

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por Ley N° 25265)

FACULTAD DE INGENIERÍA MINAS CIVIL AMBIENTAL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL – LIRCAY



TESIS

**ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD MEDIANTE MÉTODOS DE
EQUILIBRIO LIMITE PARA LA CARRETERA HUANCAMELICA –
LIRCAY ENTRE LAS PROGRESIVAS DEL Km 02+700 AL Km 02+800**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

GEOTECNIA

PRESENTADO POR:

Bach. Ccahuana Pucllas, Saúl Yoel

Bach. Sánchez Castro, Jerónimo Richard

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

HUANCAMELICA, PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCATELICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



EN LA CIUDAD DE LIRCAY, EN EL PARANINFO DE LA FIMCA - UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCATELICA, A LOS 11 DÍAS DEL MES DE OCTUBRE DEL AÑO 2019 A HORAS 5:00 P.M. SE REUNIERON LOS MIEMBROS DEL JURADOS DESIGNADO CON RESOLUCION DE CONCEJO DE FACULTAD N° 64- 2019 – FIMCA – UNH (16/04/2019) CONFORMADO EN LA SIGUIENTE MANERA.

PRESIDENTE : ING. NEIRA CALSIN URIEL
SECRETARIO : ING. ÑAHUI GASPAR ANDRES ZOSIMO
VOCAL : ARQ. SALAS TOCASCAS HUGO CAMILO

Y EN CUMPLIMIENTO A LA RESOLUCIÓN DE CONCEJO DE FACULTAD N° 312-2019-FIMCA-UNH, DE HORA Y FECHA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS TITULADO: "ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD MEDIANTE MÉTODOS DE EQUILIBRIO LÍMITE PARA LA CARRETERA HUANCATELICA – LIRCAY ENTRE LAS PROGRESIVAS DEL Km 02+700 AL Km 02+800"

CUYO AUTORES LOS GRADUADOS:

BACHILLERES:

SÁNCHEZ CASTRO JERONIMO RICHARD
CCAHUANA PUCLLAS SAUL YOEL

A FIN DE PROCEDER CON LA SUSTENTACION DE LA TESIS.

ACTO SEGUIDO SE INVITA A LOS SUSTENTANTES Y PÚBLICO EN GENERAL ABANDONAR EL AUDITORIO POR UNOS MINUTOS PARA LA **DELIBERACIÓN DE LOS RESULTADOS**; LUEGO SE INVITÓ A PASAR NUEVAMENTE AL AUDITORIO A LOS SUSTENTANTES Y PÚBLICO EN GENERAL, EN LA QUE SE DA LA LECTURA DEL ACTA DE SUSTENTACIÓN, SIENDO EL RESULTADO **APROBADO POR UNANIMIDAD**, CULMINANDO A LAS 6:20 P.M (SEIS Y VEINTE) DE LA TARDE, Y SE DA POR CONCLUIDO EL ACTO DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS.

