas de color negruzcos, con un característico olor fétido al fracturarlas. Generalmente, su espesor oscila entre los 200 a 400 m. Evidenciándose restos de moluscos *Oxitropidoceras carbonarium*, que se distribuyen más extensamente en la región y a su vez representa el fósil guía del Albiano Medio. Yace concordancia con la Formación Chúlec, desde la progresiva Km. 01+350 – Km. 03+600.



Foto 3.6. Formación Pariatambo, compuesta por secuencias de arcillolitas y calizas bituminosas a negruzcas, presentando alta meteorización en la secuencia litoestratigráfica. Coordenadas E: 777744, N: 9265649 cota: 2420 m.s.n.m.

3.11.2 Grupo Pulluicana

Aflora desde la progresiva: Km. 00+740 a Km. 01+330, conformadas por secuencias estratigráficas de caliza, marga y lutitas; presentando colores por el intemperismo que varían entre crema y marrón claro, presentándose en capas medianas, nodulares o irregularmente estratificadas, con predominio de calizas; con espesores litológicos entre 260 a 330 m. Presentando abundancia de especies de: Exogyra. y amonites en menor proporción, indicando la deposición de un mar somero, conformando secuencias estratigráficas de calizas de espesor: 0.10 a 0.15 m., con intercalaciones de paquetes margosos y lutáceos de muy baja calidad siendo materiales muy deleznales; y calizas gris parduzcas en bancos más o menos uniformes de espesores: 0.40 m. a 0.60 m., con presencia de un miembro medio lutáceo margoso de color amarillo; ubicadas en el flanco derecho de la carretera.

3.11.3 Grupo Quilquiñan

Este Grupo esta presenta una potencia de 250 a 350 m. que cortan a la carretera, representados por grandes paquetes de 100 a 200 m. lutáceos de color gris plomo a amarillento , además de una gruesa secuencia de calizas nodulares macizas , seguida de una intercalación de margas y lutitas amarillentas del Grupo Quilquiñan. El contenido fosilífero presenta: Amonites, Echinoidea, Lamelibranquios y Exogyra, indicando que la unidad se depositó en mar somero. Está ubicado desde la progresiva: Km. 00+340 a Km. 00+740. La topografía está conformada por unidades geomorfológicas como: laderas y escarpas, siendo una zona de pendientes muy pronunciadas.



Foto 3.7. Paquetes competentes de calizas e intercalaciones de arcillolita de color gris, pertenecientes al Grupo Quilquiñan. Coordenadas E: 777272, N: 9265649
Cota: 2470 m.s.n.m.

3.11.4 Formación Cajamarca

Está delimitada por geoformas escarpadas con pendientes de hasta 85°, generalmente careciendo de vegetación, presentan coloraciones blanquecinas a gris claras por el predominante del intemperismo por la fluctuación de agua de las partes superiores de los afloramientos rocosos. Caracterizándose por su estratificación regular y uniforme formando estructuras tabulares las rocas de espesores de 0.60 a 0.85 m., constituidas por texturas de caliza fina y pura, presentando ambiente fosilífero de: amonites, gasterópodos y foraminíferos, con grosores promedio de 500 a 700 m. Definida desde la progresiva: Km 00+000 a Km. 00+340.



Foto 3.8. Calizas grises de grosor entre: 0.60 a 0.85 m. de la Formación Cajamarca, con superficies de color blanquecino por la meteorización de la roca. Coordenadas E: 777172, N: 9265609 cota: 2390 m.s.n.m.

3.11.5 Depósitos Cuaternarios

- **Depósitos Coluvio-Aluviales**

Este depósito lo conforma la gran parte de la zona de investigación, constituidos y caracterizados por estar conformado por: bloques de rocas angulosas, gravas angulosas a subangulosas distribuidas en forma caótica y por su pasta cementante de depósito aluvial, definiendo la consistencia y estabilidad de los taludes de la carretera. Al mismo tiempo su composición no presenta selección ni estratificación aparente, englobando una matriz arenosa que se distribuye irregularmente en los taludes. Se encuentra ubicado en el flanco izquierdo del talud adyacente de la Carretera Puente el Obispo – Centro Poblado Huangamarca. En algunos casos en los taludes de corte forman zonas de carcavamientos progresivo, generando el transporte de materiales finos a las partes inferiores.



Foto 3.9. Depósito Coluvio-aluvial, ubicado en el flanco derecho de la carretera, conformado por fragmentos de rocas y material englobante de composición limosa de color gris. Coordenadas E: 777612 N: 9265687, cota: 2446 m.sn.m.

- **Depósitos Aluviales**

Se ubican llegando al Centro Poblado: Huangamarca y también ubicado en el estribo izquierdo del puente del Río Paraguaran, constituidos por gravas angulosas de tamaños desde 1/2'' a 1'' hasta gravas finas, arenas finas, con altos contenidos de limos y lutitas, con tonalidades amarillentas y fuertes oxidaciones, en los flancos de los taludes constituyendo la mayor cantidad de taludes inestables, por ser suelos poco consolidados, siendo afectados rápidamente por la saturación de agua.

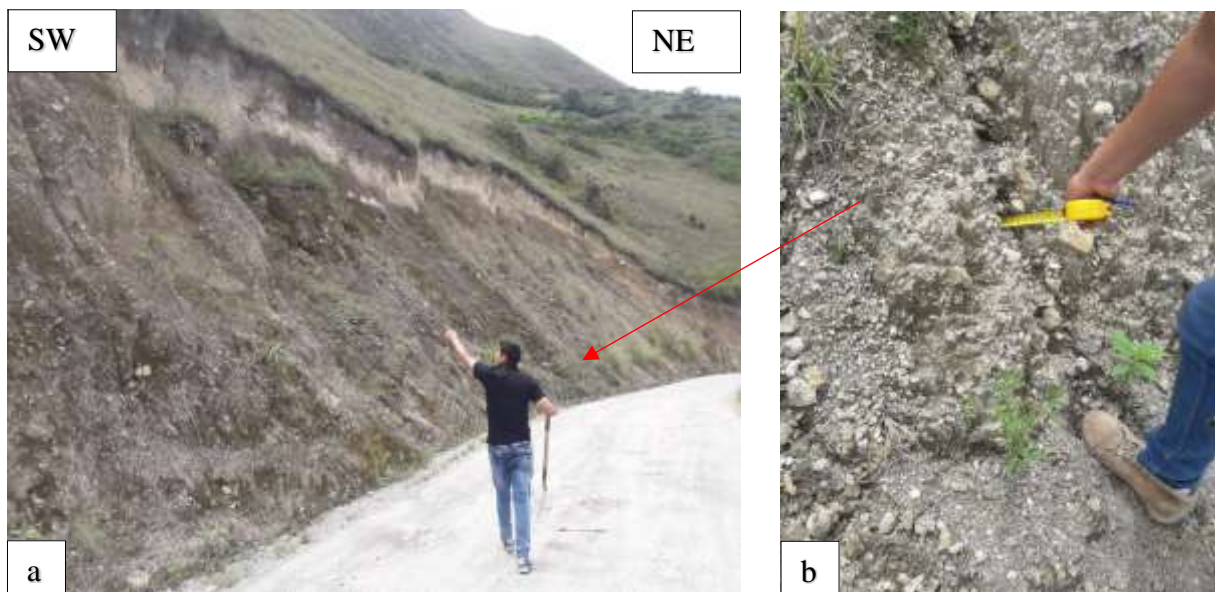


Foto 3.10. **a)** Depósito Aluvial, de composición limo arcillosa, evidenciándose zona de deslizamiento progresivo en la cresta del talud. **b)** El Depósito reciente forma en su estructura cárcavas progresivas, por las aguas de escorrentía pluvial.

Coordenadas E: 778251 N: 9265822, cota: 2483 m.sn.m

3.12 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El sistema de plegamientos, litoestratigráficos de las Formaciones: Chúlec, Pariatambo, Grupo Pulluicana, Grupo Quilquiñan y Cajamarca; presentan dos orientaciones: NE-SW y WSW-ENE relacionados con: sinclinales y anticlinales, ubicándose los ejes de las estructuras principales en las progresivas: Km. 00+140 y Km. 04+180, de la carretera. De acuerdo con el cartografiado geoestructural presenta tres tipos de fallas: dextrales, sinetrales e inversas; siendo ubicadas desde la progresiva: Km. 00+000 a Km. 00+580, siendo la zona estructuralmente más afectada por fallamientos tectónicos, evidenciándose un control estructural de orientación NNW-SSE, por el espejo de falla sinestral con orientación: Az = 176°, Bz = 84°SW y pitch = 42, en la progresiva Km. 00+440 con valores de esfuerzos: $\sigma_1 = 23.40^\circ$, $\sigma_2 = 47.70^\circ$ $\sigma_3 = 33.00^\circ$.

Las fallas y espejos de fallas se ubican en el flanco derecho de la carretera como: fallas dextrales presentando orientaciones: Az = 258° - 330°, Bz = 53° - 83°NW a NE y pitch = 5° - 34°; con esfuerzos: $\sigma_1 = 12^\circ - 38^\circ$, $\sigma_2 = 49^\circ - 79^\circ$ y $\sigma_3 = 2^\circ - 14^\circ$; y fallas sinestrales con orientación: Az = 175° - 286°, Bz = 80° - 85°SW a NW y pitch = 34° - 42°; obteniendo esfuerzos: $\sigma_1 = 23^\circ - 27^\circ$, $\sigma_2 = 47^\circ - 58^\circ$ y $\sigma_3 = 16^\circ - 58^\circ$; aplicando la teoría de Anderson, Ramsey y driedos rectos, se obtuvieron valores: altos, intermedios y bajos, en relación con el pitch y plunge, obteniendo esfuerzos principales: SSE-NNW a NNE-SSW (falla dextral) y NW-SE (falla sinistral).



Foto 3.11. **a)** Se ubica en el flanco derecho de la carretera de la Formación Pariatambo, cubierta por Depósito Cuaternario, aflorando en la parte inferior del talud el plano de falla en la roca caliza, ubicado en la progresiva: Km. 03+950. **b)** Plano de falla dextral, observándose las estrías de falla, escalones y el movimiento cinemático de la falla.

Coordenadas E: 777821 N: 9265791, cota: 2436 m.sn.m

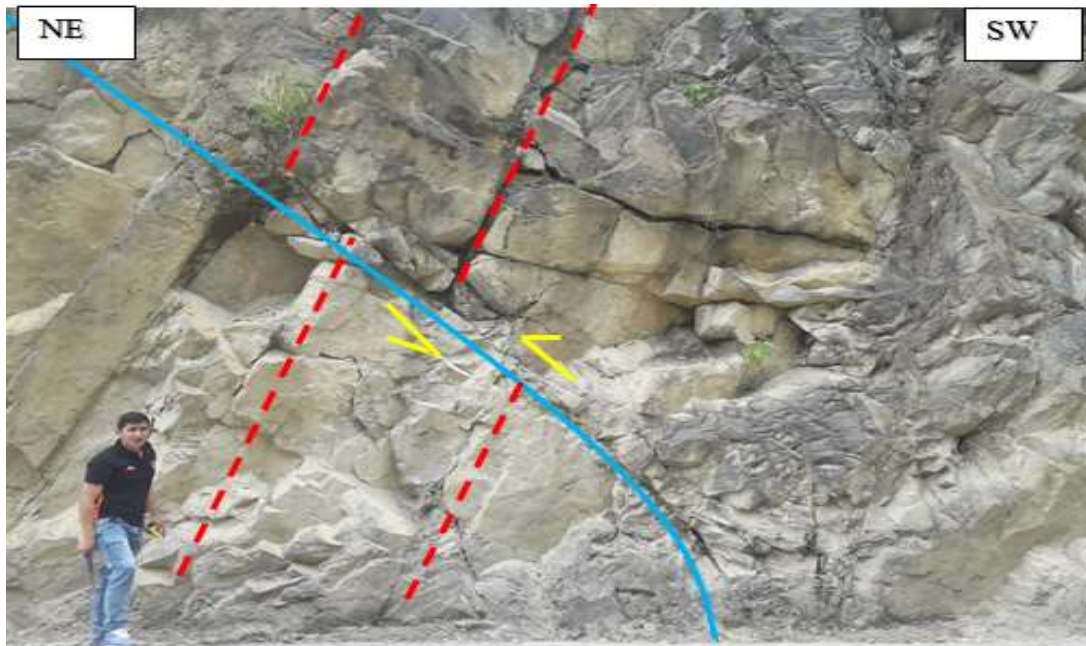


Foto 3.12. Falla inversa, en el flanco derecho de la carretera, ubicado en las calizas del Grupo Quilquiñan con orientación: Az = 150° y Bz = 58°SW; en la progresiva: Km. 00+410. Coordenadas E: 777103 N: 9265615, cota: 2413 m.s.n.m.



Foto 3.13. **a)** Espejos de fallas ubicadas en las calizas del Grupo Quilquiñan. **b)** Espejo de falla de movimiento cinemático: sinistral. **c)** Falla dextral, con recristalización de minerales de calcita; en la progresiva: Km. 00+520. Coordenadas E: 777069 N: 9265505, cota: 2438 m.s.n.m.

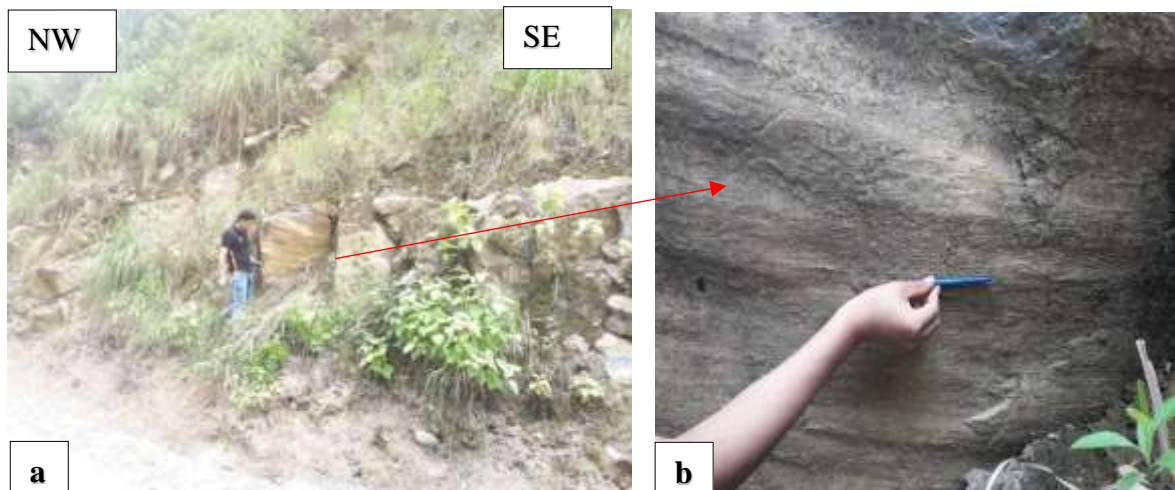


Foto 3.14. **a)** Plano de falla dextral ubicado en el pie del talud, de la Formación Cajamarca. **b)** Movimiento cinemático del espejo de falla con orientación: $Az = 300^\circ$, $Bz = 75^\circ NE$ y $pitch = 5^\circ$, en la progresiva: Km. 00+310. Coordenadas E: 777139 N: 9265428, cota: 2526 m.s.n.

3.13 GEOTÉCNIA

El cartografiado geológico-geotécnico, fue conformada por sectorizaciones de tramos críticos en suelos y rocas. La mecánica de suelos, fue aplicada para obtener: peso específico, curva granulometría, contenido de humedad, límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad; en cambio en la mecánica de rocas se determinó: la resistencia de la roca, las propiedades de las discontinuidades y criterios empíricos (RQD, RMR y GSI); enfocado al análisis de discontinuidades del macizo rocoso, para obtener valores: cualitativos y cuantitativos, combinados con teorías: Hoek – Brown y Morh-Coulomb, para así aplicar modelamientos mediante softwares numéricos como: Slide, RocData, Dips, Swedge y RocPlane, para definir el estado actual de los tramos críticos de los taludes analizados y mediante la obtención del factor de seguridad o la probabilidad de falla, para realizar mejoramientos de los tramos analizados.

3.13.1 Análisis de estabilidad de taludes en suelos

ESTACIÓN 1

El talud se ubica en la progresiva: Km. 06+100-Km.06+140, generando un deslizamiento de 40 m. de longitud del tramo de la carretera, evidenciándose por superficie de falla denominado: rotura circular de pie, siendo afectando el tramo del talud por el nivel freático con caudal de 2 Lts/seg., ubicado en la parte baja del talud a 0.50 m. del pie.



Foto 3.15. Rotura circular de pie, afectando 40 m. de la carretera entre la progresiva: Km. 06+100-Km. 06+140. Coordenadas E: 780420 N: 9265444, cota: 2748 m.s.n.m.

Por consiguiente, se realizó una calicata, conformado por un estrato de Depósito Aluvial de color: amarillento a crema, con pequeños fragmentos rocosos en su textura litológica presentando bajo contenido de humedad de 23.29%, con bajo grado de compacidad y bajo contenido en sales sulfatadas. El análisis de la curva granulométrica muestra porcentajes de: grava = 20.46%, arena = 25.24% y arcilla = 54.31%; presentado alto contenido de arcilla y también con $C_u = 5.96$ siendo un suelo heterogéneo y $C_c = 0.73$ mal graduado; clasificándolo como arcilla de baja plasticidad (CL) según SUCS y AASHTO en el grupo A-6(4) (suelo arcilloso). De acuerdo con los ensayos de Atterberg el límite líquido es menor 50, como se muestra a continuación: $LL = 33.71$, $LP = 21.26$ y $IP = 12.00$, definiéndolo como de baja plasticidad.

Tabla 3.5. Análisis granulométrico de la calicata M-1, progresiva:
Km. 06+100-Km. 06+140.

Malla	Malla(mm.)	P.R.P.	%R.P	%R.A	%PASA
1 1/2"	33.1	0.000	0.000	0.000	100
1"	25.4	80.250	8.147	8.147	91.853
3/4"	19.05	42.230	4.287	12.435	87.565
1/2"	12.7	29.320	2.977	15.411	84.589
3/8"	9.53	15.850	1.609	17.020	82.980
N°4	4.760	33.840	3.436	20.456	79.544
N°10	2.000	28.840	2.928	23.384	76.616
N°20	0.850	26.970	2.738	26.122	73.878
N°30	0.600	10.250	1.041	27.162	72.838
N°40	0.425	26.320	2.672	29.835	70.165
N°60	0.250	39.500	4.010	33.845	66.155
N°100	0.150	41.370	4.200	38.045	61.955
N°200	0.074	75.320	7.647	45.691	54.309
<N°200		534.940	54.309	100.00	0.000
Peso inicial		985.00	100.00		

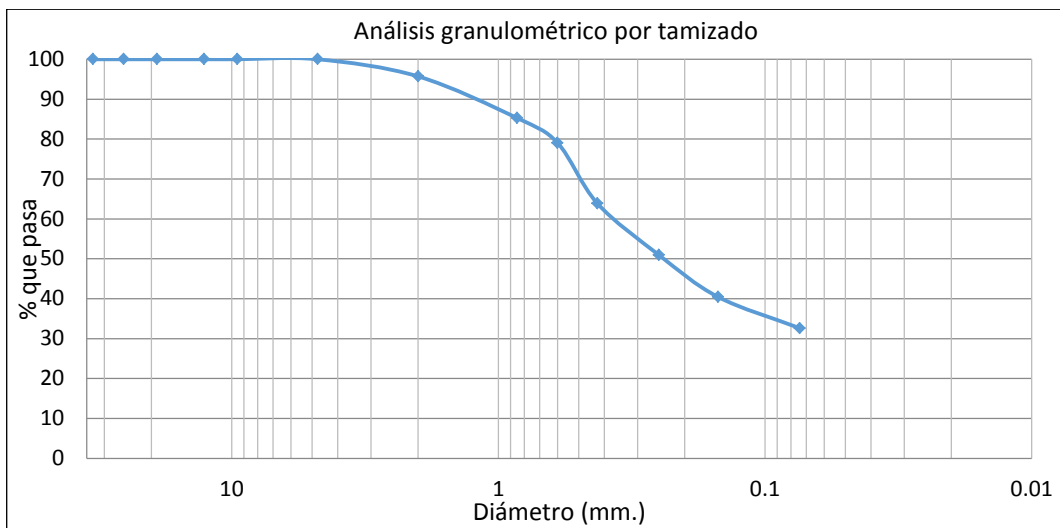


Figura 3.1. Curva granulométrica de la calicata M-1, progresiva: Km. 06+100-Km. 06+140.

Tabla 3.6. Límite líquido de la calicata M-1, progresiva: Km. 06+100-Km. 06+140.

Lata	1	2	3
Peso de lata grs	23.32	25.20	20.12
Peso del suelo húmedo + lata grs	65.32	66.23	60.25
Peso del suelo seco + lata grs	54.43	56.00	50.45
Peso del agua grs	10.89	10.23	9.80
Peso del suelo seco grs	31.11	30.80	30.33
% De humedad	35.00	33.21	32.31
Número de golpes	15.00	26.00	35.00

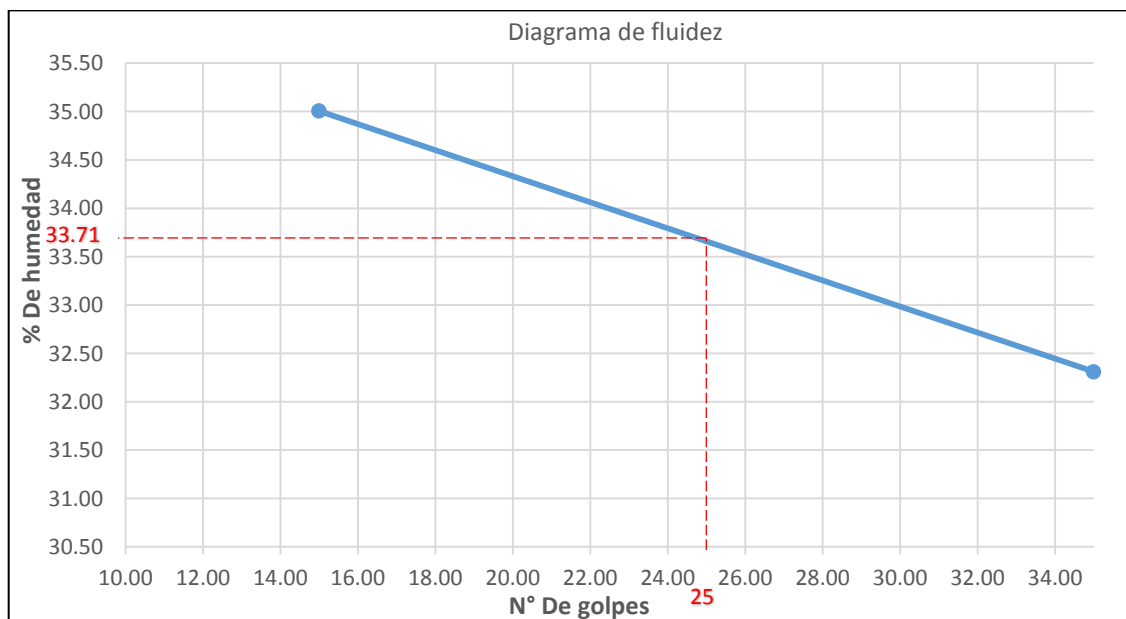


Figura 3.2. Curva de fluidez LL = 33.71%, calicata M-1 progresiva: Km. 06+100-Km.06+140.