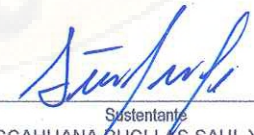
BACHILLER: SANCHEZ CASTRO JERONIMO RICHARD

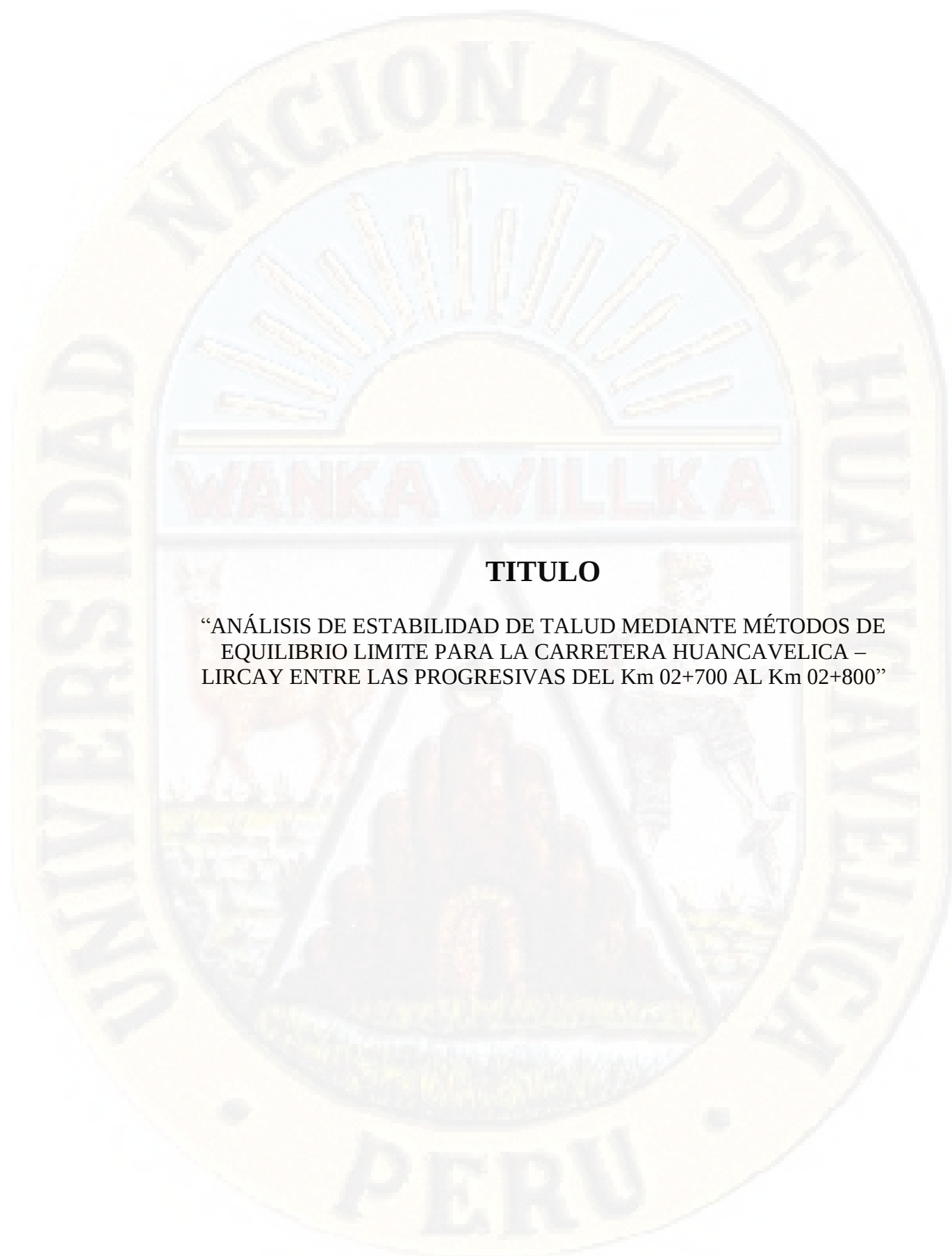
MIEMBROS:	RESULTADO FINAL:
PRESIDENTE	APROBADO POR UNANIMIDAD
SECRETARIO	
VOCAL	

BACHILLER: CCAHUANA PUCLLAS SAUL YOEL

MIEMBROS:	RESULTADO FINAL:
PRESIDENTE	APROBADO POR UNANIMIDAD
SECRETARIO	
VOCAL	

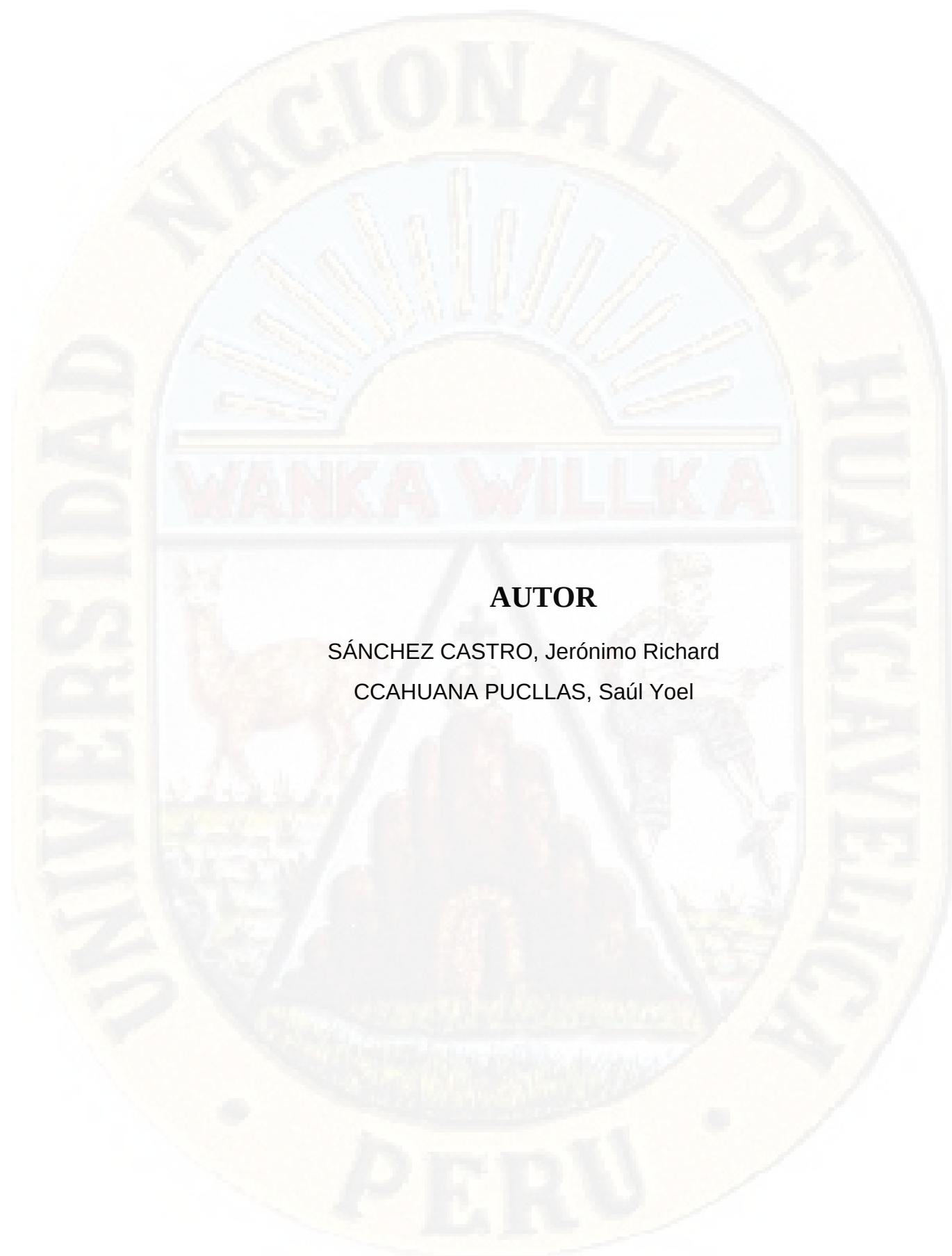
EN CONFORMIDAD A LO ACTUADO FIRMAMOS AL PIE DEL PRESENTE.

 Presidente ING. NEIRA CALSIN URIEL	 Secretario ING. NAHUI GASPAR ANDRES ZOSIMO	 Vocal ARQ. SALAS TOCASCAS HUGO CAMILO
 Sustentante SANCHEZ CASTRO JERONIMO RICHARD	 Sustentante CCAHUANA PUCLLAS SAUL YOEL	



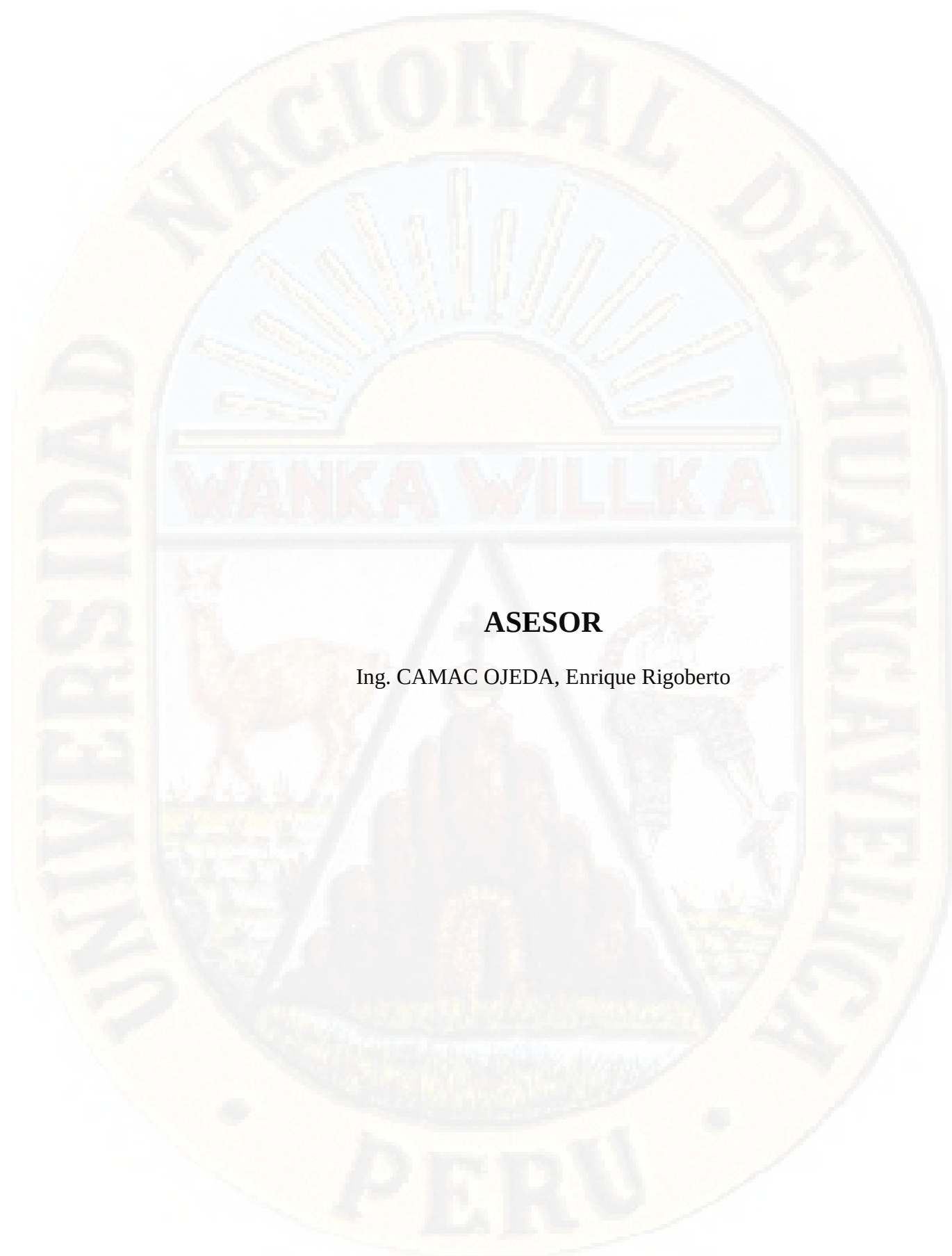
TITULO

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD MEDIANTE MÉTODOS DE EQUILIBRIO LIMITE PARA LA CARRETERA HUANCAMELICA – LIRCAY ENTRE LAS PROGRESIVAS DEL Km 02+700 AL Km 02+800”



AUTOR

SÁNCHEZ CASTRO, Jerónimo Richard
CCAHUANA PUCLLAS, Saúl Yoel



ASESOR

Ing. CAMAC OJEDA, Enrique Rigoberto

DEDICATORIA

A mis padres Gilberto y Evarista quienes son mi pilar más importante, por sus apoyos incondicionales, amor y confianza el cual permitieron que logre culminar mi carrera profesional.

A mi hijo (Imanol) por ser mi motivación más grande, a pesar de los obstáculos en el camino.

A mis hermanas Marisol, Susy Gemali y Karumi por estar conmigo en todo momento apoyándome incondicionalmente, durante todo este proceso, gracias.

A toda mi familia por sus consejos y palabras de aliento, por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria y a lo largo de mi vida.

Saul Yoel

A Dionisia, mi madre, que desde el cielo sigue vigilando mi vida. Mi padre Teodoro, quien con su recomendación de superación logre la culminación de mi carrera profesional, hermanos(as), mi hija Selene Angely, motivación para alcanzar mis metas y objetivos.

Jerónimo Richard

INDICE

PORTADA.....	i
ACTA DE SUSTENTACIÓN.....	ii
TITULO.....	iii
AUTOR.....	iv
ASESOR.....	v
DEDICATORIA.....	vi
INDICE.....	vii
RESUMEN.....	xii
ABSTRAC.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	xiv

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema.....	15
1.2. Formulación del problema.....	16
1.2.1. Problema General	16
1.2.2. Problemas Específicos.....	16
1.3. Objetivos.....	16
1.3.1. Objetivo General.....	16
1.3.2. Objetivos Específicos	17
1.4. Justificación	17

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes	18
2.2. Bases teóricas	21
2.3. Bases Conceptuales	22
2.4. Definición de términos	50

2.5. Hipótesis	54
2.6. Variables	55
2.7. Operacionalización de variables	56

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Ámbito de estudio	57
3.2. Tipo de investigación.....	64
3.3. Nivel de investigación	64
3.4. Población, muestra y muestreo	64
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	65
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	79

CAPÍTULO IV

PRESENTACION DE RESULTADOS

4.1. Análisis de información	87
4.2. Prueba de Hipótesis.....	104
4.2. Análisis de Datos.....	104
4.3. Discusión de Resultados	116
CONCLUSIONES.....	119
RECOMENDACIONES	120
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121
APÉNDICE	124

INDICE DE FIGURAS

2.1. Clasificación de métodos de equilibrio límite.....	26
2.2. División de la masa deslizante en dovelas	27
2.3. Diagrama de fuerzas de la dovela. Método Spencer	28
2.4. Diagrama de fuerzas de la dovela. Método Morgenstern-Price.....	32
2.5. Criterio de rotura lineal de Mohr-Coulumb	36
2.6. Esquema del aparato de corte directo	38
2.7. Obtención de la envolvente de rotura y los parámetros de resistencia al corte (c' , ϕ') a partir de un ensayo de corte directo	39
2.8. Estimación del GSI en base a descripciones geológicas.....	41
4.1. Modelo Estático del Talud en condiciones normales Km 2+750. Método de Bishop	92
4.2. Modelo Estático del Talud en condiciones normales Km 2+750. Método de Morgenstern - Price.....	93
4.3. Modelo Estático del Talud en condiciones normales Km 2+750. Método de Spencer.....	94
4.4. Modelo Pseudo - Estático del Talud en condiciones normales Km 2+750. Método de Bishop simplificado	95
4.5. Modelo Pseudo-estático del Talud en condiciones normales Km 2+750. Método de Morgenstern – Price.....	96
4.6. Modelo Pseudo-estático del Talud en condiciones normales Km 2+750. Método de Spencer	97
4.7. Modelo Estático del Talud en temporada de lluvias Km 2+750. Método de Bishop	98
4.8. Modelo Estático del Talud en temporada de lluvias Km 2+750. Método de Morgenstern – Price	99
4.9. Modelo Estático del Talud en temporada de lluvias Km 2+750. Método de Spencer.....	100