Tabla 3.7. Límite plástico de la calicata M-1, progresiva: Km. 06+100-Km. 06+140.

Lata	1	2	3
Peso de lata grs	16.63	16.56	14.74
Peso del suelo húmedo + lata grs	58.65	59.56	52.41
Peso del suelo seco + lata grs	51.25	52.00	45.85
Peso del agua grs	7.40	7.56	6.56
Peso del suelo seco grs	34.62	35.44	31.11
% De humedad	21.37	21.33	21.09
% Promedio	21.26		

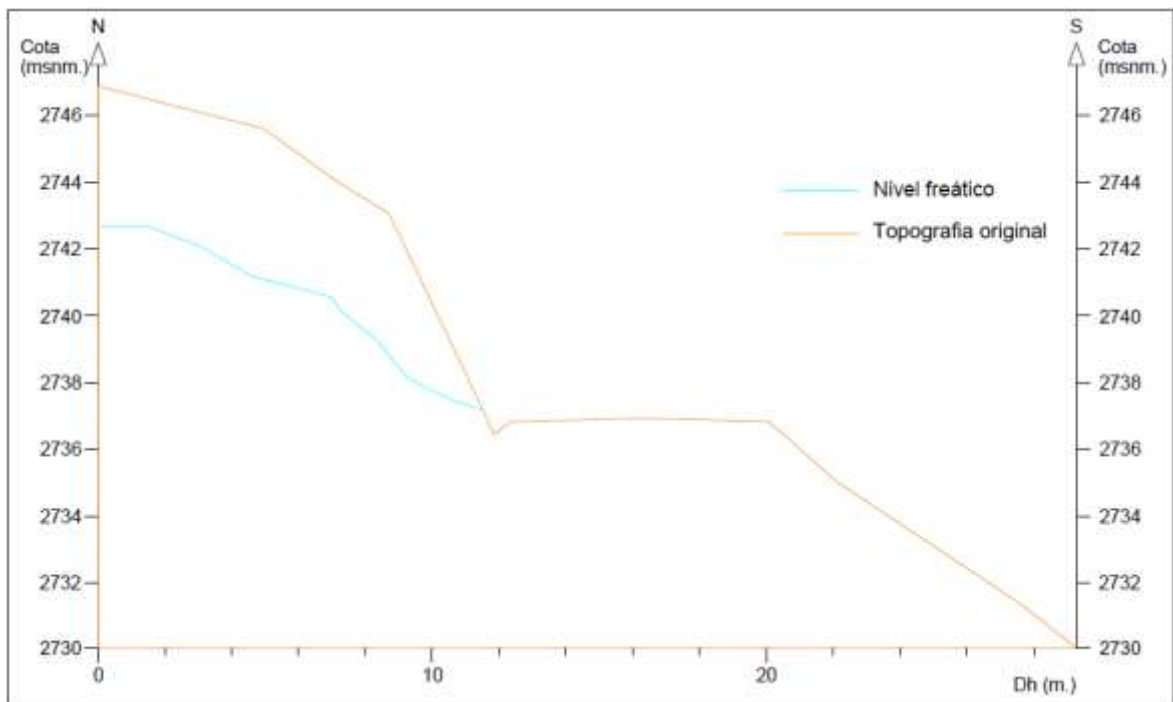


Figura 3.3. Sección de corte del talud a evaluar, ubicado en la progresiva: Km. 06+100-Km. 06+140.

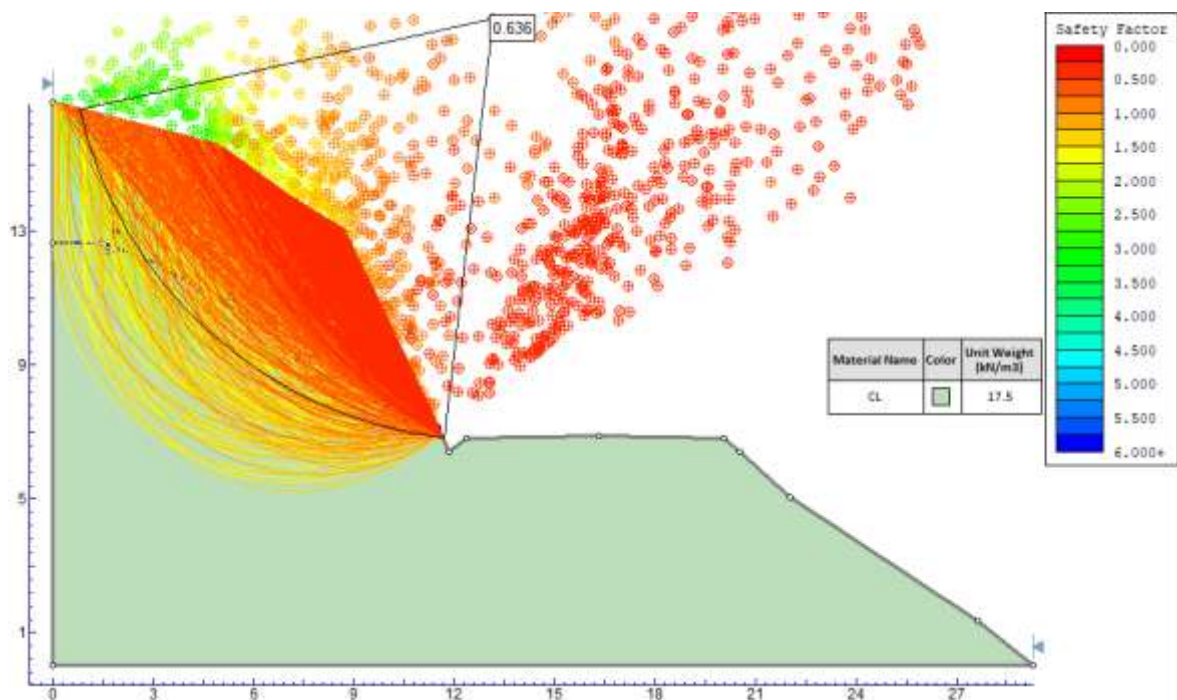


Figura 3.4. Análisis en tensiones efectivas mediante modelo numérico obteniendo $FS = 0.636$, ubicado en la progresiva: Km. 06+100-Km. 06+140.

La Figura 3.4 muestra la sección de corte del talud artificial afectado por el nivel freático, siendo un talud inestable como se observa en la Figura 3.5, aplicando de software Slide se obtuvo $FS = 0.636$, afirmando la inestabilidad del talud por el método de rebanadas. Por consiguiente, se plantea el mejoramiento del tramo del talud de acuerdo con la Figura 3.7 mediante muro ciclópeo de mampostería y banqueo en la parte superior del talud, obteniendo $FS = 1.259$, estabilizando este tramo crítico de la carretera afectada.

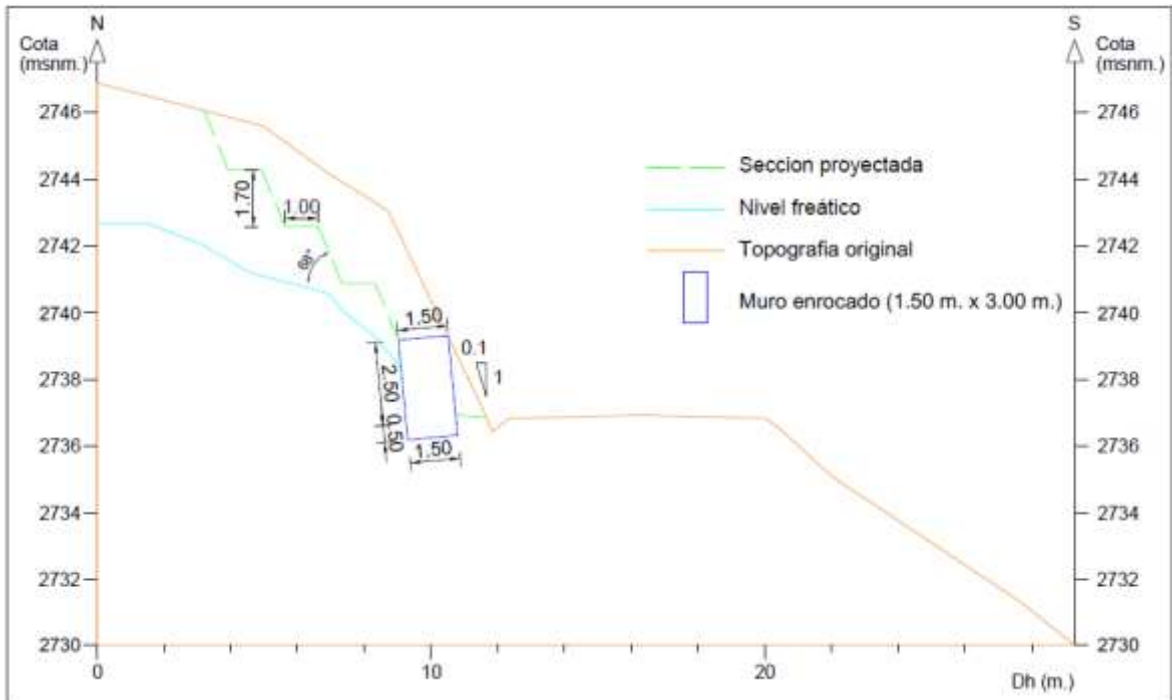


Figura 3.5. Sección proyectada a mejorar y construir en la progresiva: Km. 06+100-Km. 06+140, mediante muro y banquetas.

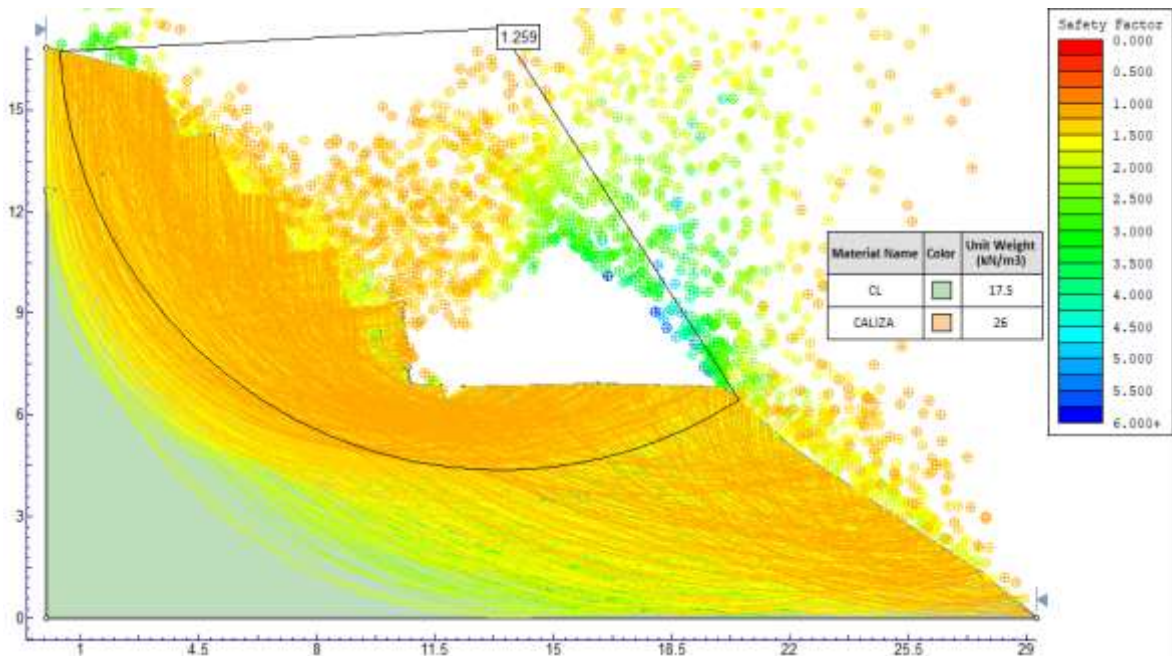


Figura 3.6. Análisis en tensiones efectivas mediante modelo numérico obteniendo FS = 1.259, ubicado en la progresiva: Km. 06+100-Km. 06+140.

ESTACIÓN 2

El tramo crítico, se ubica en el flanco izquierdo de la carretera entre la progresiva: Km. 05+955-Km. 05+985, conformando una longitud de 30 m. de afectación de talud, formándose por el deslizamiento partes como: corona, flancos, escarpes (primario, secundario, etc.), masa desplazada, pie y punta; que están afectando progresivamente a la carretera. Litológicamente está emplazado en la Formación Chúlec, por la alta meteorización: física y química, del basamento rocoso, presenta composiciones terrosas, clasificándolo como Deposito Aluvial, con coloraciones cremas a blanquecinas, sin embargo, las infiltraciones son constantes en el talud siendo un factor importante de mitigar y minimizar la inestabilidad de este tramo, ubicándose el nivel freático en la parte intermedia del talud. De acuerdo con el análisis de laboratorio presenta 36.56 % de humedad; granulométricamente 0.00% de bolonería, 0.00 % de gravas, 65.20 % de arena y 34.80% de finos; ubicándose como una arena limosa (SM) según SUCS y AASHTO A-2-4 (suelos limosos), con diámetros de partículas: D10 = 0.00, D30 = 0.00 y D60 = 0.37; con limite liquido = 32.50, limite plástico = 24.42 y índice de plasticidad 8.08.



Foto 3.16. Rotura circular de pie, afectando 30 m. ubicado en el flanco izquierdo de la carretera entre la progresiva: Km. 05+955-Km. 05+985. Coordenadas E: 780436, N: 9265446, cota: 2751 m.s.n.m.

Tabla 3.8. Análisis granulométrico de la calicata M-2, progresiva:
Km. 05+955-Km. 05+985.

Malla	Malla(mm.)	P.R.P.	%R.P	%R.A	%PASA
1 1/2"	33.1	0.000	0.000	0.000	100
1"	25.4	0.000	0.000	0.000	100.000
3/4"	19.05	0.000	0.000	0.000	100.000
1/2"	12.7	0.000	0.000	0.000	100.000
3/8"	9.53	0.000	0.000	0.000	100.000
N°4	4.760	0.000	0.000	0.000	100.000
N°10	2.000	20.800	4.295	4.295	95.705
N°20	0.850	50.600	10.448	14.743	85.257
N°30	0.600	30.000	6.195	20.937	79.063
N°40	0.425	73.600	15.197	36.135	63.865
N°60	0.250	62.500	12.905	49.040	50.960
N°100	0.150	50.900	10.510	59.550	40.450
N°200	0.074	38.000	7.846	67.396	32.604
<N°200		157.900	32.604	100.00	0.000
Peso inicial		484.30	100.00		

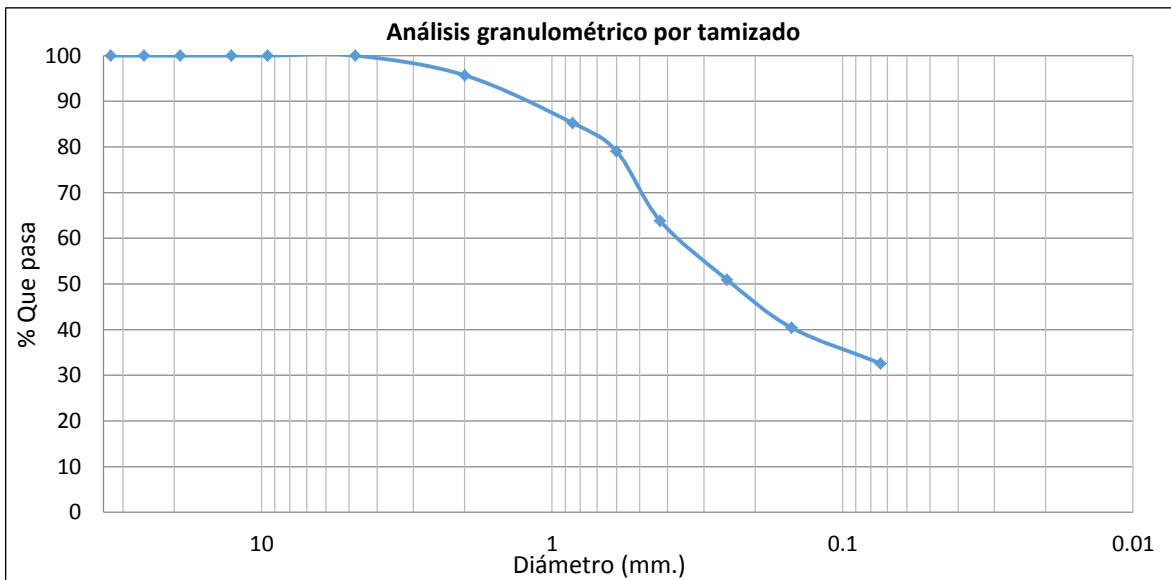


Figura 3.7. Curva granulométrica de la calicata M-2, progresiva:
Km. 05+955-Km. 05+985.

Tabla 3.9. Límite líquido de la calicata M-2, progresiva: Km. 05+955-Km. 05+985.

Lata	1	2	3
Peso de lata grs	13.78	14.13	13.82
Peso del suelo húmedo + lata grs	37.65	38.66	37.92
Peso del suelo seco + lata grs	31.67	32.77	32.38
Peso del agua grs	5.98	5.89	5.54
Peso del suelo seco grs	17.89	18.64	18.56
% De humedad	33.43	31.60	29.85
Número de golpes	13	22	33

Tabla 3.10. Límite plástico de la calicata M-2, progresiva: Km. 05+955-Km. 05+985.

Lata	1	2	3
Peso de lata grs	8.38	8.02	8.37
Peso del suelo húmedo + lata grs	15.33	15.00	15.28
Peso del suelo seco + lata grs	13.98	13.62	13.92
Peso del agua grs	1.4	1.4	1.4
Peso del suelo seco grs	5.6	5.6	5.6
% De humedad	24.11	24.64	24.50
% Promedio	24.42		

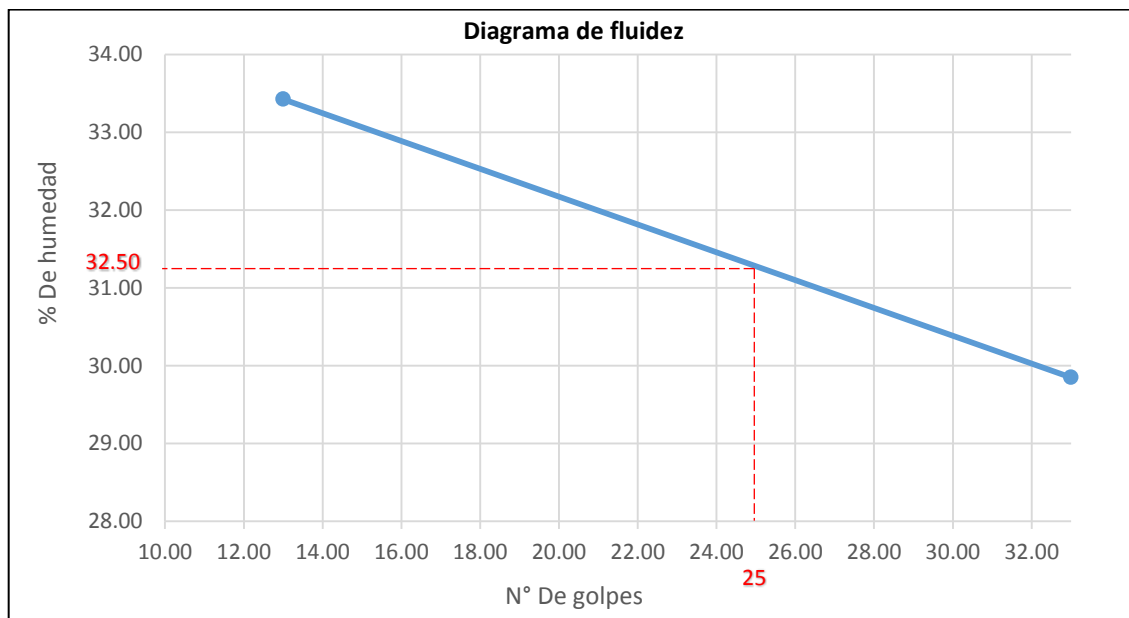


Figura 3.8. Curva de fluidez LL = 32.50%, calicata M-2 progresiva: Km. 05+955-Km. 05+985.