4.10. Modelo Pseudo-Estático del Talud en temporada de lluvias Km 2+750.	
Método de Bishop	101
4.11. Modelo Pseudo-Estático del Talud en temporada de lluvias Km 2+750.	
Método de Morgenstern – Price.....	102
4.12. Modelo Pseudo-Estático del Talud con medidas correctivas Km 2+750.	
Método de Método de Spencer	103

INDICE DE CUADROS

2.1. Forma de calcular el fator de seguridad	26
2.2. Características de métodos de análisis de estabilidad de taludes	27
2.3. Valores de cohesión por tipo de suelo	37
2.4. Valores del ángulo de fricción interna en suelos granulares no plásticos, en función de la granulometría y la compacidad	37
2.5. Resistencia a la Compresión Simple a partir de índices de campo	40
2.6. Valores de la Constante (mi) en Roca Intacta para distintos tipos de roca ..	42
2.7. Parámetros de la clasificación RMR	44
2.8. Ajuste del RMR por orientación de las Discontinuidades	45
2.9. Parámetros de la clasificación SMR	46
2.10. Determinación del factor de ajuste F_1	46
2.11. Determinación del factor de ajuste F_2	46
2.12. Determinación del factor de ajuste F_3	47
2.13. Determinación del factor de ajuste F_4 por Método de Excavación	47
2.14. Rangos de valores de SMR	47
2.15. Factores de seguridad de una ladera	48
2.16. Valores Mínimos Recomendados de Factor de Seguridad	48
2.17. Factores de Seguridad Requeridos por tipo de taludes	50
4.1. Parámetros Geotécnicos de la Unidad I: Caliza	88
4.2. Parámetros Geotécnicos de la Unidad II: Marga	88
4.3. Parámetros Geotécnicos de la Unidad III: Roca Volcánica	89
4.4. Parámetros Geotécnicos de la Unidad IV: Arcilla	89
4.5. Datos obtenidos en laboratorio	90
4.6. Resultados de los cálculos de Factor de Seguridad	91
4.7. Datos de la caracterización del talud	105
4.8. Estación meteorológica CALLQUI – HUANCVELICA registro de precipitación pluvial años 2014 al 2018 (3,700 msnm)	105

RESUMEN

La presente tesis consiste en el estudio de la estabilidad del talud del km 2+700 al km 2+800 de la carretera Huancavelica – Lircay a través de métodos de equilibrio límite.

Litológicamente el macizo rocoso de la ladera consiste de calizas, margas y rocas volcánicas, cubiertas por una capa de suelo residual de entre 0.30 – 3.00m, ésta última producto de la alteración de la roca volcánica, susceptible a la meteorización, especialmente en temporadas de lluvia. Esta situación genera inestabilidad y deslizamientos del material hacia el pie del talud, obstruyendo parcial o totalmente la vía.

El objetivo de la presente investigación ha sido determinar la solución técnica y económicamente viable que garantice la estabilidad del talud mediante métodos de equilibrio límite.

El método de investigación empleado para este estudio se desarrolló de manera explicativa y correlacional; a partir de una causa que nos permitirá realizar un diseño, basado en estudios descriptivos, permitiendo detallar eventos que se manifiestan por un determinado fenómeno natural y/o propiedades mecánicas del terreno.

De acuerdo con las investigaciones geotécnicas realizada, ensayos in situ y de laboratorio, el suelo residual se clasifica como arcilla de baja plasticidad (CL) para el que se tomaron valores de densidad, cohesión, ángulo de fricción interna y parámetros del criterio de rotura de Mohr – Coulomb, para modelar la estabilidad en suelos.

Los macizos rocosos fueron analizados en campo y gabinete para la obtención de parámetro del criterio de rotura de Hoek & Brown a través de clasificaciones geomecánicas, propiedades físicas y análisis cualitativo de las condiciones de sus discontinuidades.

Se realizó el análisis de estabilidad por métodos de equilibrio límite como Bishop simplificado, Spencer y Morgenstern - Price mediante el software Slide 6.0, demostrando que el talud es estable en condiciones secas, necesitándose medidas correctivas como la colocación de geomantos combinados con soluciones como revegetación de taludes para la temporada de lluvias.

Palabras Clave: Estabilidad de talud, Método Equilibrio Limite, geomantos.

ABSTRACT

The present thesis consists in the study of the stability of the slope of km 2 + 700 to km 2 + 800 of the Huancavelica - Lircay highway through methods of limit equilibrium.

Lithologically the rocky massif of the slope consists of limestones, marls and volcanic rocks, covered by a layer of residual soil with a thickness of 0.30 to 3.00 m, as a product of the volcanic rock alteration, susceptible to weathering, especially in seasons of rain. This situation generates instability and landslides of the material towards the foot of the slope, partially or totally obstructing the road.

The objective of the present investigation has been to determine the technically and economically viable solution that guarantees the stability of the slope by means of limit equilibrium methods.

The research method used for this study was developed in an explanatory and correlational manner; from a cause that will allow us to make a design, based on descriptive studies, allowing us to detail events that are manifested by a certain natural phenomenon and / or mechanical properties of the land.

According to the geotechnical investigations, in situ and laboratory tests, the residual soil is classified as low plasticity clay (CL) for which values of density, cohesion and internal friction angle were taken, parameters of the Mohr – Coulomb criterion, to model soil stability.

The rocky massifs were analyzed in the field and in the cabinet to obtain a parameter of the Hoek & Brown criterion through geomechanical classifications, physical properties and qualitative analysis of the conditions of their discontinuities.

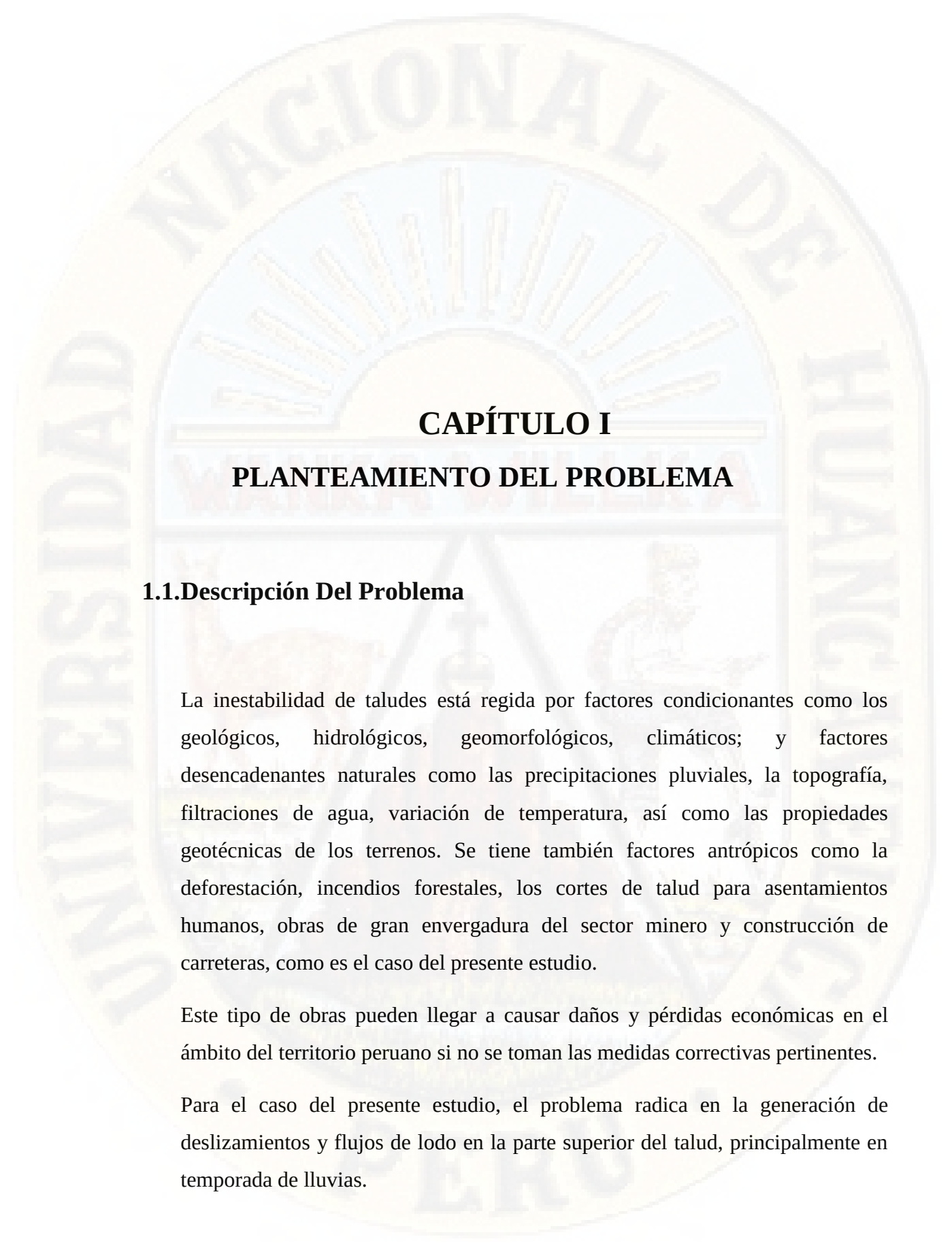
The stability analysis was carried out by limit equilibrium methods such as Simplified Bishop, Spencer and Morgenstern - Price by means of the software Slide 6.0, demonstrating that corrective measures are needed such as the installation of geomats combined with revegetation in wet seasons.

Key words: stability the slope, methods of limit equilibrium, geomats.

INTRODUCCIÓN

El territorio nacional experimenta constantemente los efectos de la influencia directa de fenómenos geodinámicos como la sismicidad, generada por la subducción de la placa de Nazca en la Placa Sudamericana, formadora de la cordillera de los Andes, así como de la influencia de agentes externos como las precipitaciones, el viento y las condiciones del clima en general, que generan el desarrollo de movimientos en masa como deslizamientos. Estos generan condiciones inestables que afectan obras de gran envergadura, como lo son las carreteras.

La presente investigación corresponde a la evaluación geotécnica que se ha ejecutado para el Análisis de la Estabilidad del Talud ubicado entre las progresivas del km 02+700 al Km 02+800 de la carretera Huancavelica - Lircay con el fin de emitir soluciones seguras para, de esta manera, garantizar el adecuado tránsito de vehículos y transeúntes de la vía.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.Descripción Del Problema

La inestabilidad de taludes está regida por factores condicionantes como los geológicos, hidrológicos, geomorfológicos, climáticos; y factores desencadenantes naturales como las precipitaciones pluviales, la topografía, filtraciones de agua, variación de temperatura, así como las propiedades geotécnicas de los terrenos. Se tiene también factores antrópicos como la deforestación, incendios forestales, los cortes de talud para asentamientos humanos, obras de gran envergadura del sector minero y construcción de carreteras, como es el caso del presente estudio.

Este tipo de obras pueden llegar a causar daños y pérdidas económicas en el ámbito del territorio peruano si no se toman las medidas correctivas pertinentes.

Para el caso del presente estudio, el problema radica en la generación de deslizamientos y flujos de lodo en la parte superior del talud, principalmente en temporada de lluvias.

1.2. Formulación Del Problema

1.2.1. Problema General

¿Cuáles son las mejores soluciones técnicas y económicamente viables que garantizan la estabilidad del talud mediante métodos de equilibrio límite en la carretera Huancavelica – Lircay entre las progresivas del Km 02+700 al Km 02+800?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál es el factor de seguridad que presenta el talud inestable mediante métodos de equilibrio límite en la carretera Huancavelica – Lircay?
- ¿Cuáles son las propiedades geotécnicas de los materiales que conforman el talud mediante métodos de equilibrio límite en la carretera Huancavelica – Lircay?
- ¿Cuáles son los factores que influyen en la inestabilidad del talud mediante métodos de equilibrio límite en la carretera Huancavelica – Lircay?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

El objetivo de la presente investigación es determinar la solución técnica y económicamente viable que garantice la estabilidad del talud mediante métodos de equilibrio límite en la carretera Huancavelica – Lircay entre las progresivas del Km 02+700 al Km 02+800.