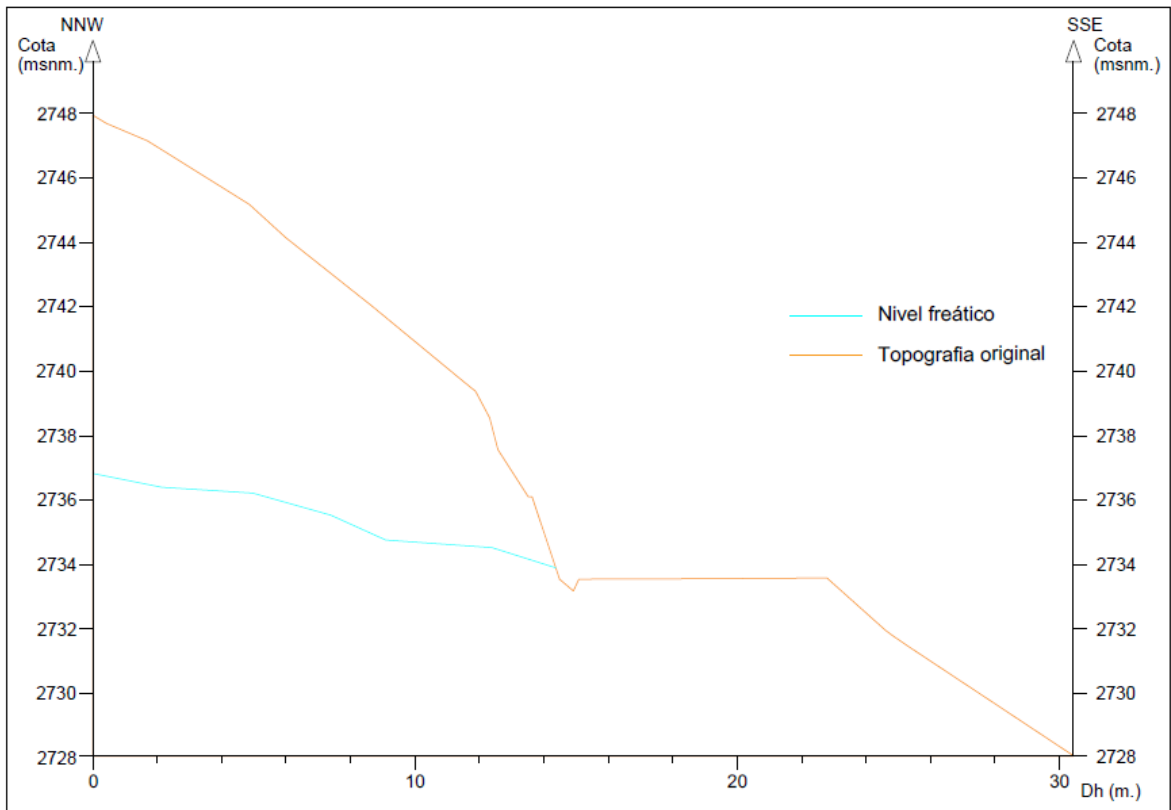


Figura 3.9. Sección de corte del talud a evaluar, ubicado en la progresiva: Km. 05+955-Km. 05+985.

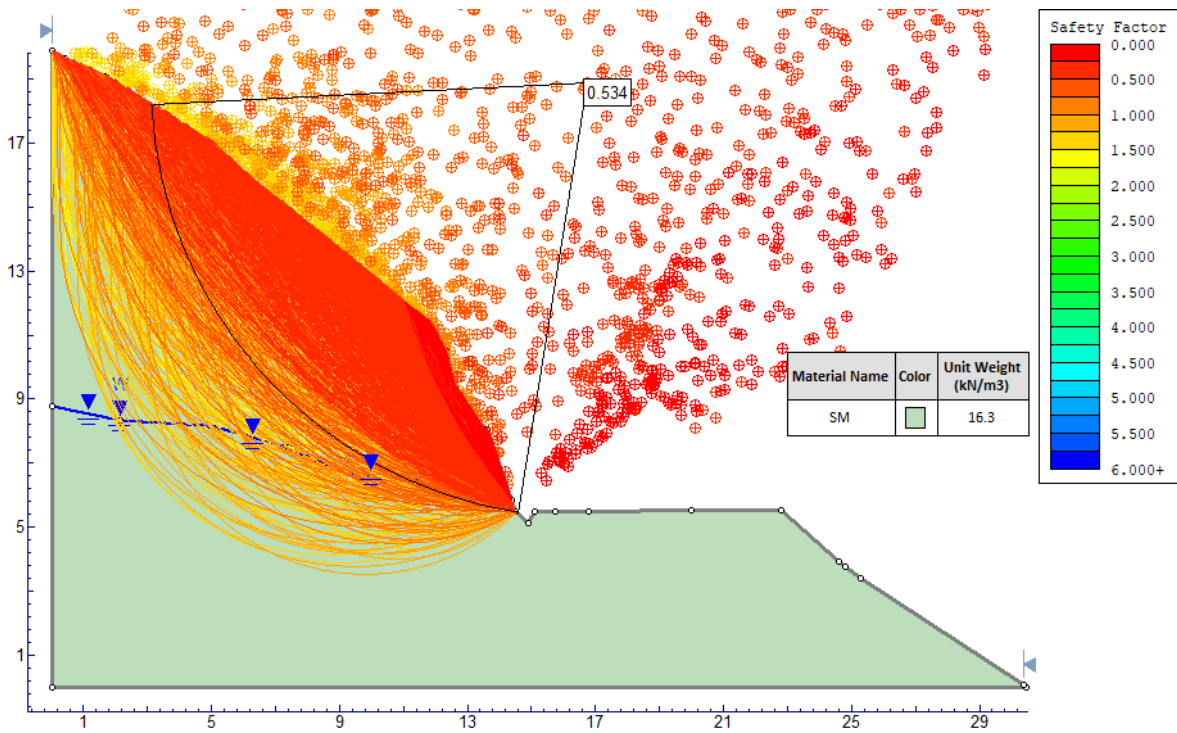


Figura 3.10. Análisis en tensiones efectivas mediante modelo numérico obteniendo FS = 0.534, ubicado en la progresiva: Km. 05+955-Km. 05+985.

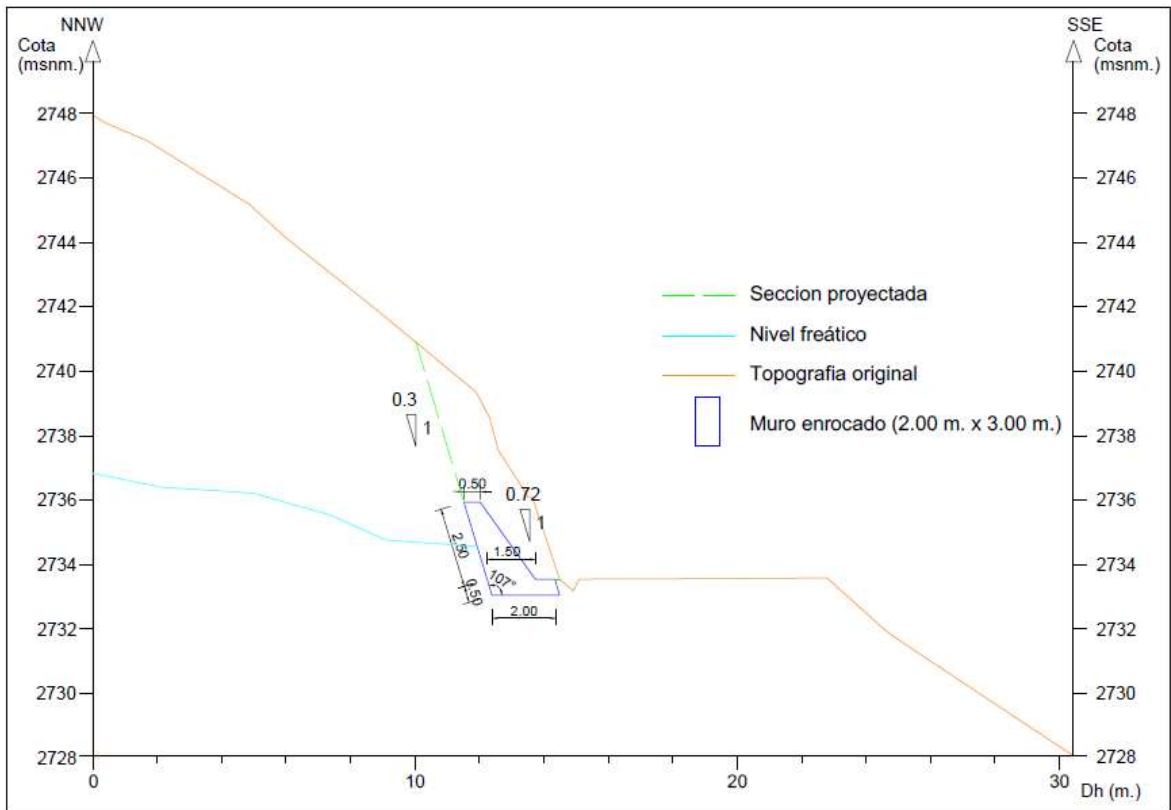


Figura 3.12. Sección proyectada a mejorar y construir en la progresiva: Km. 05+955-Km. 05+985, mediante muro y talud.

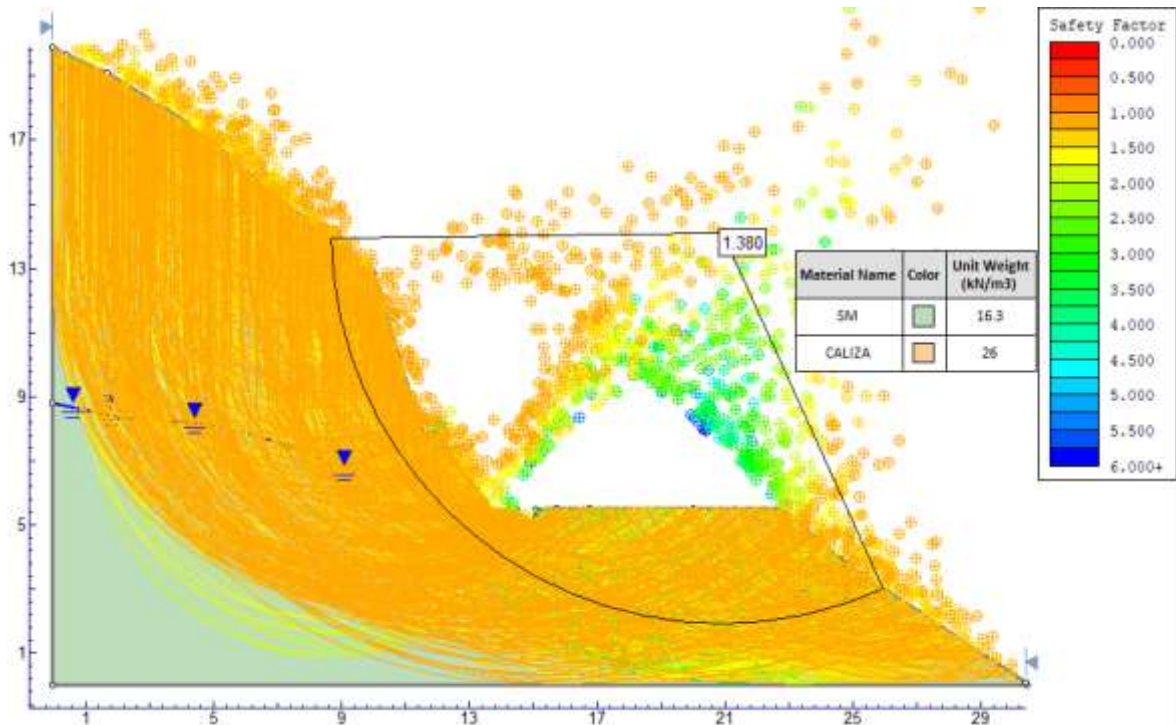


Figura 3.13. Análisis en tensiones efectivas mediante modelo numérico obteniendo FS = 1.259, ubicado en la progresiva: Km. 05+955-Km. 05+985.

El talud está afectado por el nivel freático ubicado en la parte intermedia del talud generando inestabilidades progresivas por los deslizamientos como se observa en la Figura 3.11, con $FS = 0.534$. Planteándose el mejoramiento mediante un muro de mampostería, aumentar la estabilidad reportando un $FS = 1.380$.

ESTACIÓN 3

El talud está afectado por escorrentía pluvial, formando cárcavas por la erosión desde la corona hasta el pie del talud, con dimensiones de ancho = 0.25 m, profundidad 0.35 m a 0.45 m. y longitud de cara libre 15 m., ubicado en el flanco derecho de la carretera desde la progresiva: Km. 02+500-Km.02+540. Conformado por deposito coluvial de color gris plomo a gris oscuro, granulométricamente de composición: 0.00 % de bolonería, 68.30% de gravas, 7.30 % de arenas y 24.40 % de finos; definiéndolo como suelo una grava limosa (GM) y A-2-7. Presentados diámetros: $D_{60} = 20.65$, $D_{30} = 6.90$ y $D_{10} = 0.00$, sin obtención de resultados de C_u y C_c ; y limite liquido de 42.49%, limite plástico = 28.53% y índice de plasticidad = 13.96%



Foto 3.17. Formación de cárcavas en el talud del flanco derecho de la carretera entre la progresiva: Km. 02+500-Km. 02+540. Coordenadas E: 777612 N: 9265687. Cota: 2446 m.s.n.m.

Tabla 3.11. Análisis granulométrico de la calicata M-3, progresiva:
Km. 02+500-Km. 02+540.

Malla	Malla(mm.)	P.R.P.	%R.P	%R.A	%PASA
1 1/2"	33.1	488.700	16.951	16.951	100
1"	25.4	702.000	24.350	41.301	58.699
3/4"	19.05	197.900	6.864	48.165	51.835
1/2"	12.7	325.500	11.290	59.455	40.545
3/8"	9.53	125.400	4.350	63.805	36.195
N°4	4.760	464.400	16.108	79.913	20.087
N°10	2.000	37.900	1.315	81.228	18.772
N°20	0.850	32.700	1.134	82.362	17.638
N°30	0.600	10.000	0.347	82.709	17.291
N°40	0.425	14.500	0.503	83.212	16.788
N°60	0.250	15.800	0.548	83.760	16.240
N°100	0.150	12.500	0.434	84.194	15.806
N°200	0.074	10.100	0.350	84.544	15.456
<N°200		445.600	15.456	100.00	0.000
Peso inicial		2883.00	100.00		

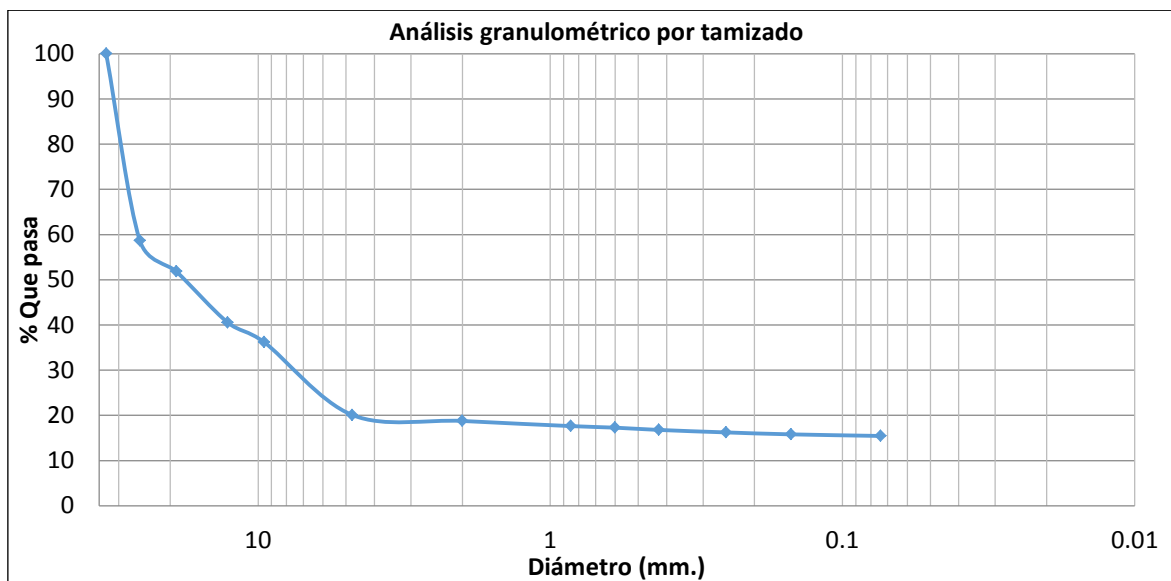


Figura 3.13. Curva granulométrica de la calicata M-3, progresiva:
Km. 02+500-Km. 02+540.

Tabla 3.12. Límite líquido de la calicata M-3, progresiva: Km. 02+500-Km. 02+540.

Lata	1	2	3
Peso de lata grs	13.82	14.07	13.22
Peso del suelo húmedo + lata grs	40.63	37.55	41.29
Peso del suelo seco + lata grs	32.37	30.51	33.15
Peso del agua grs	8.26	7.04	8.14
Peso del suelo seco grs	18.55	16.44	19.93
% De humedad	44.53	42.82	40.84
Número de golpes	15	22	33

Tabla 3.13. Límite plástico de la calicata M-3, progresiva: Km. 02+500-Km. 02+540.

Lata	1	2	3
Peso de lata grs	8.37	8.09	8.93
Peso del suelo húmedo + lata grs	15.53	14.53	14.42
Peso del suelo seco + lata grs	13.80	13.10	13.19
Peso del agua grs	1.50	1.40	1.20
Peso del suelo seco grs	5.40	5.0	4.30
% De humedad	28.18	28.54	28.87
% Promedio	28.53		

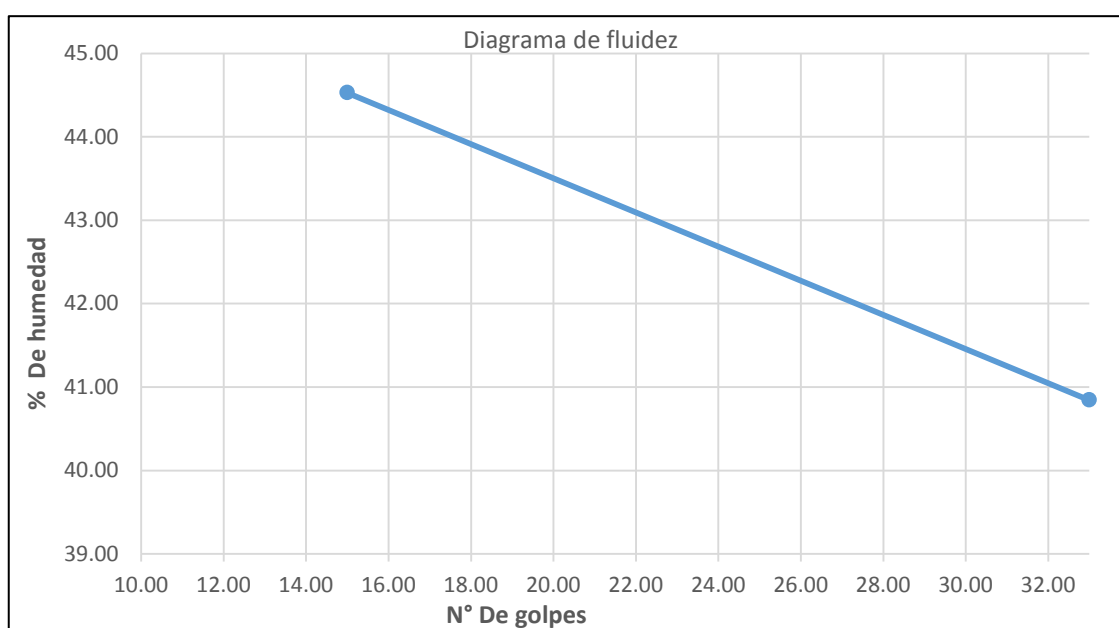


Figura 3.14. Curva de fluidez LL = 42.59%, calicata M-3 progresiva: Km. 02+500-Km. 02+540.

El corte del talud presenta una estabilidad de durabilidad, sin embargo, está afectado por su composición granulométrica a fuertes erosiones de escorrentía superficial, formando cárcavas en las dos caras libres Figura 3.16, proponiendo para su estabilización erosiva biomantas con anclajes desde el pie del talud hasta la cresta acumulando una longitud de 15.14 m. x 30.00 m. Finalmente para mejorar se plantea revegetación con plantas oriundas de la zona.

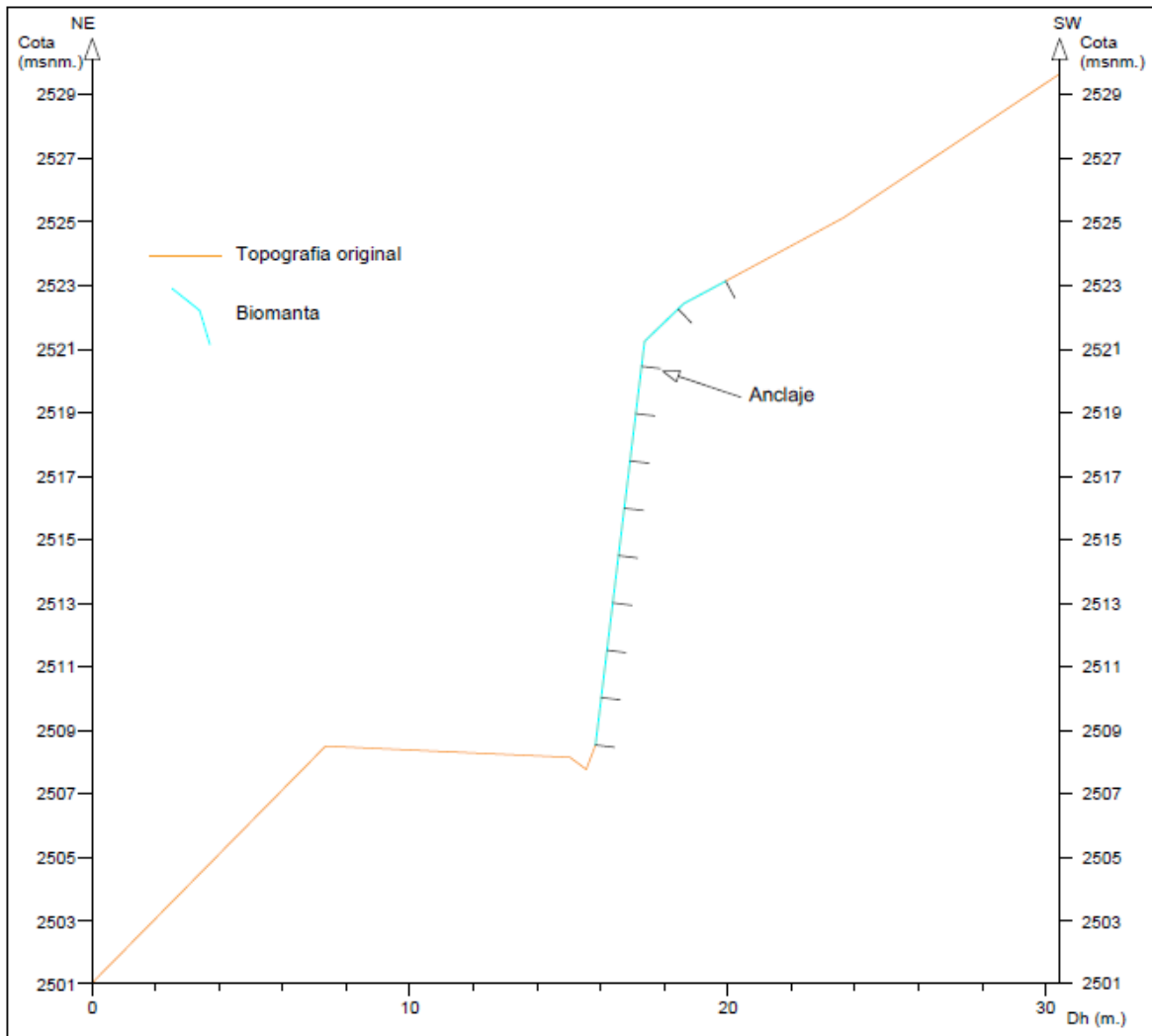


Figura 3.15. Sección de la progresiva: Km. 05+955-Km. 05+985, mejoramiento mediante biomanta con anclajes desde el pie hasta la corona del talud.

ESTACIÓN 4

Se ubica el talud en el flanco derecho de la carretera del puente El Obispo al Centro Poblado: Huangamarca, formándose deslizamiento y cárcavas, por la redistribución tensional del talud al momento del corte de la ladera, afectando

entre las progresivas: Km. 01+700-Km.01+750, conformado una longitud de 50 m. Presentando coloración gris plomo, con fragmento de rocas gravosas de 4 cm., siendo englobada por una matriz cementante de limos y arenas, compuesto por: 0.00% de bolonería, 34.30 % de grava, 40.50% de arena y 25.20 % de finos, definiendo una arena gravo limosa (SM) y A-2.-4 de acuerdo al índice de grupo, con limite liquido = 35.43%, limite plástico = 24.68% y índice de plasticidad = 10.75%.



Foto 3.18. Cárcavas en el talud del flanco derecho de la carretera entre la progresiva: Km. 01+700-Km. 01+750. Coordenadas E: 778262 N: 9265827, cota: 2477 m.s.n.m.

Tabla 3.14. Análisis granulométrico, muestra M-4 progresiva: Km. 01+700-Km. 01+750.

Malla	Malla(mm.)	P.R.P.	%R.P	%R.A	%PASA
1 1/2"	33.1	87.200	3.172	3.172	100
1"	25.4	239.700	8.719	11.891	88.109
3/4"	19.05	388.800	14.142	26.033	73.967
1/2"	12.7	458.100	16.663	42.696	57.304
3/8"	9.53	337.000	12.258	54.954	45.046
N°4	4.760	679.000	24.698	79.652	20.348
N°10	2.000	85.900	3.125	82.777	17.223
N°20	0.850	69.400	2.524	85.301	14.699
N°30	0.600	15.000	0.546	85.847	14.153

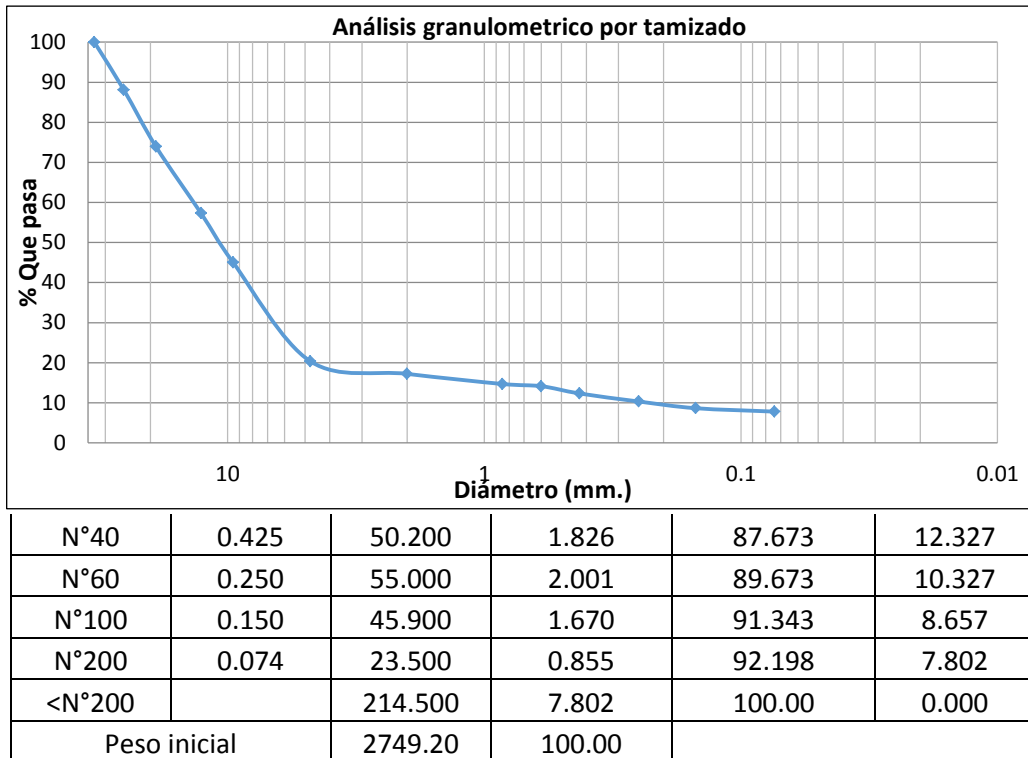


Figura 3.16. Curva granulométrica de la calicata M-4, progresiva: Km. 01+700-Km. 01+750.

Tabla 3.15. Límite líquido de la calicata M-4, progresiva: Km. 01+700-Km. 01+750.

Lata	1	2	3
Peso de lata grs	13.99	13.82	13.72
Peso del suelo húmedo + lata grs	38.33	37.71	37.65
Peso del suelo seco + lata grs	31.67	31.53	31.66
Peso del agua grs	6.66	6.18	5.99
Peso del suelo seco grs	17.68	17.71	17.94
% De humedad	37.67	34.90	33.39
Número de golpes	15	23	34

Tabla 3.16. Límite plástico de la calicata M-4, progresiva: Km. 01+700-Km. 01+750.

Lata	1	2	3
Peso de lata grs	8.17	8.37	8.40
Peso del suelo húmedo + lata grs	15.37	15.03	15.21
Peso del suelo seco + lata grs	13.96	13.70	13.86
Peso del agua grs	1.40	1.30	1.40
Peso del suelo seco grs	5.80	5.30	5.50
% De humedad	24.35	24.95	24.73
% Promedio	24.68		

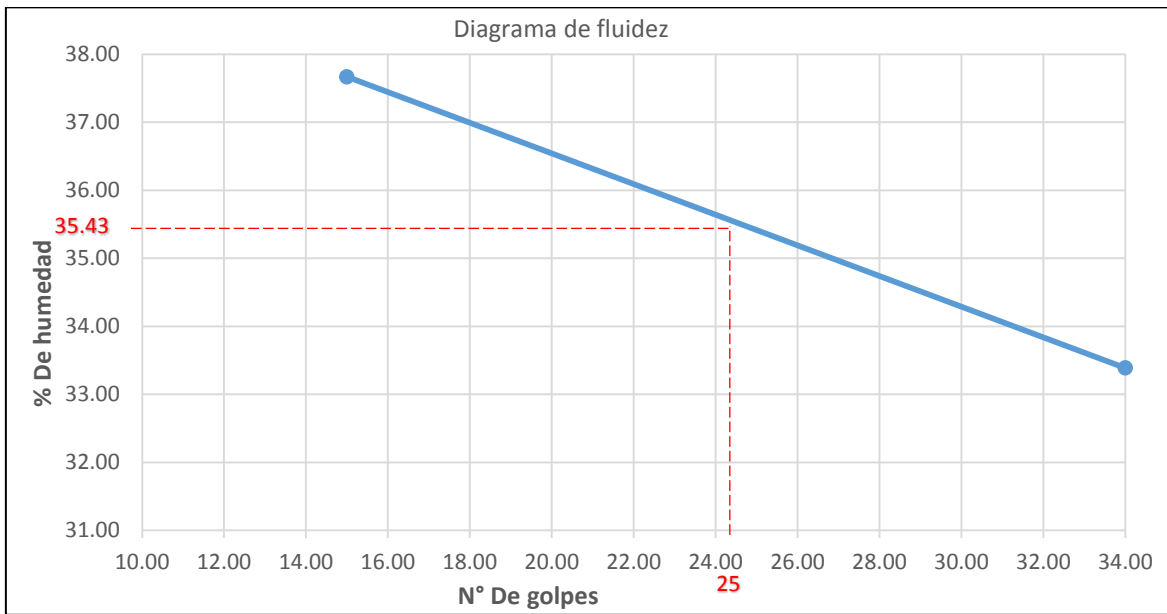


Figura 3.17. Curva de fluidez LL = 35.43%, calicata M-4 progresiva:
Km. 01+700-Km. 01+750.

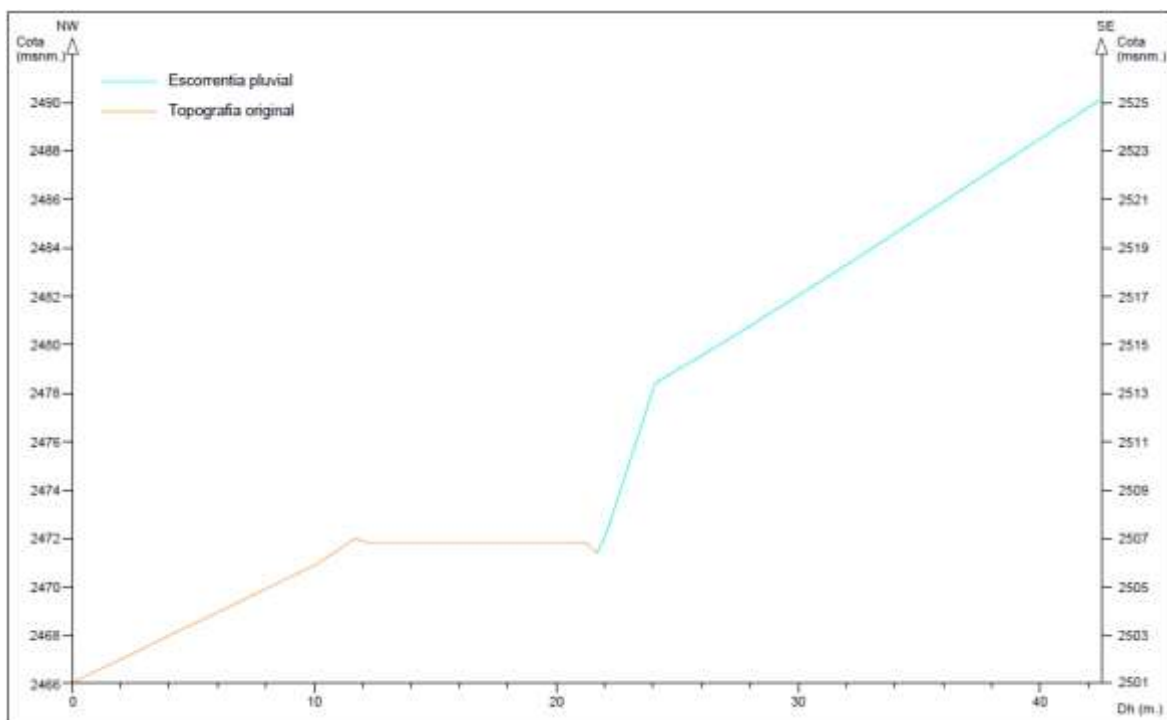


Figura 3.18. Sección de corte del talud a evaluar, ubicado en la progresiva:
Km. 01+700-Km. 01+750.

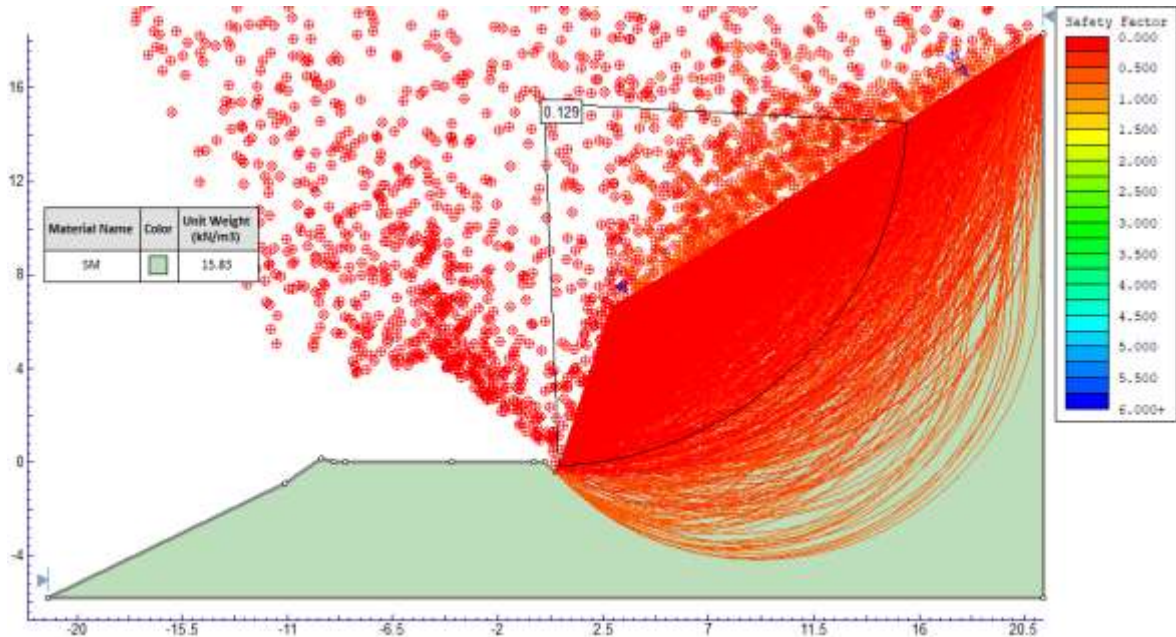


Figura 3.19. Análisis en tensiones efectivas mediante modelo numérico obteniendo FS = 0.129, ubicado en la progresiva: Km. 01+700-Km. 01+750.

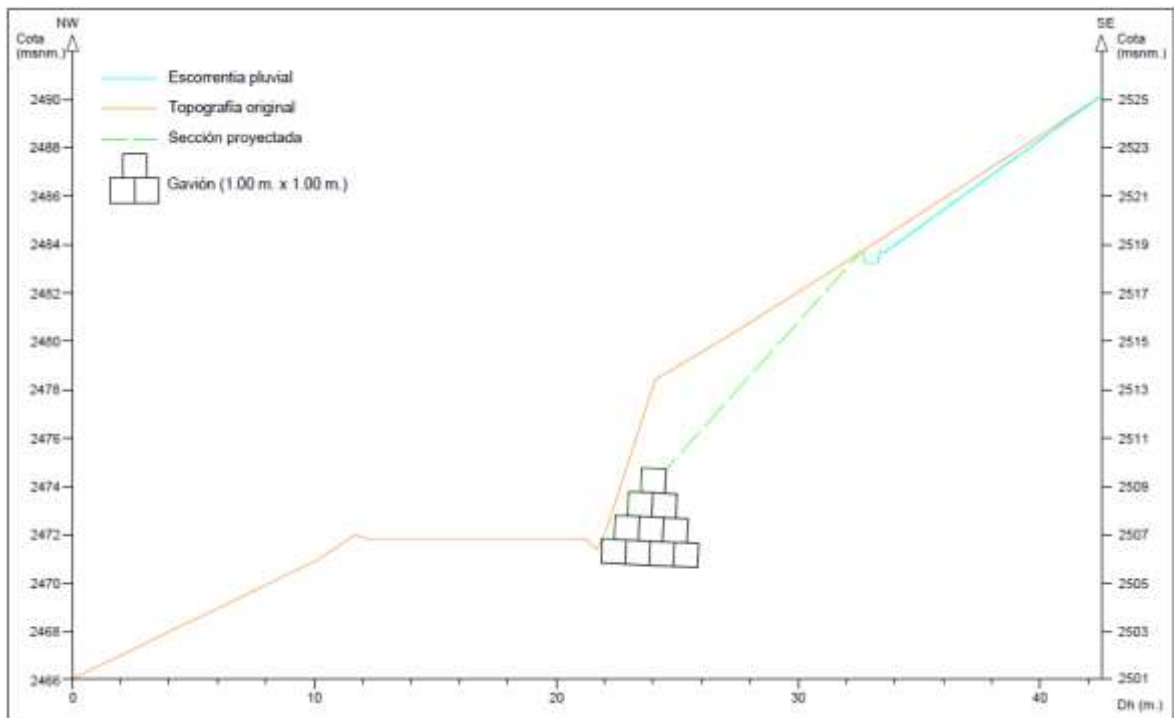


Figura 3.20. Sección proyectada a mejorar y construir en la progresiva: Km. 01+700-Km. 01+750, mediante gaviones y cuneta en la parte superior del talud para evacuación de aguas pluviales.

El mejoramiento de la estabilidad se realizará mediante gaviones y cuneta en la parte superior del talud, aumentando el FS = 1.398 del tramo crítico, siendo un método de estabilización económica, por parte de la entidad formuladora.

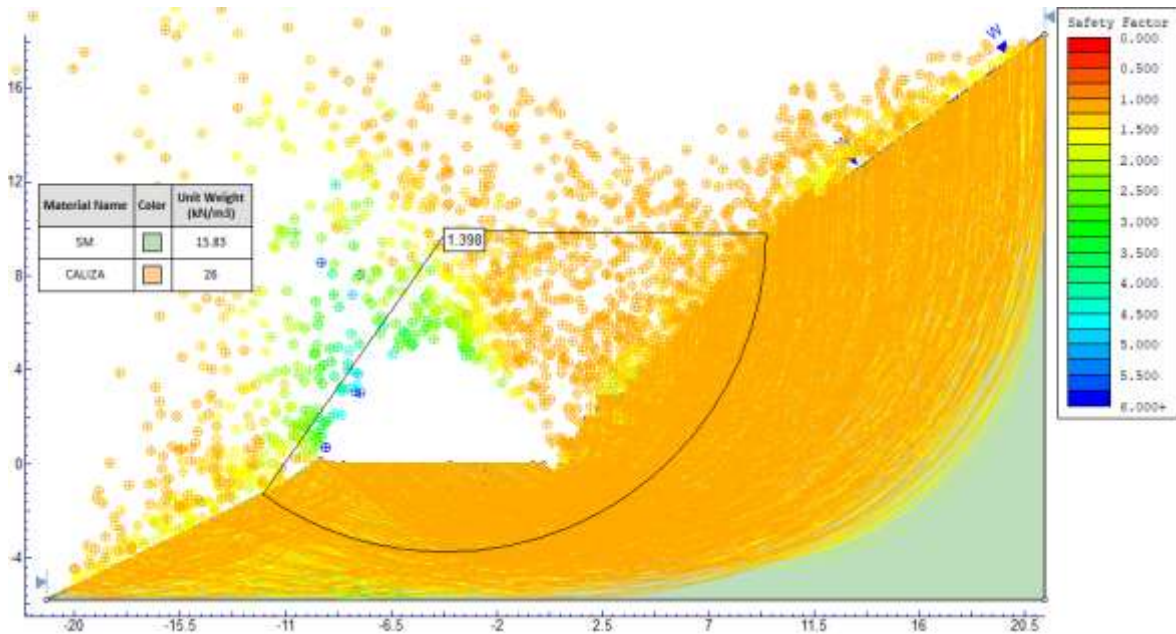


Figura 3.21. Análisis en tensiones efectivas mediante modelo numérico obteniendo FS = 1.398, ubicado en la progresiva: Km. 01+700-Km. 01+750.

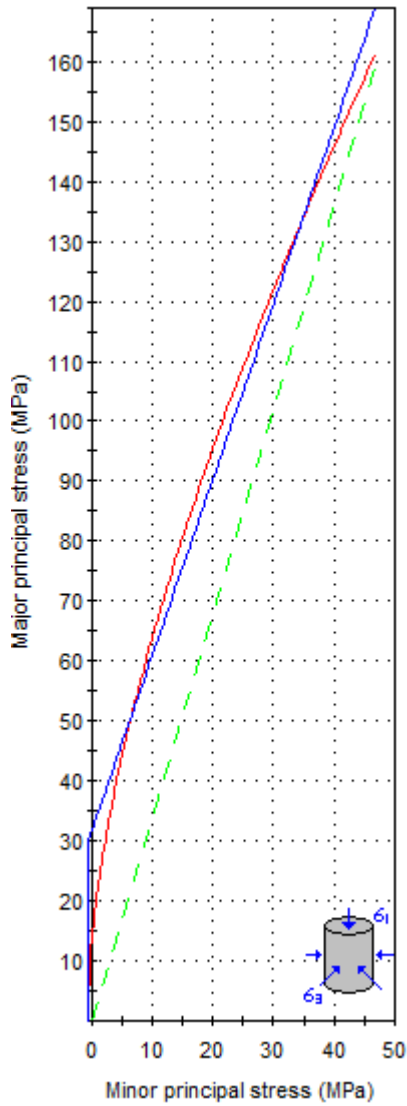
3.13.2 Análisis de estabilidad de taludes en rocas

ESTACIÓN 5

Está conformado por calizas de color gris azuladas de la Formación Cajamarca levemente meteorizadas con leve fracturamiento, conformando bloques irregulares, en el afloramiento rocoso, clasificándolo como R5 (3 golpes), con resistencia a la compresión uniaxial de 187.23 MPa. y empíricamente como: RQD = 81.86%, RMR = 67 y GSI = 62; clasificándolo como roca de calidad buena, en función de sus propiedades geotécnicas y criterios empíricos de la roca. Sin embargo, mediante la aplicación de métodos de equilibrio limite se obtuvo probabilidades de ruptura: planar y cuña, con valores muy bajos, no ayudando a la formación de escombros y definiéndose como roca dúctil, para el fracturamiento y estado de deformacional.