1.3.2. Objetivos Específicos

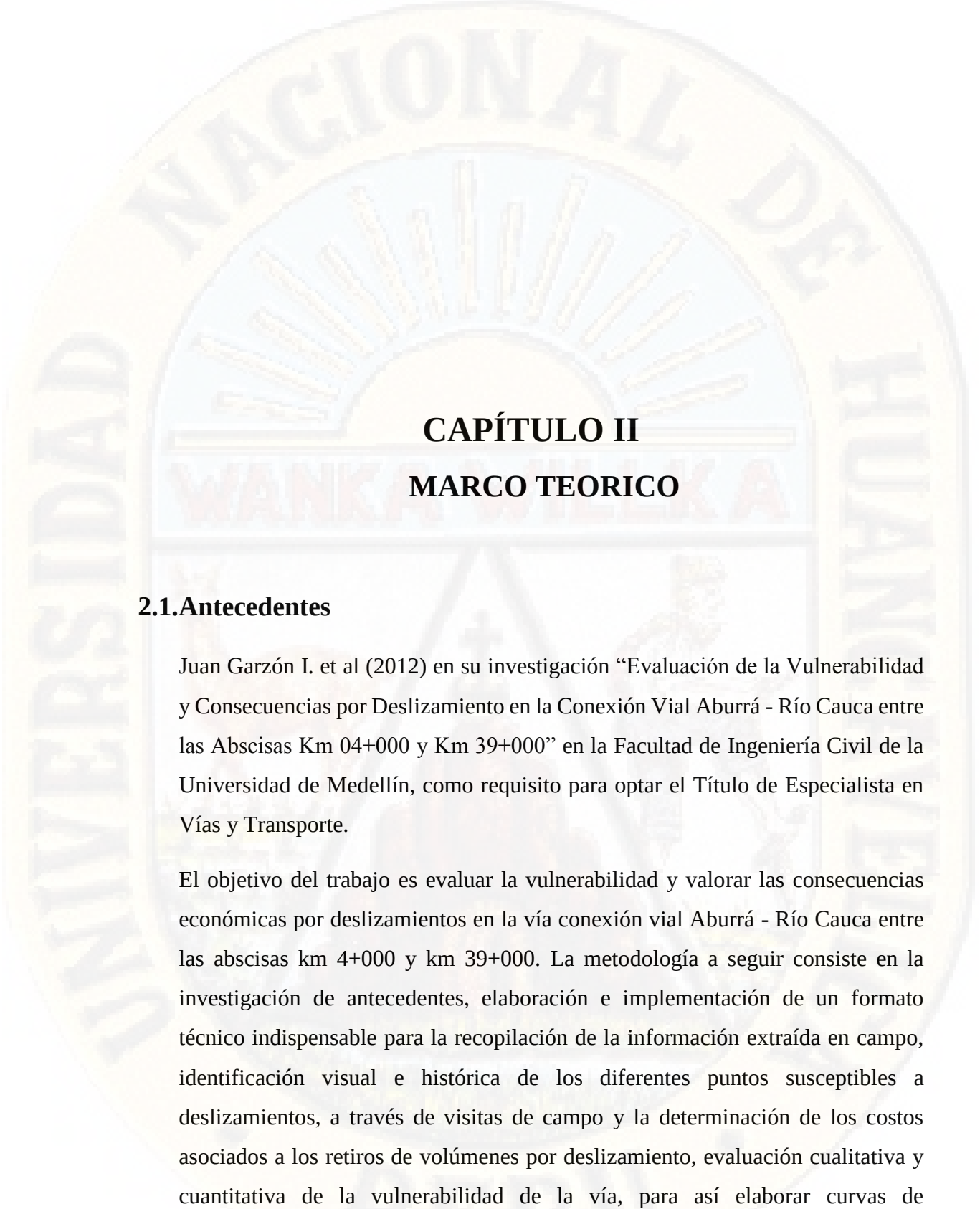
- Evaluar la susceptibilidad de los macizos rocosos a la alteración en suelos residuales para poder caracterizarlos y definir las medidas correctivas para la estabilidad del talud en temporada de lluvias.
- Caracterizar las propiedades geotécnicas de los materiales que conforman el talud mediante métodos de equilibrio límite en la carretera Huancavelica – Lircay.
- Determinar los factores que influyen en la inestabilidad del talud mediante métodos de equilibrio límite en la carretera Huancavelica – Lircay.

1.4. Justificación

Consideramos importante realizar esta investigación ya que existe la necesidad de estabilizar el talud presente entre las progresivas del km 02+700 al km 02+800 mediante el uso de softwares geotécnicos, que emplean Métodos de Equilibrio Límite para el cálculo del factor de seguridad.

La estabilidad del talud se obtendrá de las propiedades de los materiales que lo conforman a través de investigaciones geotécnicas, siguiendo el método Aplicado o tecnológico. Una vez demostrada su validez y confiabilidad podrá ser utilizado en otros trabajos de investigación correspondientes a la ciudad de Huancavelica.

Se debe tener en cuenta garantizar el tránsito normal de la vía, que beneficiará a los pobladores de Huancavelica - Lircay y podrán utilizar la carretera empleando menor tiempo y disminuyendo significativamente el riesgo a sufrir accidentes por bloqueos de rocas y caída de materiales provenientes del talud en la plataforma de la vía.



CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes

Juan Garzón I. et al (2012) en su investigación “Evaluación de la Vulnerabilidad y Consecuencias por Deslizamiento en la Conexión Vial Aburrá - Río Cauca entre las Abscisas Km 04+000 y Km 39+000” en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad de Medellín, como requisito para optar el Título de Especialista en Vías y Transporte.

El objetivo del trabajo es evaluar la vulnerabilidad y valorar las consecuencias económicas por deslizamientos en la vía conexión vial Aburrá - Río Cauca entre las abscisas km 4+000 y km 39+000. La metodología a seguir consiste en la investigación de antecedentes, elaboración e implementación de un formato técnico indispensable para la recopilación de la información extraída en campo, identificación visual e histórica de los diferentes puntos susceptibles a deslizamientos, a través de visitas de campo y la determinación de los costos asociados a los retiros de volúmenes por deslizamiento, evaluación cualitativa y cuantitativa de la vulnerabilidad de la vía, para así elaborar curvas de vulnerabilidad económica por deslizamiento, en la cual se relacionan las pérdidas y costos, la comparación cuantitativa de costos iniciales versus costos de

mantenimiento y el análisis de resultados de la calificación de vulnerabilidad de la vía de estudio. Se concluyó que varios tramos de la vía que presentan un porcentaje de vulnerabilidad por deslizamiento alto; siendo los más representativos, el tramo entre el Km 18+000 y Km 20+000, con un porcentaje de vulnerabilidad por deslizamiento del 20.23%, y el tramo del Km 38+000 al Km 39+000, el cual presenta un porcentaje del 38.11% de vulnerabilidad por deslizamiento, representando el punto de la conexión Aburrá - Río Cauca con mayor riesgo de que ocurran deslizamientos.