Foto 3.19. Inestabilidad en el talud del flanco derecho de la carretera entre la progresiva: Km. 00+200-Km. 00+300. Coordenadas E: 777146 N: 9265444, cota: 2515 m.s.n.m.



Clasificación Hoek - Brown

Resistencia comp. uniaxial intacta (σ_{ci}) = 187.23 MPa
 GSI = 62 m_i = 12 Factor de disturbancia = 0.70
 Módulo intacto (E_i) = 149,784 MPa
 Modulus ratio (MR) = 800

Criterio Hoek - Brown

m_b = 1.487 s = 0.0041 a = 0.502

Morh - Coulomb

Cohesión = 9.126 MPa Ángulo de fricción = 29.50°

Parámetros de la masa rocosa

Resistencia a la tracción = -0.511 MPa
 Resistencia compresión uniaxial = 11.765 MPa
 Resistencia global = 31.299 MPa
 Módulo de deformación = 33,750.55 MPa

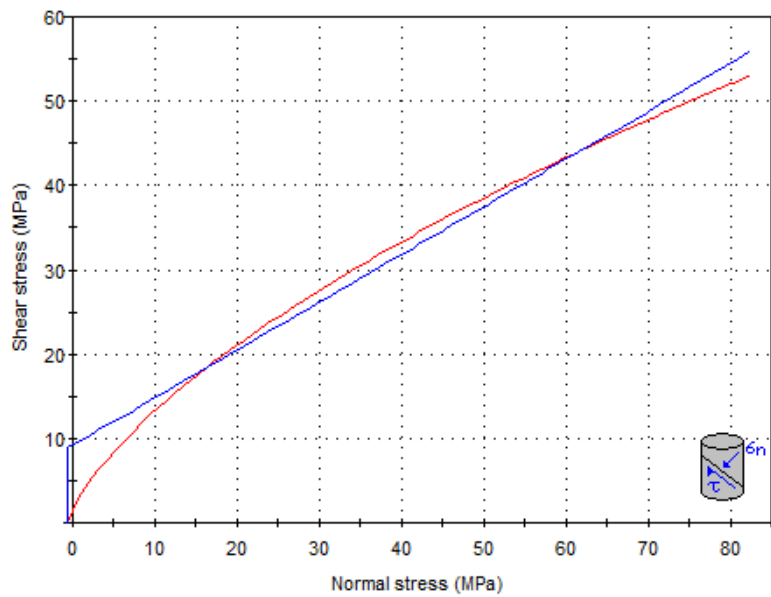


Figura 3.22. Método de equilibrio para las propiedades del macizo rocoso utilizando el criterio de linealización del método de la equivalencia de área: M-C y H-B.

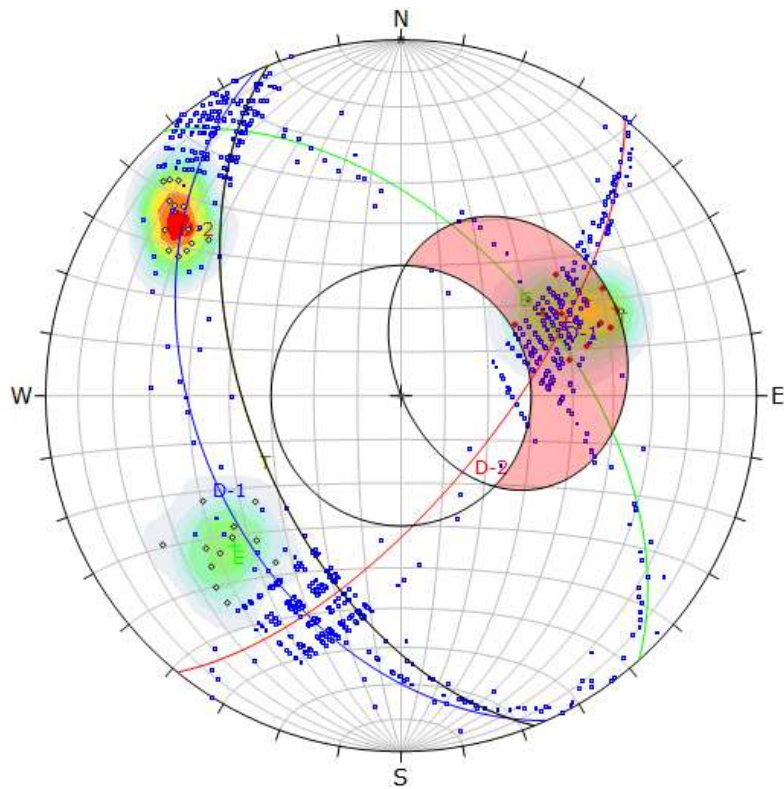


Figura 3.23. Probabilidad de ruptura planar de 34.15%, formado entre la discontinuidad 1 a favor del talud, entre la progresiva: Km. 00+200-Km. 00+300.

Symbol	Feature		
◇	Polo vectors		
◆	Critical vectors		
■	Intersection		
Color	Density concentrations		
	0.00 - 2.20		
	2.20 - 4.40		
	4.40 - 6.60		
	6.60 - 8.80		
	8.80 - 11.00		
	11.00 - 13.20		
	13.20 - 15.40		
	15.40 - 17.60		
	17.60 - 19.80		
	19.80 - 22.00		
Maximum density		21.74%	
Contour data		Polo vectors	
Contour distribution		Fisher	
Counting circle size		1.00%	
Kinematic analysis		Planar siliding	
Slope dip		55°	
Slope Dip direction		248°	
Friction angle		30°	
	Critical	Total	%
Planar siliding (All)	14	41	34.15%
	Color	Dip	Dip direction
User planes			
1	■	53°	48° E
2	■	42°	246° D-1
3	■	68°	129° D-2
4	■	55°	248° T
Plot Mode		Pole vectors	
Vector count		41 (41 entries)	
Intersection mode		Grid data planes	
Intersections count		820	
Hemisphere		Lower	
Projection		Equal area	

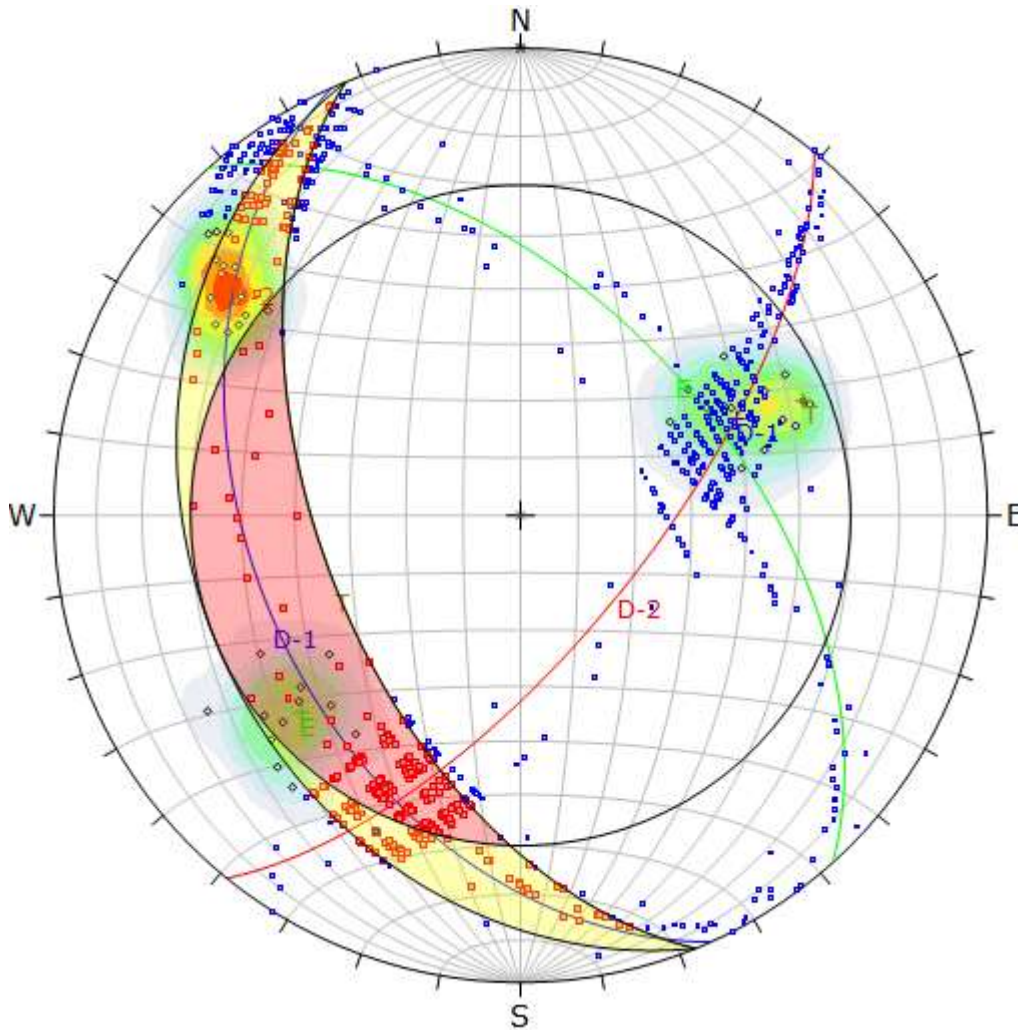


Figura 3.24. Probabilidad de ruptura en cuña con 36.10%, formado por en la zona crítica por la intersección de las familias: D-1 y D-2; en orientación indirecta del talud, entre la progresiva: Km. 00+200-Km. 00+300.

Symbol	Feature			
◇	Polo vectors			
■	Critical intersection			
■	Intersection			
Color	Density concentrations			
	0.00 – 2.20			
	2.20 – 4.40			
	4.40 – 6.60			
	6.60 – 8.80			
	8.80 – 11.00			
	11.00 – 13.20			
	13.20 – 15.40			
	15.40 – 17.60			
	17.60 – 19.80			
	19.80 – 22.00			
Maximun density		21.74%		
Contour data		Polo vectors		
Contour distribution		Fisher		
Counting circle size		1.00%		
Kinematic analysis		Wedge sliding		
Slope dip		55°		
Slope Dip direction		248°		
Friction angle		30°		
	Critical	Total	%	
Wedge sliding	296	820	36.10%	
	Color	Dip	Dip direction	
			Label	
User planes				
1	■	53°	48°	E
2	■	42°	246°	D-1
3	■	68°	129°	D-2
4	■	55°	248°	T
Plot Mode		Pole vectors		
Vector count		41 (41 entries)		
Intersection mode		Grid data planes		
Intersections count		820		
Hemisphere		Lower		
Projection		Equal area		

Tabla 3.17. Reporte del análisis por RocPlane.

Descripción	Reporte
FS	2.19
Dirección de fuerza	129°
Dirección de resistencia	248°
Peso de cuña	173.08 Tn/m.
Volumen de cuña	64.10 m ³ /m.
Resistencia al corte	284.49 Tn/m ² .
Esfuerzo normal	29.87 Tn/m.
Fuerza del agua vs. ruptura planar	86.26 Tn/m.
Fuerza del agua vs. grieta de tracción	18.68 Tn/m.

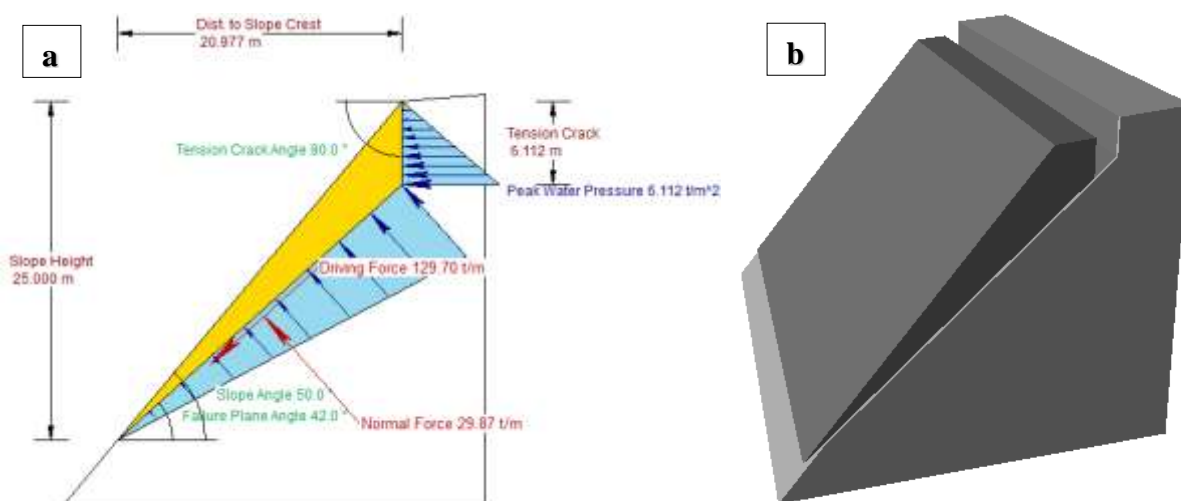


Figura 3.25. **a.** Dimensionamiento del talud en 2D, para el análisis de ruptura planar, reportando FS = 1.190, ubicado en el flanco derecho de la carretera en la progresiva: Km. 00+200-Km. 00+300. **b.** Block diagrama en 3D mostrando la ruptura planar y la grieta de tracción, en el diseño geométrico inicial.

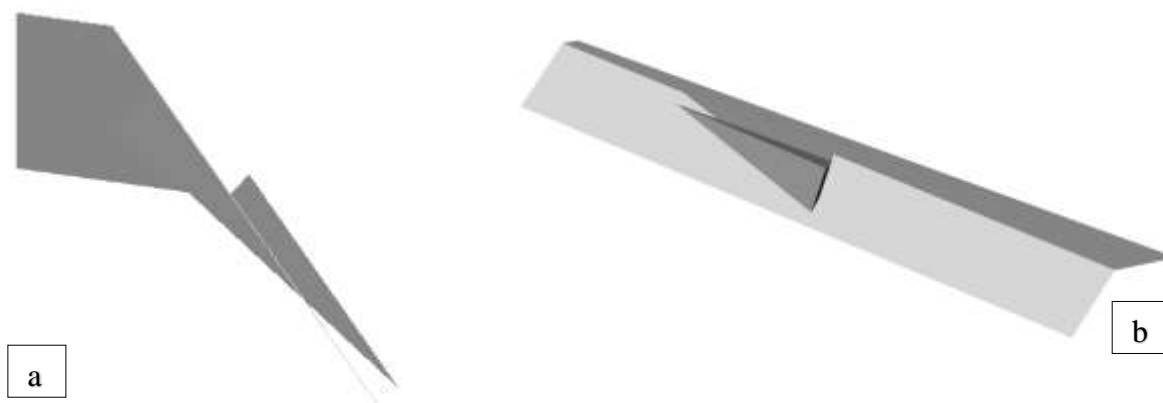


Figura 3.26. **a).** Dimensionamiento del talud en 2D, para el análisis de ruptura en cuña. **b).** Block diagrama en 3D mostrando la ruptura en cuña con FS = 1.117, ubicado en el flanco derecho de la carretera en la progresiva: Km. 00+200-Km. 00+300.

CAPITULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

La carretera comprendida entre el Puente el Obispo – centro poblado Huangamarca, litológicamente se ha emplazada en cinco Formaciones Geológicas: Chúlec (Km. 03+600 –Km. 07+540), Pariatambo (Km. 01+350 – Km. 03+600), Grupo Pulluicana (Km. 00+740 - Km. 01+330), Grupo Quilquiñan (Km. 00+340 - Km. 00+740) y Cajamarca (Km. 00+000 - Km. 00+340), pertenecientes al Cretáceo: Inferior y Superior, geocronológicamente se ubica desde la edad: Albiano, Cenomaniano, Turoniano y Versiliano, desde 113 Ma. Hasta la actualidad, con orientación SW-NE y WSW-ENE. El piso de las secuencias litoestratigráficas lo conforman calizas margosas de color crema a amarillento, con intercalaciones de espesores delgados de lutitas a limolitas altamente meteorizadas, también calizas bituminosas de color negruzco, así como estructuras sedimentarias: nodulares, lenticulares y tabulares calcáreas; y el techo de la secuencia litológica por calizas de color gris azuladas con espesores predominantes a potentes que están definiendo el grado de estabilidad de los taludes de la carretera ubicados desde la progresiva: Km. 00+000 – Km. 01+125. Sin embargo, algunos tramos por la alta meteorización se encuentran cubiertos por Depósitos Cuaternarios del Holoceno: Aluviales, Coluvio-aluvial y Eluviales; conformados por suelos: gravoso, limosos a arcillosos; de color crema, gris a negruzco, ocasionando en muchos de los casos inestables progresivas por la composición litológica, con tendencias: estratiformes, heterogéneos y desordenadas.

Morfogenéticamente el trazo de la carretera y los cortes de laderas, se basaron en las unidades morfogenéticas como: planicies, lomadas, laderas y escarpas,

cañón, avenamientos, terrazas, taludes, laderas, etc.; que conforman el modelamiento superficial morfotopométrico, mostrando zonas de avenamiento tipo dendrítico por el efecto de laderas excepcionalmente empinadas desarrollándose tributarios hacia el drenaje principal, formando relieves negativos por el tamaño y aspecto variable, por ejemplo: el Centro Poblado Huangamarca, litológicamente conformada por la Formación Chúlec y Depósitos Cuaternarios, mostrando coloraciones cremas a amarillentas, siendo materiales deleznable por su baja compacidad, presentando profundizaciones valle por: lavaje pluvial contribuyendo al ensanchamiento de la parte baja a intermedia de este sector desde la progresiva: Km. 03+000 – Km 07+ 540. El segundo sector se ubica desde la progresiva: Km. 00+000 – Km. 03+000, formando desfiladeros predominantes siendo la profundidad muy excedente que el ancho del Río Llaucan, transportando su drenaje fluvial materiales angulosos a sub-angulosos de diámetros: 0.50 m a 1.20 m., con cierta composición limo arenosa. Reflejando por controles geoestructurales que se ubican horizontalmente, conformados por estratos débiles y fuertemente alternantes, evidenciándose en a partes intermedia y bajas de las terrazas.

Las geoestructuras están relacionadas con las formaciones geológicas, presentando plegamientos de orientaciones: NE-SW y WSW-ENE relacionados con: sinclinales y anticlinales, ubicando los ejes de las estructuras principales en las progresivas: Km. 00+140 y Km. 04+180, de la carretera. El cartografiado geoestructural presenta tres tipos de fallas: dextrales, sinestrales e inversas; ubicadas desde la progresiva: Km. 00+000 a Km. 00+580, en el flanco derecho de la carretera siendo la zona estructuralmente más afectada por fallamientos tectónicos, evidenciándose un control estructural de orientación NNW-SSE, por el espejo de falla sinestral con orientación: Az = 176°, Bz = 84°SW y pitch = 42, en la progresiva Km. 00+440 con valores de esfuerzos: $\sigma_1 = 23.40^\circ$, $\sigma_2 = 47.70^\circ$ y $\sigma_3 = 33.00^\circ$. Sin embargo, realizando el agrupamiento de espejos de fallas se obtuvo lo siguiente: **fallas dextrales** presentando orientaciones: Az = 258° - 330°, Bz = 53° - 83°NW a NE y pitch = 5° - 34°; con esfuerzos: $\sigma_1 = 12^\circ - 38^\circ$, $\sigma_2 = 49^\circ - 79^\circ$ y $\sigma_3 = 2^\circ - 14^\circ$; y **fallas sinestrales** con orientación: Az = 175° - 286°, Bz = 80° - 85°SW a NW y pitch = 34° - 42°; obteniendo esfuerzos: $\sigma_1 = 23^\circ - 27^\circ$, $\sigma_2 = 47^\circ - 58^\circ$ y $\sigma_3 = 16^\circ - 58^\circ$; aplicando la teoría de Anderson, Ramsey y driedos rectos,

se concluye que los esfuerzos principales: SSE-NNW a NNE-SSW (falla dextral) y NW-SE (falla sinistral).

La relación litomorfoestructural, está dado por los componentes litológicos, morfológicos y las estructurales (fracturas, diaclasas y fallas), tienen una gran relación, debido a que estos componentes son agentes que provocan en mayor parte la inestabilidad de los taludes, tales como en los taludes del M-1 al M-3 , se encuentran inestables por causa del material poco cohesivo y de gran pendiente que favorecen a la inestabilidad, además de las precipitaciones y del agua freática ; así como en el talud M-5 afectan directamente las discontinuidades que se proyectan a favor del plano del talud , formándose roturas planares y en cuña, teniendo como resultado factores de seguridad muy bajos, es por ello que en algunos casos se propuso disminuir la pendiente , construir muros de contención y el desquinchado de rocas.

Tabla 4.1. Precipitación máxima en 24 horas a altitud media de la microcuenca.