Alan Granados López en el año (2006) realizó el trabajo de investigación “Estabilización del Talud de la Costa Verde en la Zona del Distrito de Barranco” presentada en la Facultad de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Católica del Perú, como requisito para optar el título de Ingeniero Civil. Este trabajo tiene como objetivo desarrollar el análisis de estabilidad de taludes para dar una solución de estabilización en un modelo pseudo estático con valores de aceleraciones sísmicas críticas, en un tramo representativo de 560 metros de longitud del talud de la Costa Verde, ubicado en el distrito de Barranco.

La metodología a seguir para el cálculo del factor de seguridad fue a través de métodos de equilibrio límite a partir de la obtención de parámetros geotécnicos del suelo.

Los resultados obtenidos de factor de seguridad demuestran que el talud fallaría con valores de aceleraciones sísmicas mayores a 0.27g, poniendo en grave peligro vidas humanas y propiedades privadas que recientemente están siendo construidas a 20m del hombro del talud, haciéndose necesario emitir soluciones de estabilización del talud de la Costa Verde en las zonas que lo requieran luego de un estudio profundo.

En esta misma labor de investigación y consulta se encontró el trabajo de tesis magistral del Ing. Víctor Tolentino “Solución a Problemas de Inestabilidad de Taludes Km 17 y 22 de la Carretera de Acceso Mina Antamina” presentada en el año 2003 en la Unidad de Posgrado de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos para optar el grado de maestría en Geotecnia.

Este trabajo tiene como objetivo evaluar las áreas críticas de la carretera entre el km 17 y km 22, con la finalidad de proporcionar seguridad de construcción al mineraducto emplazado en dicho tramo, eliminando también los peligros potenciales de los deslizamientos mediante obras de ingeniería que logren la estabilidad de los taludes.

La metodología de investigación consistió en la realización de trabajos topográficos y estudio de aspectos geológicos a través de perforaciones diamantinas con recuperación de muestras para su posterior análisis en laboratorio. Luego de obtenerse dichos resultados adicionalmente a los resultados de los ensayos realizados en campo, se realizó la interpretación de datos para la propuesta de soluciones a los problemas de inestabilidad. Siendo los principales factores que generan movimientos de masa la topografía del terreno y el aumento en la presión de poros en los suelos, la litología, el grado de fracturamiento y condiciones de las discontinuidades de la roca, las soluciones propuestas son la colocación de drenes profundos y mallas con pernos de anclaje.

Según Vílchez Mata (2010) en su investigación "Inspección de Peligros Geológicos en los Sectores de Santa Bárbara y Potocchi, Distrito, Provincia y Región De Huancavelica" para el área de Geología Ambiental del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, en el cual se describe la inspección realizada en los sectores de Santa Bárbara y Potocchi. Cuyo objetivo de este trabajo fue la identificación de peligros geológicos que puedan implicar riesgos de movimientos en masas, para poder mitigar los daños que pueda ocasionar su ocurrencia.

Esta investigación concluye que la susceptibilidad a los movimientos en masa (peligros geológicos) en la zona es alta y está condicionada por la existencia en el substrato de rocas de diferente competencia, su grado de fracturamiento y alteración, así como la pendiente natural de la ladera, la escasa o nula cobertura vegetal y las precipitaciones pluviales excepcionales. Se desconoce su factor de seguridad ante deslizamientos.

De la Cruz Q. & Tunque H. (2015) en su estudio titulado "Inestabilidad de Taludes en el Sector de Santa Bárbara de la Ciudad de Huancavelica" realizado con la

finalidad de optar el Título de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional de Huancavelica. El objetivo de este trabajo es identificar la susceptibilidad y factor de seguridad de los taludes en estudio; para lo cual se emplearon los diferentes métodos y técnicas del análisis heurístico y determinístico, donde el análisis heurístico muestra como resultado la susceptibilidad a deslizamientos, con el método de Mora Vahrson, dando como resultado una susceptibilidad media en condiciones normales; es decir, análisis de los factores internos (topografía, geología y humedad del suelo) y una susceptibilidad mediana en la intervención con factores externos (lluvia y sismo). De la misma forma, se hizo un contraste con los resultados obtenidos por los métodos determinísticos, para el cálculo del factor de seguridad de los taludes en los subsectores de estudio, basándose específicamente en el análisis estático y análisis dinámico, por los métodos de equilibrio límite y el método de elementos finitos.

Los resultados concluyen que los subsectores Yuraccrumi, Manzanayocc, Arbolitos y Puchccoc, son estables al obtener un factor de seguridad estático mayor a 1 y los subsectores de Asequia Alta y Motoy Huaycco son inestables, al obtener un factor de seguridad menor a 1. Teniendo en cuenta estos resultados, se propusieron medidas de mitigación de riesgo como la colocación de anclajes.

2.2.Bases Teóricas

Moreno, (1992) menciona en su libro FUNDAMENTOS DE GEOMORFOLOGÍA brinda información respecto a los fundamentos teóricos para el análisis de los procesos geomorfológicos, conceptos básicos de los principios de la geología; esta información fue de gran utilidad para describir e interpretar los procesos geomorfológicos donde se produjo el deslizamiento.

2.3. Bases conceptuales

2.3.1. Análisis de estabilidad.

OSCAR Y CAMILO. (2015) mencionan que la estabilidad se trata de encontrar la altura crítica del talud o la carga de colapso aplicada sobre una porción del talud, para una geometría y características de suelo dados. Evaluar la estabilidad de un talud implica un estudio en el cual se debe, entre otros eventos: caracterizar la resistencia del suelo, establecer el perfil del talud así como las condiciones de filtración y agua subterránea, seleccionar una superficie de deslizamiento o falla y calcular su factor de seguridad, finalmente, a partir de este factor de seguridad (el cual se elige en base al destino del talud) se deberá determinar la superficie de falla crítica.

- **Estabilidad.** Es la seguridad de una masa de tierra contra la falla o movimiento
- **Talud.** Cualquier superficie inclinado respecto de la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las estructuras de la tierra, donde constituye una estructura compleja de analizar debido a que en que su estudio coincide en los problemas de mecánica de suelos y de mecánica de rocas, sin olvidar el papel básico que la geología aplicada

2.3.2. Estabilidad de talud

Es la inclinación apropiada de un corte o un terraplén por talud, se entiende una porción de vertiente natural cuyo perfil original ha sido modificado con intervenciones artificiales. Para determinar la estabilidad de una masa de suelo debemos determinar su coeficiente de seguridad al deslizamiento, al existir un coeficiente de seguridad igual a uno se produce el deslizamiento de talud

2.3.3. Clasificación de los Movimientos en Masa

Para la clasificación de los movimientos en masa se presenta el sistema propuesto originalmente por Varnes (1978), el cual tipifica los principales tipos de movimiento.