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁXIMA
2013	27.20	64.20	68.30	20.10	35.70	2.50	2.20	2.20	7.50	42.10	9.50	44.20	68.30
2014	38.00	48.10	54.30	20.60	35.70	0.80	0.60	1.70	18.20	18.90	43.00	47.50	54.30
2015	49.90	12.40	83.10	24.90	38.20	16.00	1.10	3.80	0.90	41.10	30.10	17.50	83.10
2016	25.80	18.10	30.50	55.50	3.70	9.60	3.10	4.30	25.40	26.90	15.90	63.80	63.80
2017	126.70	61.00	198.10	83.60	70.10	15.00	0.00	19.10	44.30	132.70	60.40	54.60	198.10
2018	73.10	92.10	44.50	83.80	104.00	15.50	8.40	1.40	4.50	103.00	144.30	41.20	144.20
2019	31.60	80.40	16.39	75.90	55.20	9.60	12.80	0.60	8.60	101.40	111.50	102.20	111.50
2020	34.40	19.50	56.60	90.50	29.40	8.00	65.00	10.20	103.50	28.50	93.80	139.40	139.40
Total	50.80	49.50	69.00	56.90	46.50	9.60	11.70	5.40	26.60	61.80	63.60	63.80	107.80

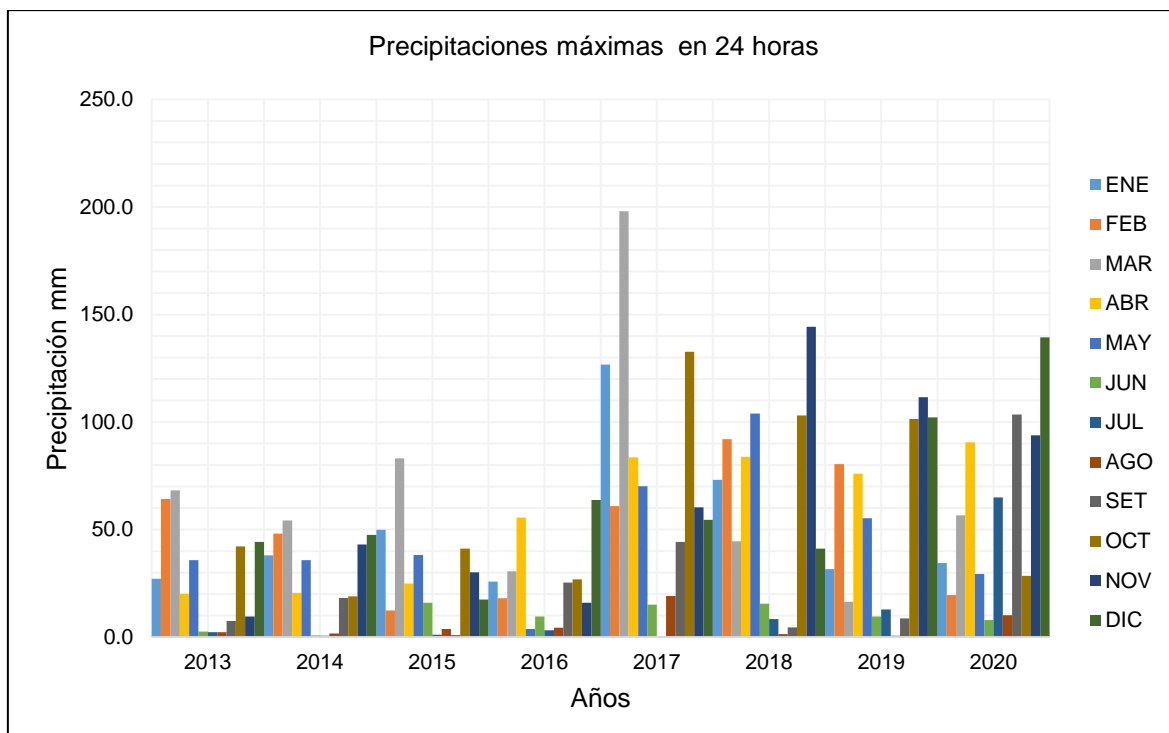


Figura 4.1. Precipitación máxima estación de Bambamarca.

Sin embargo, la influencia de acuíferos sedimentario en las laderas antes del corte, a perjudicando hidrogeológicamente el trazo de la carretera, generado inestabilidad como: deslizamiento, cárcavas, etc.

El cartografiado geotécnico se basó en identificar tramos críticos de taludes principalmente relevantes que están afectado a la carretera en suelos y rocas, aplicando diferentes criterios en función de las variables: litología, morfología, geoestructuras, hidrología e hidrogeología. Sin embargo, el análisis en suelos se basó en función de protocolos, por ejemplo: muestreo, dimensiones de calicata, cantidad de muestra, ensayos de laboratorio y análisis en interpretación de datos. En cambio, en taludes rocosos estuvo en función del grado de inestabilidad (ruptura: planar y cuña) en relación a su resistencia y propiedades de las discontinuidades y criterios empíricos, para obtener resultados importantes para el mejoramiento de la carretera terrestre entre el Puente el Obispo – centro poblado Huangamarca.

Tabla 4.2. Resultados de los ensayos de laboratorio de mecánica de suelos.

Talud	Longitud (m.)	Porcentajes granulométricos				Clasificación de suelos		Ensayos de Atterberg		
		% Bolones	% Grava	% Arena	% Arcilla	SUCS	AASHTO	LL	LP	IP
M-1	40	0.00	20.46	25.24	54.31	CL	A-6-4	33.71	21.26	12.00
M-2	30	0.00	0.00	65.20	34.80	SM	A-2-4	32.50	24.42	8.08
M-3	40	0.00	68.30	7.30	24.40	GM	A-2-7	42.49	28.53	13.96
M-4	50	0.00	34.30	40.50	25.20	SM	A-2-4	35.43	24.68	10.75

Tabla 4.3. Reporte del factor de seguridad de taludes en suelo.

Talud	FS - Talud estado natural			FS - Talud remediado		
	Bishop simplificado	Spencer	Morgenstern-Price	Bishop simplificado	Spencer	Morgenstern-Price
M-1	0.636	0.634	0.637	1.259	1.252	1.255
M-2	0.534	0.526	0.532	1.380	1.338	1.354
M-3	Estable					
M-4	0.128	0.123	0.220	1.398	1.388	1.295

Tabla 4.4. Método de estabilización de tramos críticos.

Talud	Método de mejoramiento	Causa
M-1	Muro de gravedad - mampostería	Nivel freático
M-2	Muro i - mampostería	Nivel freático
M-3	Biomanta, revegetación y anclajes	Aguas pluviales
M-4	Gaviones y cuneta	Aguas pluviales

Tabla 4.5. Constantes de Hoek - Brown y Mohr - Coulomb, aplicando software RocData.

Estación	Criterio Hoek - Brown							Criterio Mohr - Coulomb	
	mi	D	Ei (MPa)	mb	s	Em (MPa)	a	c (MPa)	ϕ°
M-5	12	0.70	149,784	1.487	0.0041	33,750.55	0.502	9.126	29.50

La proyección estereográfica mostro inestabilidades en la M-5, siendo muy vulnerables a caídas de rocas, aplicando los modelos numéricos se corrobora las inestabilidades en este tramo. Para minimizar las inestabilidades se debe desquinchar el talud.

Tabla 4.6. Resultados de probabilidad de ruptura según Dips y Factor de Seguridad según RocPlane y Swedge.

Talud	Dips		Condición	Análisis numérico	
	Probabilidad de ruptura			RocPlane	Swedge
	Planar (%)	Cuña (%)		FS	FS
M-5	34.15	36.10	Inestable	1.190	1.117

4.2 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Como se puede observar con los resultados finales obtenidos de la evaluación geotécnica de los taludes taludes, se logró determinar que la inestabilidad de los taludes están condicionados principalmente por la litología (rocas de muy mala calidad , según el RQD y RMR ; y en suelos bajo cohesión y alto contenido de humedad) , geomorfología y estructuras (conjunto de discontinuidades que forman roturas en cuña y planares) , así como también como agentes externos como la precipitación, filtraciones de agua subterránea, evidenciándose en movimientos de masa, bloques de roca caídos al pie de taludes, presencia de grietas de tracción y Cicatrices que evidencien planos de rotura. Es por ello que depende a los diferentes factores de seguridad encontrado en cada uno de los taludes, se planteó distintas medidas para su estabilización como son; muros enrocados, gaviones, biomanta, y desquinchado en rocas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

El cartografiado geológico de la carretera comprendida entre el Puente el Obispo – centro poblado Huangamarca, litológicamente se ha emplazada en cinco Formaciones Geológicas: Chúlec (Km. 03+600 –Km. 07+540), Pariatambo (Km. 01+350 – Km. 03+600), Grupo Pulluicana (Km. 00+740 - Km. 01+330), Grupo Quilquiñan (Km. 00+340 - Km. 00+740) y Cajamarca (Km. 00+000 - Km. 00+340), pertenecientes al Cretácico: Inferior y Superior.

Las propiedades geomecánicas están relacionadas con la M-5 progresiva Km. 00+200 – Km. 00+300, ubicada en la Formación Cajamarca levemente meteorizadas con leve fracturamiento, conformando bloques irregulares, en el afloramiento rocoso, clasificándolo como R5 (3 golpes), con resistencia a la compresión uniaxial de 187.23 MPa. Y empíricamente como: RQD = 81.86%, RMR = 67 y GSI = 62; clasificándolo como roca de calidad buena, en función de sus propiedades geotécnicas y criterios empíricos de la roca.

El comportamiento geotécnico de los taludes está influenciado por los factores litomorfoestructurales, factores geométricos, geomecánicos y variables desencadenantes como la presencia de agua, generando la inestabilidad en suelo (Definiendo las inestabilidades los niveles freáticos y la escorrentía pluvial) y en rocas (La ruptura: planar (D-1 y T) 34.15% y cuña (D-1 y D-2) 36.10).

Los factores de seguridad obtenidos en cada uno de los taludes críticos analizados son menores a 1 en suelos, teniendo a M-1 (FS = 0.636), M-2 (FS = 0.531) y M-4 (FS = 0.155) en estado natural, siendo tramos críticos para la remediación geotécnica su factor de seguridad supero 1.1 como:

M-1 (FS = 1.255), M-2 (FS = 1.357) y M-4 (FS = 1.360) En cambio, en rocas con FS menores a 1.2 como ruptura: planar (FS = 1.190) y ruptura en cuña (FS = 1.117).

Las medidas de estabilización están relacionadas con los diseños : económicos y estéticos de los tramos críticos, como el M-1 (Muro de gravedad - mampostería), M-2 (Muro i - mampostería), M-3 (Biomanta, revegetación y anclaje) y M-4 (gaviones y cunetas); proponiendo estas mejoras mediante el software slide para su diseño de aprobación geotécnica.

5.2 RECOMENDACIONES

Realizar ensayos geofísicos para determinar la profundidad del nivel freático, que está afectado a los taludes M-1 y M-2.

Se recomienda a la Municipalidad de Bambamarca realizar la remediación de los taludes en función a lo planteado, con el fin de mejorar la estabilización.

Realizar ensayos geofísicos para determinar la profundidad del nivel freático, que está afectado a los taludes M-1 y M-2.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bieniawski, Z. (1989). Clasificación de masa rocosa ingenieril. New York-Universidad del Estado de Pensilvania: Edición: Jhon Wiley & Sons.
- Dávila, B. (2011). Diccionario geológico. Ingemmet. Perú – Callao.
- Corominas, J (1979). *Impactos de sobre riesgos naturales de origen climático*. B. Riesgo de inestabilidad de laderas. Impactos del cambio climático en España. P. 549-579.
- Corominas, J (2007). Tipo de rotura en laderas y taludes. Págs. 1-17. disponible en https://www.academia.edu/12392886/TIPOS_DE_ROTURA_EN_LADERAS_Y_TALUDES.
- Gallardo, A; Guerrero, B; Macgregor, T. (2013). Investigación geotécnica para la estabilización de las laderas del Barrio San Fermín, municipio de Ocaña, departamento de Norte de Santander (Colombia). Revista INGE CUC, Vol. 9, N° 2, p. 66-74.
- Gavilanes, J; Andrade, H. (2004). Introducción a la Ingeniería de Túneles: Caracterización, clasificación y análisis geomecánico de macizo rocoso. Editorial: AIME, Quito – Ecuador.
- González de Vallejo, LI; Mercedes, F; Ortuño, L; Oteo, C. (2002). Ingeniería Geológica. 1 ed. Madrid, España, Pearson Education. p. 117-262, 430-469.
- Marinos, P; Hoek, E. (2000). GSI: A Geologically Friendly Tool for Rock Mass Strength Estimation. Proceedings of the GeoEng 2000 at the International Conference on Geotechnical and Geological Engineering. 19-24 nov. 2000. 1422-1446.
- Hoek, E., Carranza, T., y Corkum, B. (2001). El criterio de rotura de Hoek – Brown – Edición 2002. London: Consuting Engineer & University of Minnesota & RocScience Inc. disponible en https://www.rocscience.com/documents/pdfs/library/RL_3.pdf.

- Hoek, E., Carter, T., y Diederichs, M. (2013). Capítulo de la cuantificación del Índice geológico de resistencia. 47^{ma} mecánica de rocas/ Ponencia geomecánica en San Francisco, CA, USA.
- Hoek, E; Carter, TG; Diederichs, MS. (2013). Quantification of the Geological Strength Index Chart. Ed. rev. San Francisco, CA, USA, ARMA. 9 p. Prepared For Presentation at 47th US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium.
- Hoek, E; Diederichs, MS. (2006). Empirical Estimation of Rock Mass Modulus. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 43(2): 203-215.
- Mercado, F. (2014). Análisis de estabilidad de taludes de la carretera Encañada – Celendín, Tramo Km. 52+000 – Km. 94+400 (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca.
- Montoya, FR. (2014). Evaluación geotécnica de los taludes de la carretera Cruz Blanca – El Gavilán. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca.
- Ocón, P. (2015). Realizo la “evaluación geotécnica de inestabilidad de taludes de la carretera Hualgayoc - Apan Alto”. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca.
- Suárez, J. (2009). Deslizamiento: Análisis Geotécnico. 1 ed. Bucaramanga, Colombia, Universidad Industrial de Santander. p. 127-157.
- Wilson, J. (1984). Boletín N°31 Serie A. Carta Geológica Nacional: Geología de los cuadrángulos de Jayanca, Incahuasi, Cutervo, Chiclayo, Chongoyape, Chota, Celendín, Pacasmayo, Chepén. Lima – Perú: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET).
- Zabala, C; Rosado, S. (2011). Riesgos geológicos en la región de Cajamarca. Lima. Perú. Disponible en <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/300?mode=full>

ANEXOS

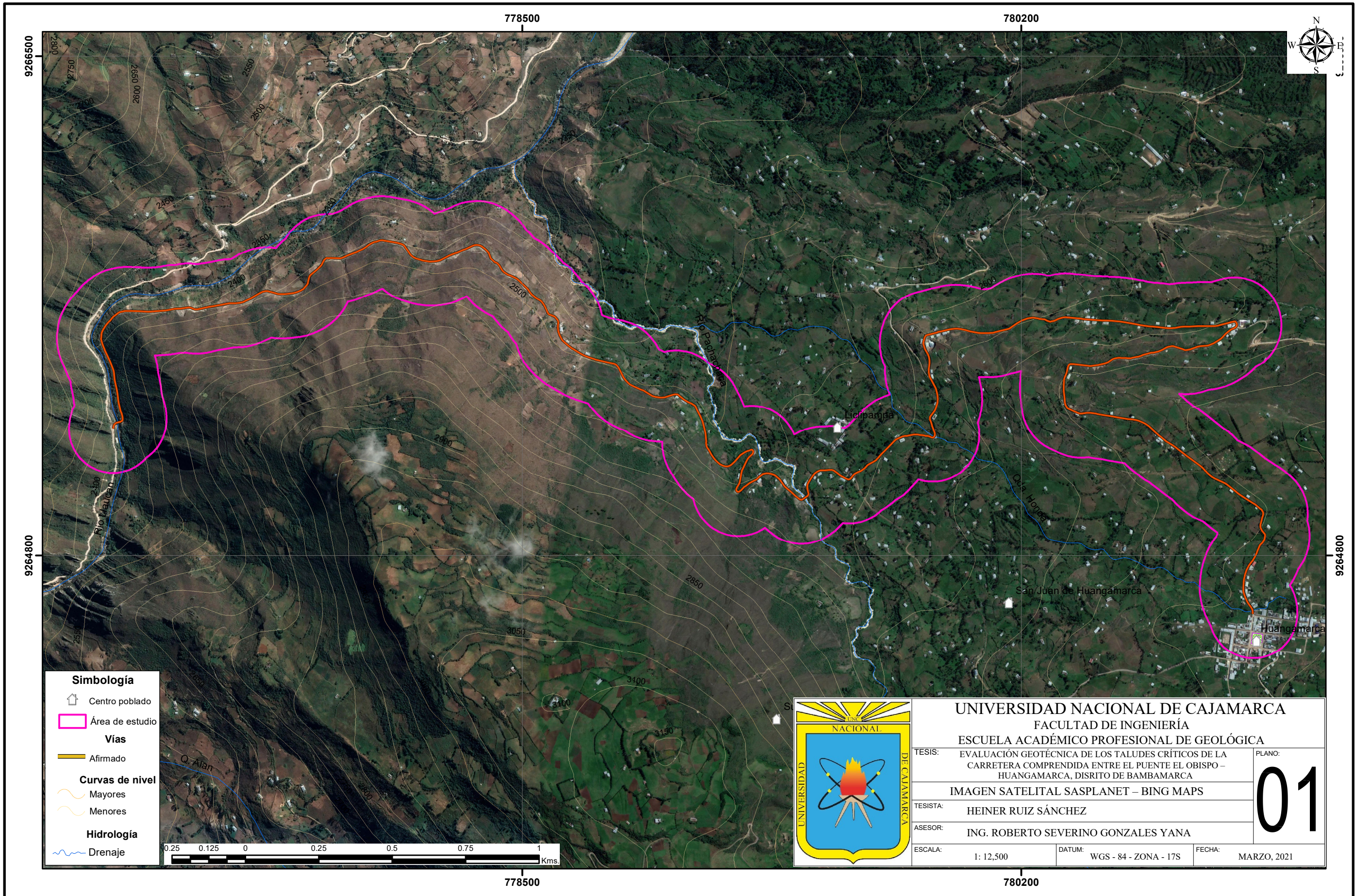
A. DATOS GEOMECÁNICOS DE CAMPO.

B. PLANOS

- 01. Plano satelital.**
- 02. Plano de Ubicación.**
- 03. Plano Geológico Estructural local.**
- 04. Plano de Unidades Geomofométricas.**
- 05. Plano Geomorfológico Altitudinal.**
- 06. Plano Geodinámico.**
- 07. Plano Geotécnico.**
- 08. Planos de Zonificación.**

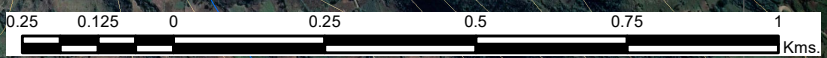
Tabla 5.1. Registro geológico geotécnico - estación geomecánica 1.

REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO				TESIS	EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS TALUDES CRÍTICOS DE LA CARRETERA COMPRENDIDA ENTRE EL PUENTE EL OBISPO – HUANGAMARCA, DISRITO DE BAMBAMARCA										BENIAWSKY RMR (1989) Superficie								
UBICACIÓN				Flanco derecho de la carretera Puente El Obispo Huangamarca																			
CÓDIGO	E-1			TRAMO	5	DE	Km. 00+200			A	Km. 00+300												
RESPONSABLE	Heiner Ruiz Sánchez			HOJA N°	1	DE																	
SISTEMA	WGS	84	ZONA 17S	EJECUTADO POR	Heiner Ruiz Sánchez					FECHA	06/03/2021												
DIS. Nro	DATA GPS			MACIZO ROCOSO	PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS																		
	ESTE (m.)	NORTE (m.)	COTA (msnm.)		UTOLÓGIA FORMAC.	METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	TIPOS	RESIST. COMP. UNIAJ.	RQD TRAMO		ORIENTACIÓN			ESPACIADO(m)	PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC. METEOR.	AGUA
					1=Fresco	1=Alto	1=Bloq-Regul.	E=Estratificada	O _{ci}	ND	17	DIRECCIÓN			1=>2	1=<1	1= Nada	1=Muy Rug.	1=Arcilloso	1=Ninguna	1=Inalterada	1=Seco	1=Lec. Real
				2=Lev. Met.	2=Mediano	2=Bloq-Irreg.	D=Diaclasa	L		2.2	3=0.6-0.2												
					3=Mod	3=Bajo	3=Bloq-Capas	Fd=F.Directa	Prom. Golpes	λ	7.73	Z/R	DIP	DD	5=<0.06	5=>20	5=>5	5=Suave	5=Roca Tritur.	5=Suave>5mm	5=Descomp.	5=Flujo	3=Lec. Proy.
					4=Alt. Met.		4=Fract-Intens	mf=Microfalla	3 Golp	γ _p									6=Bx				
					5=Compl.		Agregar MB,B,M,P,MP	SE=Sobrees.											7=Panizo				
							C=Contacto												8=Veta				
																			9=Epsonita				
																			10=Aragonito				
																			11=Pirolusita				
1	777108.24	9265440.75	2426.00	Ks-Ca	2	2	2	E	R5 (187.23MPa)	81.86	310	65	40	2	3	4	4	4	1	5	2	2	1
2				Calizas gris azuladas de grano fino, con relleno de arcilla	2	2	2	E	R5 (187.23MPa)	81.86	320	52	50	3	3	5	5	5	1	5	2	2	1
3					2	2	2	E	R5 (187.23MPa)	81.86	315	48	45	3	3	4	5	1	5	2	2	2	1
4					2	2	2	E	R5 (187.23MPa)	81.86	322	59	52	4	3	4	5	1	5	2	2	2	1
5					2	2	2	E	R5 (187.23MPa)	81.86	318	61	48	3	3	5	4	1	5	2	2	2	1
6					2	2	2	E	R5 (187.23MPa)	81.86	324	42	54	4	3	4	5	1	5	2	2	2	1
7					2	2	2	E	R5 (187.23MPa)	81.86	332	53	62	2	3	4	5	1	5	2	2	2	1
8					2	2	2	E	R5 (187.23MPa)	81.86	314	64	44	2	3	4	4	1	5	2	2	2	1
9					2	2	2	E	R5 (187.23MPa)	81.86	319	57	49	3	3	5	5	1	5	2	2	2	1
10					2	2	2	E	R5 (187.23MPa)	81.86	328	68	58	4	3	4	5	1	5	2	2	2	1
11					2	2	2	E	R5 (187.23MPa)	81.86	307	49	37	3	3	4	4	1	5	2	2	2	1
12					2	2	2	E	R5 (187.23MPa)	81.86	322	50	52	2	3	5	4	1	5	2	2	2	1
13				Ks-Ca	2	2	1	Disc-1	R5 (187.23MPa)	81.86	168	40	258	2	2	4	4	1	5	2	2	2	1
14				Calizas gris azuladas de grano fino, con relleno de arcilla	2	2	1	Disc-1	R5 (187.23MPa)	81.86	150	38	240	2	2	4	5	1	5	2	2	2	1
15					2	2	1	Disc-1	R5 (187.23MPa)	81.86	153	42	243	3	3	4	5	1	5	2	2	2	1
16					2	2	1	Disc-1	R5 (187.23MPa)	81.86	162	32	252	2	2	4	5	1	5	2	2	2	1
17					2	2	1	Disc-1	R5 (187.23MPa)	81.86	143	37	233	2	2	4	4	1	5	2	2	2	1
18					2	2	1	Disc-1	R5 (187.23MPa)	81.86	165	45	255	3	3	4	4	1	5	2	2	2	1
19					2	2	1	Disc-1	R5 (187.23MPa)	81.86	148	31	238	3	2	4	4	1	5	2	2	2	1
20					2	2	1	Disc-1	R5 (187.23MPa)	81.86	159	56	249	2	3	4	5	1	5	2	2	2	1
21					2	2	1	Disc-1	R5 (187.23MPa)	81.86	160	50	250	3	2	4	5	1	5	2	2	2	1
22					2	2	1	Disc-1	R5 (187.23MPa)	81.86	153	49	243	2	3	4	5	1	5	2	2	2	1
23					2	2	1	Disc-1	R5 (187.23MPa)	81.86	142	46	232	2	3	4	4	1	5	2	2	2	1
24					2	2	1	Disc-1	R5 (187.23MPa)	81.86	152	54	242	3	2	4	4	1	5	2	2	2	1
25					2	2	1	Disc-1	R5 (187.23MPa)	81.86	162	52	252	3	2	4	5	1	5	2	2	2	1
26					2	2	1	Disc-1	R5 (187.23MPa)	81.86	152	41	242	2	3	4	4	1	5	2	2	2	1
27				Ks-Ca	2	2	2	Disc-2	R5 (187.23MPa)	81.86	40	74	130	3	1	4	4	-	-	2	2	2	1
28				Calizas gris azuladas de grano fino, sin relleno	2	2	2	Disc-2	R5 (187.23MPa)	81.86	35	70	125	3	1	3	4	-	-	2	2	2	1
29					2	2	2	Disc-2	R5 (187.23MPa)	81.86	43	78	133	3	1	4	5	-	-	2	2	2	1
30					2	2	2	Disc-2	R5 (187.23MPa)	81.86	38	65	128	3	1	4	4	-	-	2	2	2	1
31					2	2	2	Disc-2	R5 (187.23MPa)	81.86	40	72	130	3	1	3	5	-	-	1	2	2	1
32					2	2	2	Disc-2	R5 (187.23MPa)	81.86	32	66	122	3	1	4	4	-	-	1	2	2	1
33					2	2	2	Disc-2	R5 (187.23MPa)	81.86	39	71	129	3	1	3	4	-	-	1	2	2	1
34					2	2	2	Disc-2	R5 (187.23MPa)	81.86	42	79	132	3	1	3	4	-	-	1	2	2	1
35					2	2	2	Disc-2	R5 (187.23MPa)	81.86	36	62	126	3	1	3	5	-	-	2	2	2	1
36					2	2	2	Disc-2	R5 (187.23MPa)	81.86	44	76	134	3	1	4	5	-	-	2	2	2	1
37					2	2	2	Disc-2	R5 (187.23MPa)	81.86	32	63	122	3	1	4	5	-	-	2	2	2	1
38					2	2	2	Disc-2	R5 (187.23MPa)	81.86	39	59	129	3	1	3	4	-	-	1	2	2	1
39					2	2	2	Disc-2	R5 (187.23MPa)	81.86	41	70	131	3	1	4	5	-	-	3	2	2	1
40					2	2	2	Disc-2	R5 (187.23MPa)	81.86	34	62	124	3	1	4	4	-	-	1	2	2	1
								Talud			158	55	248										

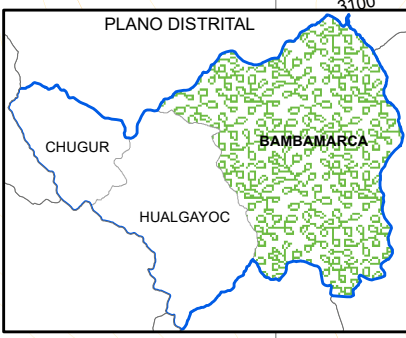
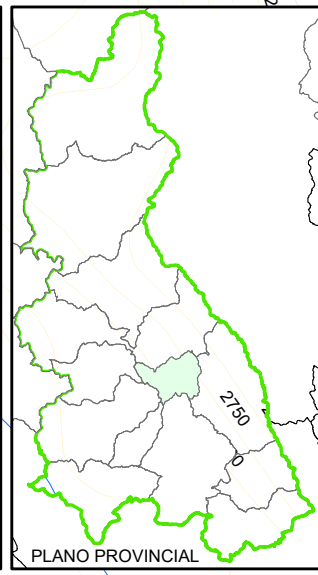
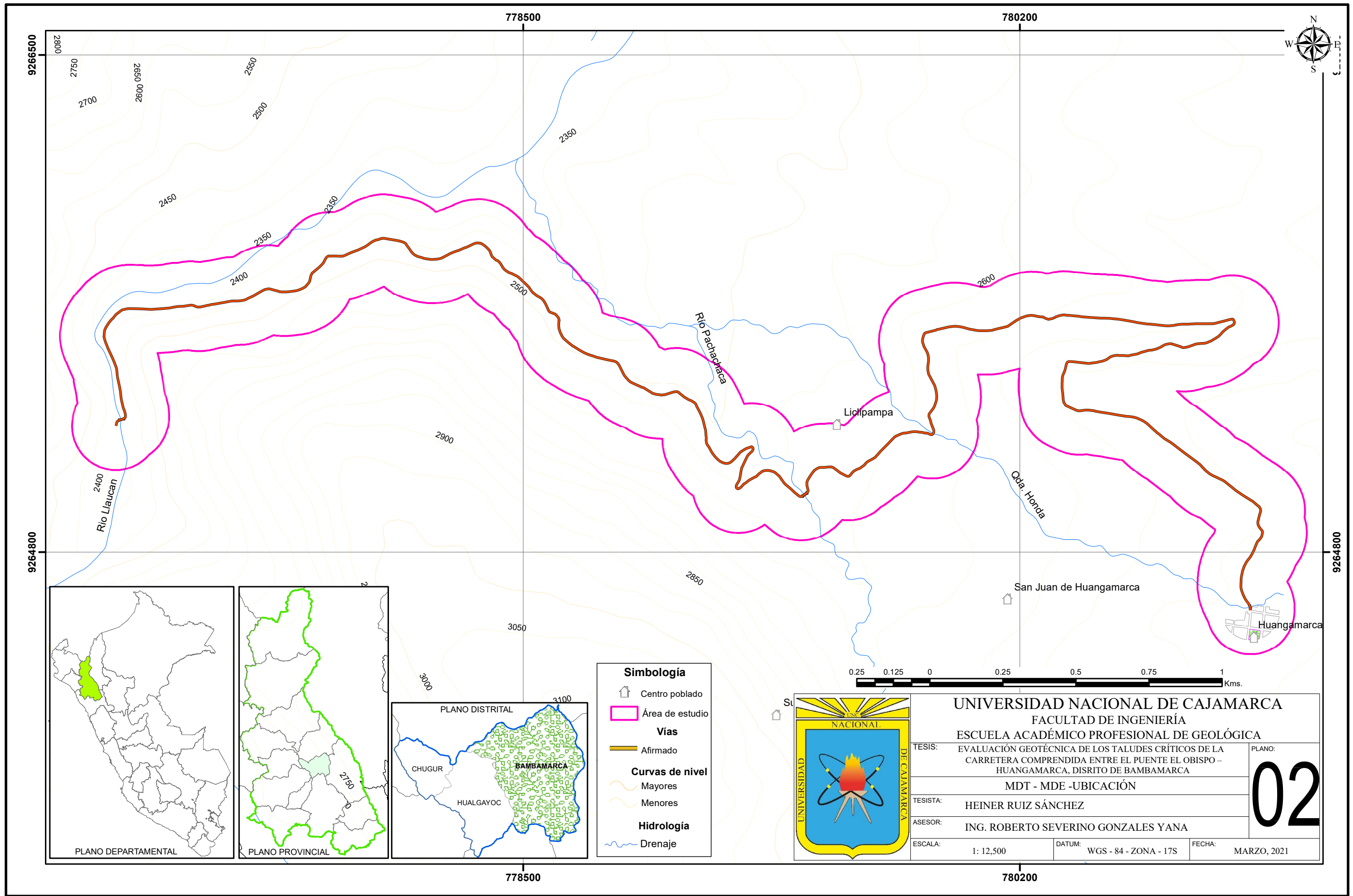


Simbología

- Centro poblado
- Área de estudio
- Vías**
- Afirmado
- Curvas de nivel**
- Mayores
- Menores
- Hidrología**
- Drenaje



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		
FACULTAD DE INGENIERÍA		
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE GEOLÓGICA		
TESIS:	EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS TALUDES CRÍTICOS DE LA CARRETERA COMPRENDIDA ENTRE EL PUEBLO EL OBISPO – HUANGAMARCA, DISRITO DE BAMBAMARCA	PLANO:
		01
TESISTA:	HEINER RUIZ SÁNCHEZ	
ASESOR:	ING. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA	
ESCALA:	1: 12,500	DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S
		FECHA: MARZO, 2021

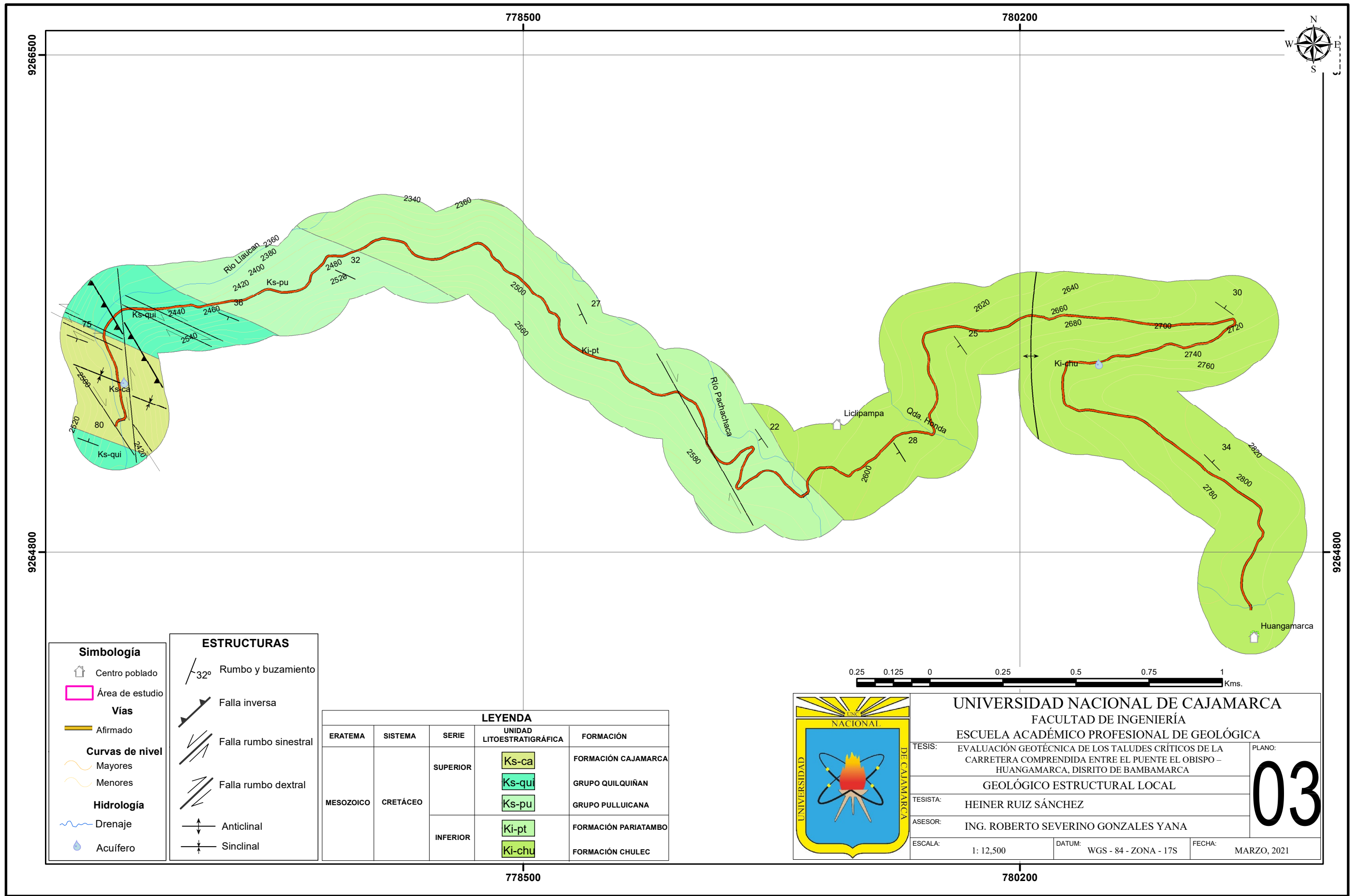


Simbología

- Centro poblado
- Área de estudio
- Vías**
- Afirmado
- Curvas de nivel**
- Mayores
- Menores
- Hidrología**
- Drenaje



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		
FACULTAD DE INGENIERÍA		
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE GEOLÓGICA		
TESIS:	EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS TALUDES CRÍTICOS DE LA CARRETERA COMPRENDIDA ENTRE EL PUENTE EL OBISPO – HUANGAMARCA, DISRITO DE BAMBAMARCA	PLANO:
		02
TESISTA:	HEINER RUIZ SÁNCHEZ	
ASESOR:	ING. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA	
ESCALA:	1: 12,500	DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S
		FECHA: MARZO, 2021



Simbología

- Centro poblado
- Área de estudio
- Vías**
- Afirmado
- Curvas de nivel**
- Mayores
- Menores
- Hidrología**
- Drenaje
- Acuífero

ESTRUCTURAS

- Rumbo y buzamiento
- Falla inversa
- Falla rumbo sinistral
- Falla rumbo dextral
- Anticlinal
- Sinclinal

LEYENDA

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	FORMACIÓN
MESOZOICO	CRETÁCEO	SUPERIOR	Ks-ca	FORMACIÓN CAJAMARCA
			Ks-qui	GRUPO QUILQUIÑAN
			Ks-pu	GRUPO PULLUICANA
		INFERIOR	Ki-pt	FORMACIÓN PARIATAMBO
			Ki-chu	FORMACIÓN CHULEC



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

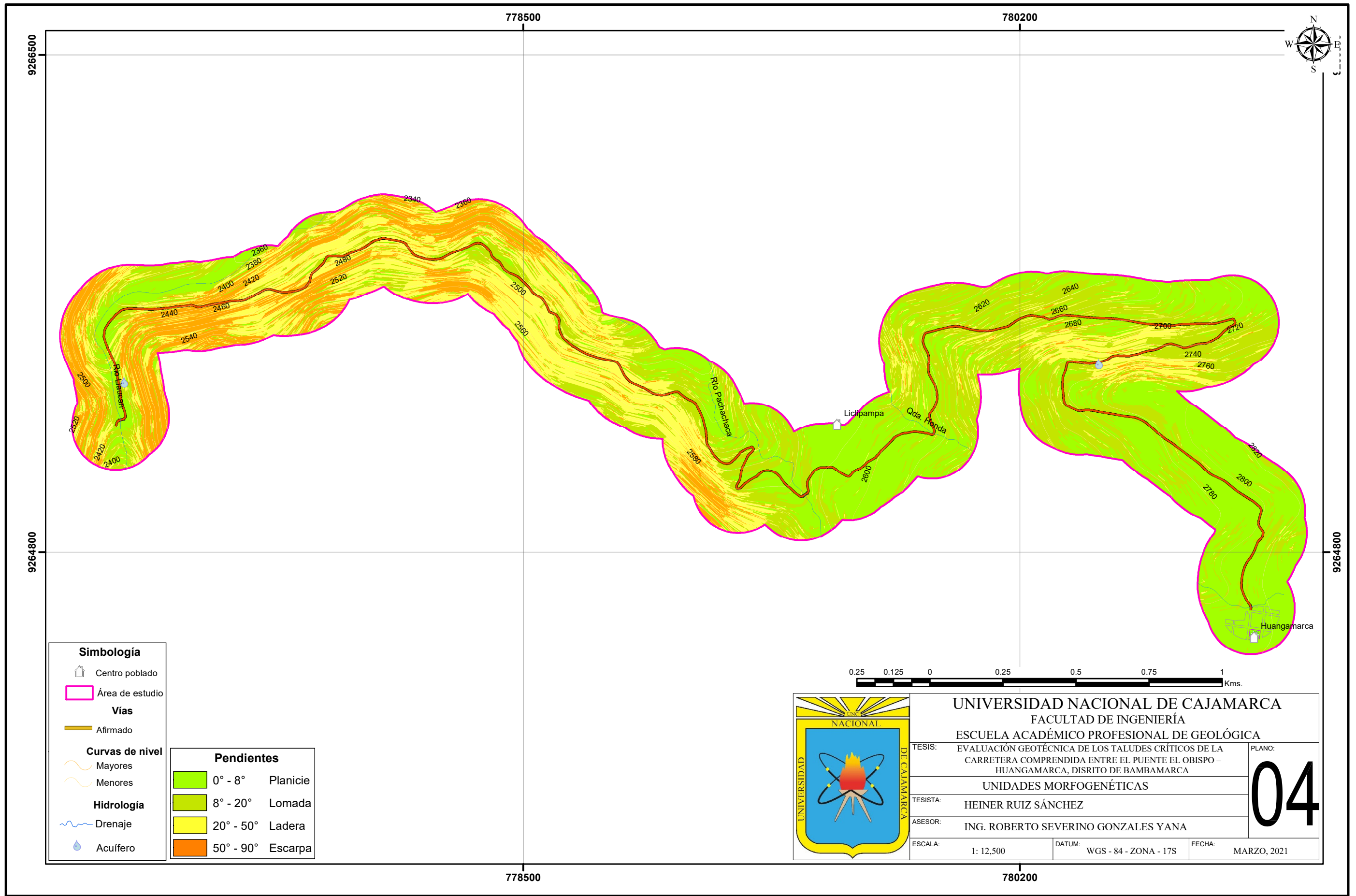
TESIS: EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS TALUDES CRÍTICOS DE LA CARRETERA COMPRENDIDA ENTRE EL PUENTE EL OBISPO – HUANGAMARCA, DISRITO DE BAMBAMARCA

TESISTA: HEINER RUIZ SÁNCHEZ

ASESOR: ING. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA

ESCALA: 1: 12,500 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: MARZO, 2021

PLANO: **03**



Simbología

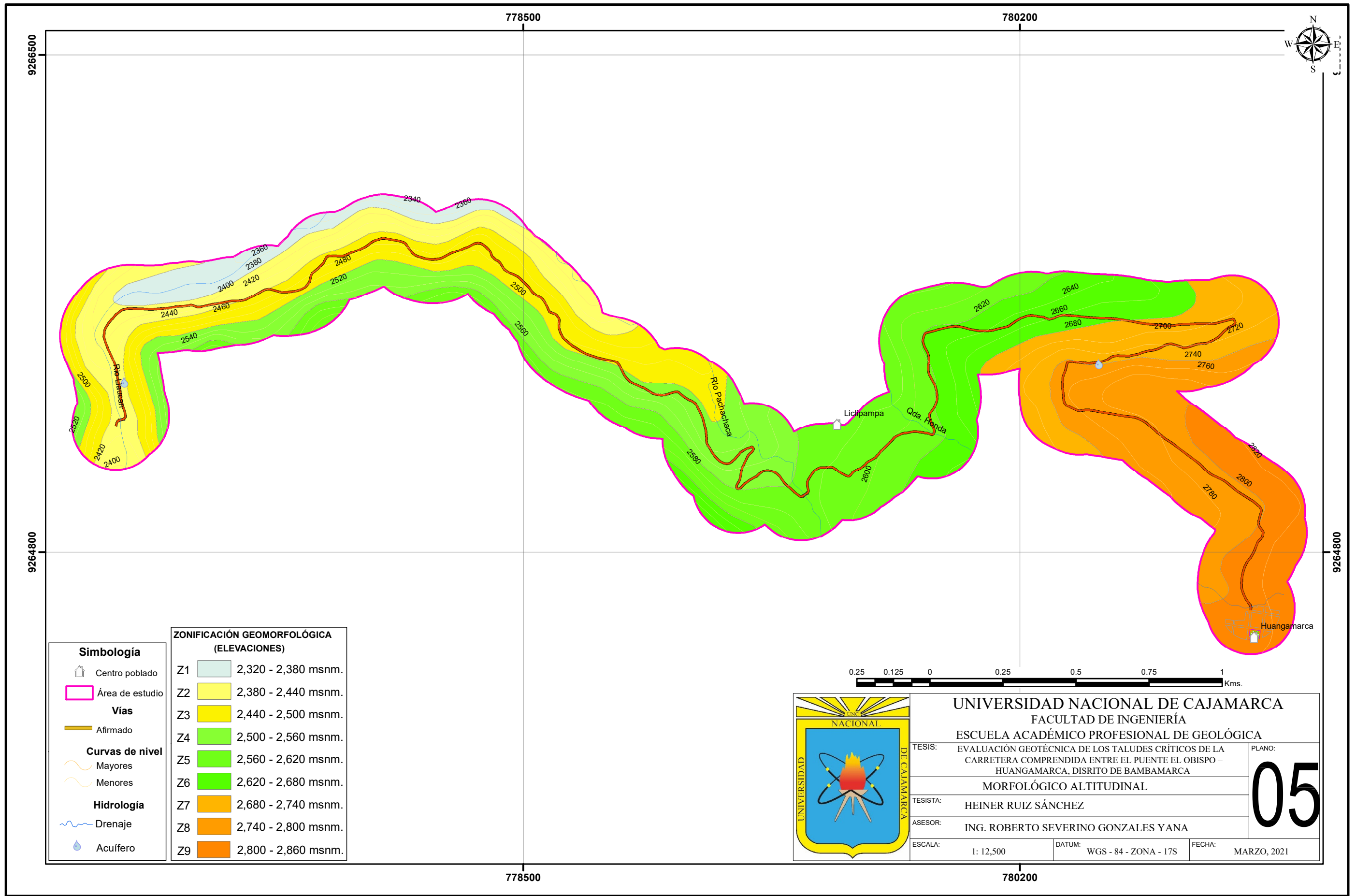
	Centro poblado
	Área de estudio
Vías	
	Afirmado
Curvas de nivel	
	Mayores
	Menores
Hidrología	
	Drenaje
	Acuifero

Pendientes

	0° - 8°	Planicie
	8° - 20°	Lomada
	20° - 50°	Ladera
	50° - 90°	Escarpa



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		
FACULTAD DE INGENIERÍA		
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE GEOLÓGICA		
TESIS:	EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS TALUDES CRÍTICOS DE LA CARRETERA COMPRENDIDA ENTRE EL PUENTE EL OBISPO – HUANGAMARCA, DISRITO DE BAMBAMARCA	PLANO:
		04
UNIDADES MORFOGENÉTICAS		
TESISTA:	HEINER RUIZ SÁNCHEZ	
ASESOR:	ING. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA	
ESCALA:	1: 12,500	DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S
		FECHA: MARZO, 2021




Simbología

- Centro poblado
- Área de estudio
- Vías**
- Afirmado
- Curvas de nivel**
- Mayores
- Menores
- Hidrología**
- Drenaje
- Acuífero

ZONIFICACIÓN GEOMORFOLÓGICA (ELEVACIONES)

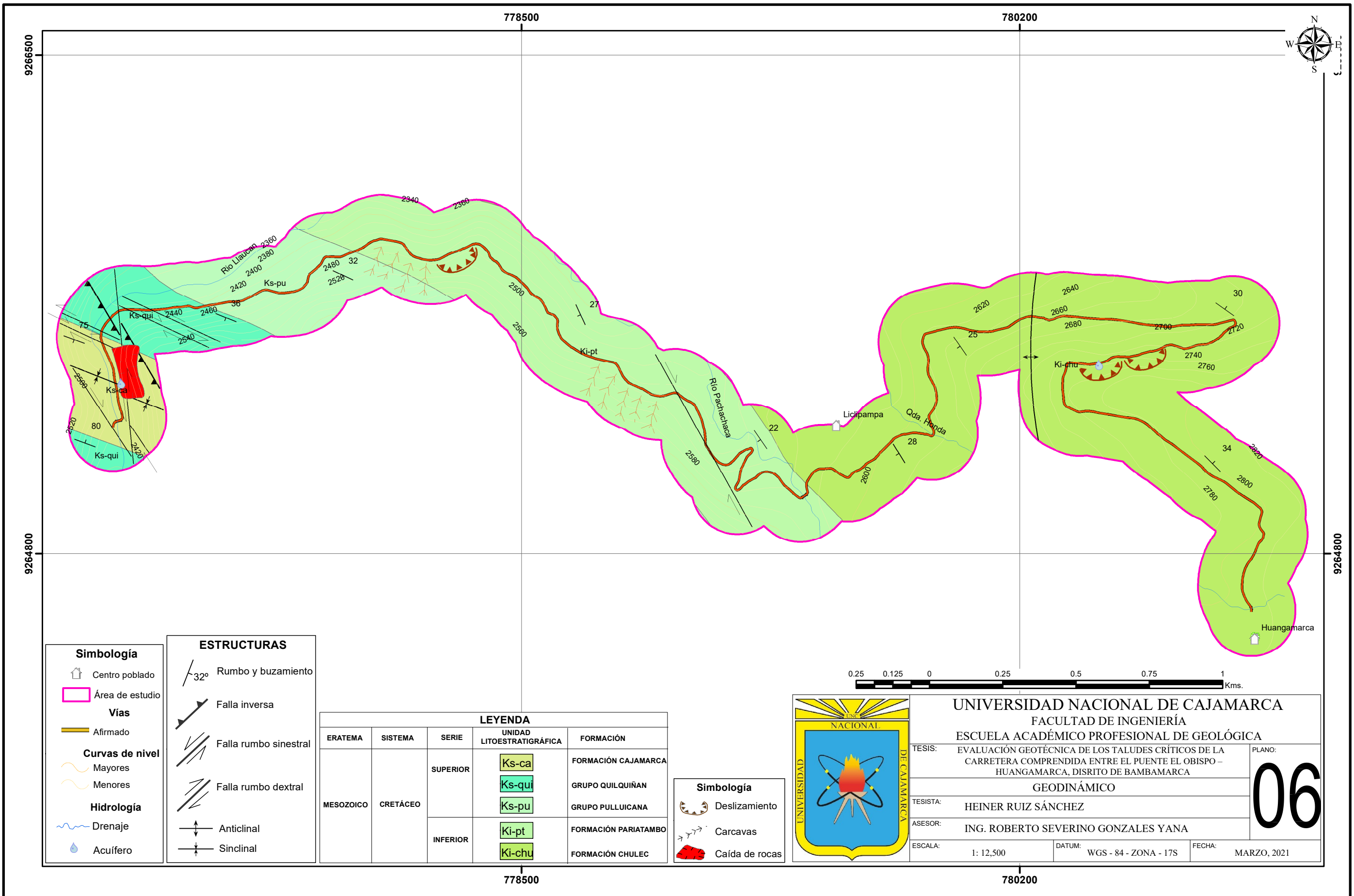
Z1	2,320 - 2,380 msnm.
Z2	2,380 - 2,440 msnm.
Z3	2,440 - 2,500 msnm.
Z4	2,500 - 2,560 msnm.
Z5	2,560 - 2,620 msnm.
Z6	2,620 - 2,680 msnm.
Z7	2,680 - 2,740 msnm.
Z8	2,740 - 2,800 msnm.
Z9	2,800 - 2,860 msnm.

0.25 0.125 0 0.25 0.5 0.75 1 Kms.



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

TESIS:	EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS TALUDES CRÍTICOS DE LA CARRETERA COMPRENDIDA ENTRE EL PUENTE EL OBISPO – HUANGAMARCA, DISRITO DE BAMBAMARCA	PLANO:	05
MORFOLÓGICO ALTITUDINAL			
TESISTA:	HEINER RUIZ SÁNCHEZ		
ASESOR:	ING. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA		
ESCALA:	1: 12,500	DATUM:	WGS - 84 - ZONA - 17S
		FECHA:	MARZO, 2021



Simbología

- Centro poblado
- Área de estudio
- Vías**
- Afirmado
- Curvas de nivel**
- Mayores
- Menores
- Hidrología**
- Drenaje
- Acuifero

ESTRUCTURAS

- Rumbo y buzamiento 32°
- Falla inversa
- Falla rumbo sinistral
- Falla rumbo dextral
- Anticlinal
- Sinclinal

LEYENDA

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	FORMACIÓN
MESOZOICO	CRETÁCEO	SUPERIOR	Ks-ca	FORMACIÓN CAJAMARCA
			Ks-qui	GRUPO QUILQUIÑAN
		Ks-pu	GRUPO PULLUICANA	
		INFERIOR	Ki-pt	FORMACIÓN PARIATAMBO
			Ki-chu	FORMACIÓN CHULEC

Simbología

- Deslizamiento
- Carcavas
- Caída de rocas



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

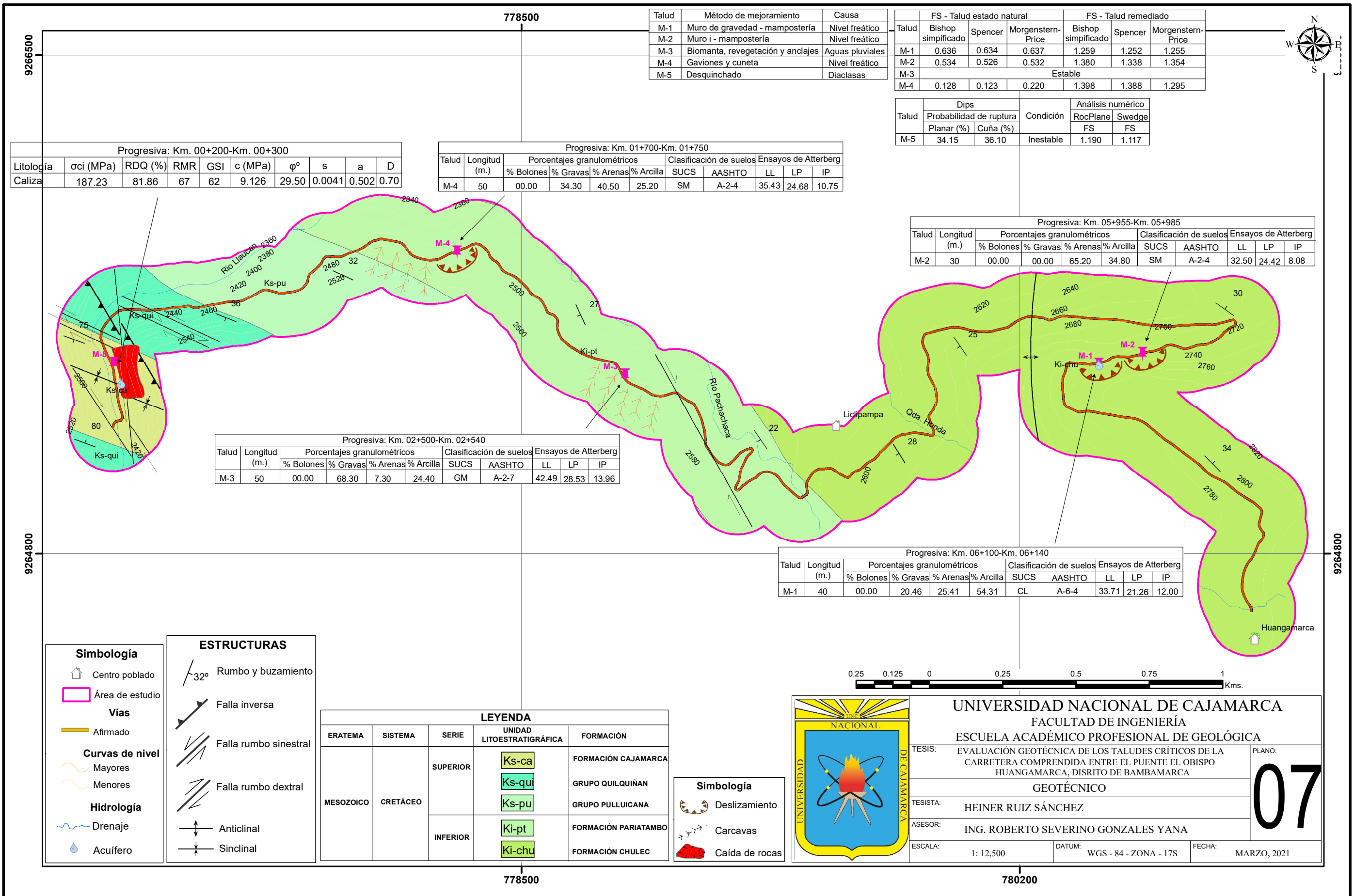
TESIS: EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS TALUDES CRÍTICOS DE LA CARRETERA COMPRENDIDA ENTRE EL PUENTE EL OBISPO – HUANGAMARCA, DISRITO DE BAMBAMARCA

TESISTA: HEINER RUIZ SÁNCHEZ

ASESOR: ING. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA

ESCALA: 1: 12,500 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: MARZO, 2021

PLANO: **06**



Talud	Método de mejoramiento	Causa
M-1	Muro de gravedad - mampostería	Nivel freático
M-2	Muro i - mampostería	Nivel freático
M-3	Biomanta, revegetación y anclajes	Aguas pluviales
M-4	Gaviones y cuneta	Nivel freático
M-5	Desquinchado	Diaclasas

Talud	FS - Talud estado natural			FS - Talud remediado		
	Bishop simplificado	Spencer	Morgenstern-Price	Bishop simplificado	Spencer	Morgenstern-Price
M-1	0.636	0.634	0.637	1.259	1.252	1.255
M-2	0.534	0.526	0.532	1.380	1.338	1.354
M-3	Estable					
M-4	0.128	0.123	0.220	1.398	1.388	1.295

Talud	Dips		Condición	Análisis numérico	
	Probabilidad de ruptura Planar (%)	Cuña (%)		RocPlane FS	Swedge FS
M-5	34.15	36.10	Inestable	1.190	1.117

Progresiva: Km. 00+200-Km. 00+300									
Litología	oci (MPa)	RDQ (%)	RMR	GSI	c (MPa)	φ°	s	a	D
Caliza	187.23	81.86	67	62	9.126	29.50	0.0041	0.502	0.70

Progresiva: Km. 01+700-Km. 01+750										
Talud	Longitud (m.)	Porcentajes granulométricos				Clasificación de suelos		Ensayos de Atterberg		
		% Bolones	% Gravas	% Arenas	% Arcilla	SUCS	AASHTO	LL	LP	IP
M-4	50	00.00	34.30	40.50	25.20	SM	A-2-4	35.43	24.68	10.75

Progresiva: Km. 05+955-Km. 05+985										
Talud	Longitud (m.)	Porcentajes granulométricos				Clasificación de suelos		Ensayos de Atterberg		
		% Bolones	% Gravas	% Arenas	% Arcilla	SUCS	AASHTO	LL	LP	IP
M-2	30	00.00	00.00	65.20	34.80	SM	A-2-4	32.50	24.42	8.08

Progresiva: Km. 02+500-Km. 02+540										
Talud	Longitud (m.)	Porcentajes granulométricos				Clasificación de suelos		Ensayos de Atterberg		
		% Bolones	% Gravas	% Arenas	% Arcilla	SUCS	AASHTO	LL	LP	IP
M-3	50	00.00	68.30	7.30	24.40	GM	A-2-7	42.49	28.53	13.96

Progresiva: Km. 06+100-Km. 06+140										
Talud	Longitud (m.)	Porcentajes granulométricos				Clasificación de suelos		Ensayos de Atterberg		
		% Bolones	% Gravas	% Arenas	% Arcilla	SUCS	AASHTO	LL	LP	IP
M-1	40	00.00	20.46	25.41	54.31	CL	A-6-4	33.71	21.26	12.00

Simbología

- Centro poblado
- Área de estudio
- Vías: Afirmado
- Curvas de nivel: Mayores, Menores
- Hidrología: Drenaje, Acuífero

ESTRUCTURAS

- Rumbo y buzamiento
- Falla inversa
- Falla rumbo sinistral
- Falla rumbo dextral
- Anticlinal
- Sinclinal

LEYENDA

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOSTRATIGRÁFICA	FORMACIÓN
MESOZOICO	CRETÁCEO	SUPERIOR	Ks-ca	FORMACIÓN CAJAMARCA
			Ks-qui	GRUPO QILQUÍNAN
			Ks-pu	GRUPO PULLUCANA
		INFERIOR	Ki-pt	FORMACIÓN PARIATAMBO
			Ki-chu	FORMACIÓN CHULEC

Simbología

- Deslizamiento
- Carcavas
- Caída de rocas



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

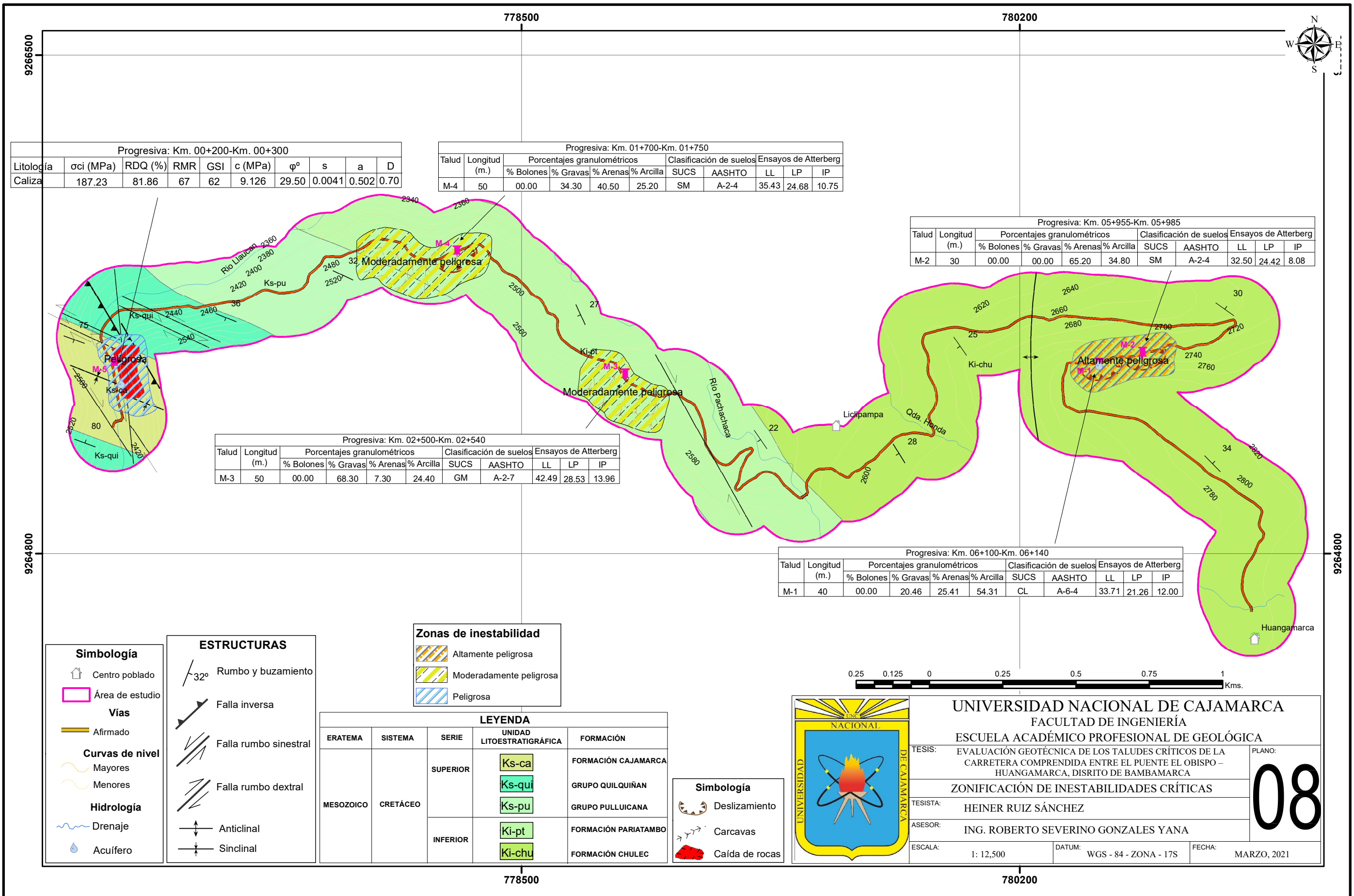
TESIS: EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS TALUDES CRÍTICOS DE LA CARRETERA COMPRENIDA ENTRE EL PUENTE EL OBISPO - HUANGAMARCA, DISRITO DE BAMBAMARCA

TESISTA: HEINER RUIZ SÁNCHEZ

ASESOR: ING. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA

ESCALA: 1: 12,500 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: MARZO, 2021

PLANO: **07**



Progresiva: Km. 00+200-Km. 00+300

Litología	oci (MPa)	RDQ (%)	RMR	GSI	c (MPa)	ϕ°	s	a	D
Caliza	187.23	81.86	67	62	9.126	29.50	0.0041	0.502	0.70

Progresiva: Km. 01+700-Km. 01+750

Talud	Longitud (m.)	Porcentajes granulométricos				Clasificación de suelos		Ensayos de Atterberg		
		% Bolones	% Gravas	% Arenas	% Arcilla	SUCS	AASHTO	LL	LP	IP
M-4	50	00.00	34.30	40.50	25.20	SM	A-2-4	35.43	24.68	10.75

Progresiva: Km. 05+955-Km. 05+985

Talud	Longitud (m.)	Porcentajes granulométricos				Clasificación de suelos		Ensayos de Atterberg		
		% Bolones	% Gravas	% Arenas	% Arcilla	SUCS	AASHTO	LL	LP	IP
M-2	30	00.00	00.00	65.20	34.80	SM	A-2-4	32.50	24.42	8.08

Progresiva: Km. 02+500-Km. 02+540

Talud	Longitud (m.)	Porcentajes granulométricos				Clasificación de suelos		Ensayos de Atterberg		
		% Bolones	% Gravas	% Arenas	% Arcilla	SUCS	AASHTO	LL	LP	IP
M-3	50	00.00	68.30	7.30	24.40	GM	A-2-7	42.49	28.53	13.96

Progresiva: Km. 06+100-Km. 06+140

Talud	Longitud (m.)	Porcentajes granulométricos				Clasificación de suelos		Ensayos de Atterberg		
		% Bolones	% Gravas	% Arenas	% Arcilla	SUCS	AASHTO	LL	LP	IP
M-1	40	00.00	20.46	25.41	54.31	CL	A-6-4	33.71	21.26	12.00

- Simbología**
- Centro poblado
 - Área de estudio
 - Vías**
 - Afirmado
 - Curvas de nivel**
 - Mayores
 - Menores
 - Hidrología**
 - Drenaje
 - Acuífero

- ESTRUCTURAS**
- Rumbo y buzamiento
 - Falla inversa
 - Falla rumbo sinistral
 - Falla rumbo dextral
 - Anticlinal
 - Sinclinal

- Zonas de inestabilidad**
- Altamente peligrosa
 - Moderadamente peligrosa
 - Peligrosa

LEYENDA

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	FORMACIÓN
MESOZOICO	CRETÁCEO	SUPERIOR	Ks-ca	FORMACIÓN CAJAMARCA
			Ks-qui	GRUPO QUILQUÍNAN
		INFERIOR	Ks-pu	GRUPO PULLUICANA
			Ki-pt	FORMACIÓN PARIATAMBO
			Ki-chu	FORMACIÓN CHULEC

- Simbología**
- Deslizamiento
 - Carcavas
 - Caída de rocas



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

TESISTA: HEINER RUIZ SÁNCHEZ
 ASesor: ING. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA

ESCALA: 1: 12,500 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: MARZO, 2021

PLANO: **08**