Para el propósito del presente estudio se presentan algunos procesos de movimiento identificados.

Caídas de bloques

En los caídos una masa de cualquier tamaño se desprende de un talud de pendiente fuerte, a lo largo de una superficie, en la cual ocurre ningún o muy poco desplazamiento de corte y desciende principalmente, a través del aire por caída libre, a saltos o rodando.

Pueden caer por gravedad, en forma ocasional bloques individuales de roca de cualquier dimensión, produciendo un deterioro en la estructura del talud. La amenaza es difícil de predecir debido al gran rango de tamaños que pueden caer y especialmente los bloques grandes pueden causar daño estructural.

Inclinación o volteo

Este tipo de movimiento consiste en una rotación hacia adelante de una unidad o unidades de material térreo con centro de giro por debajo del centro de gravedad de la unidad y generalmente, ocurren en las formaciones rocosas. Las fuerzas que lo producen son generadas por las unidades adyacentes, el agua en las grietas o juntas, expansiones y los movimientos sísmicos.

La inclinación puede abarcar zonas muy pequeñas o incluir volúmenes de varios millones de metros cúbicos.

Reptación

La reptación consiste en movimientos muy lentos a extremadamente lentos del suelo subsuperficial sin una superficie de falla definida. Generalmente, el movimiento es de unos pocos centímetros al año y afecta a grandes áreas de terreno.

Se le atribuye a las alteraciones climáticas relacionadas con los procesos de humedecimiento y secado en suelos, usualmente, muy blandos o alterados.

La reptación puede preceder a movimientos más rápidos como los flujos o deslizamientos.

Deslizamiento

Este movimiento consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies, que pueden detectarse fácilmente o dentro de una zona relativamente delgada. El movimiento puede ser progresivo, o sea, que no se inicia simultáneamente a lo largo de toda, la que sería, la superficie de falla.

Los deslizamientos pueden ser de una sola masa que se mueve o pueden comprender varias unidades o masas semi-independientes.

Los deslizamientos pueden obedecer a procesos naturales o a desestabilización de masas de tierra por el efecto de cortes, rellenos, deforestación, etc.

Flujos de lodo

Dentro de los flujos de tierra están los “flujos de lodo”, en los cuales los materiales de suelo son muy finos y las humedades muy altas y ya se puede hablar de viscosidad propiamente dicha, llegándose al punto de suelos suspendidos en agua. Los flujos de lodo poseen fuerzas destructoras grandes que dependen de su caudal y velocidad.

Un flujo de lodo posee tres unidades morfológicas: un origen que generalmente es un deslizamiento, un camino o canal de flujo y finalmente

una zona de acumulación. El origen consiste en una serie de escarpes de falla o deslizamientos de rotación o translación, el camino o canal es generalmente un área estrecha, recta o una serie de canales a través del cual fluye el material viscoso, el ancho, profundidad y pendiente del camino del flujo varía de acuerdo a las condiciones topográficas y morfológicas.

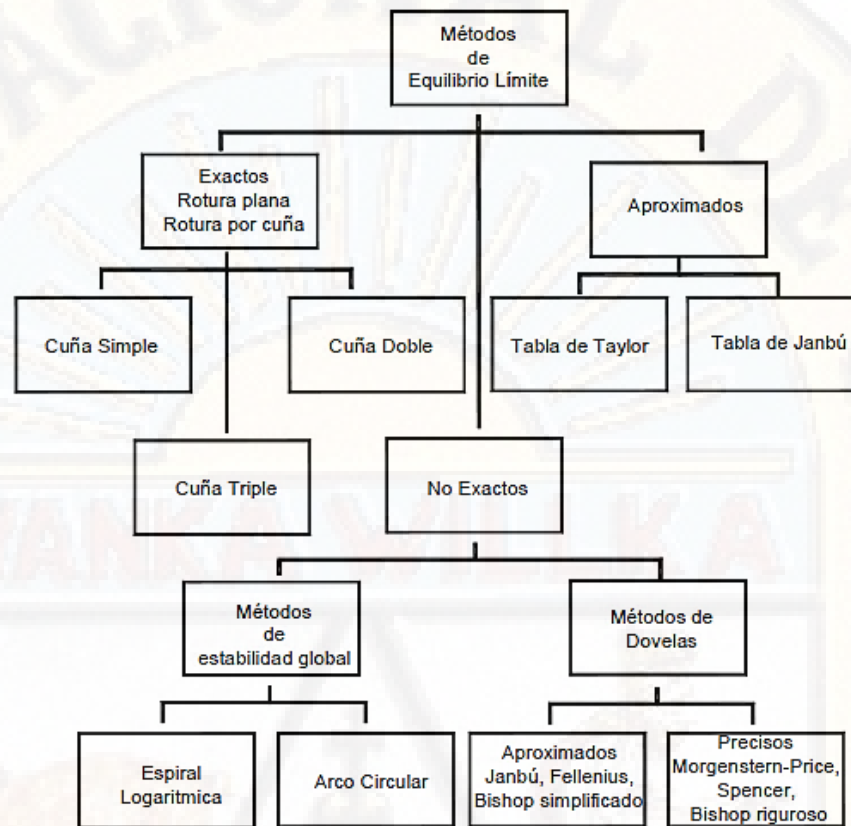
2.3.4. Método de Cálculo de Taludes por Equilibrio Límite

Es el método más empleado en la práctica para el cálculo de estabilidad de taludes se basa fundamentalmente en una consideración de equilibrio límite. Un análisis de límite de equilibrio permite obtener un factor de seguridad a través de un análisis regresivo, obtener los valores de la resistencia al cortante en el momento de la falla.

La mayoría de los métodos de equilibrio límite (MEL) tienen en común la comparación de los momentos o fuerzas resistentes y actuantes sobre una determinada superficie de falla. Las variaciones principales entre los diversos métodos radican en el tipo de superficie de falla y la forma cómo actúan internamente las fuerzas sobre esta misma superficie. Una vez que se han determinado las propiedades de los materiales que conforman el talud como la resistencia al cortante, presiones de poros u otras propiedades geotécnicas como la cohesión, el ángulo de fricción interna y el peso unitario, se puede proceder a calcular el factor de seguridad del talud.

Para el análisis de estabilidad de taludes existen diversos métodos de cálculo.

Figura 2-1 Clasificación de métodos de equilibrio límite.



Fuente: Suarez (2009), “Deslizamientos”

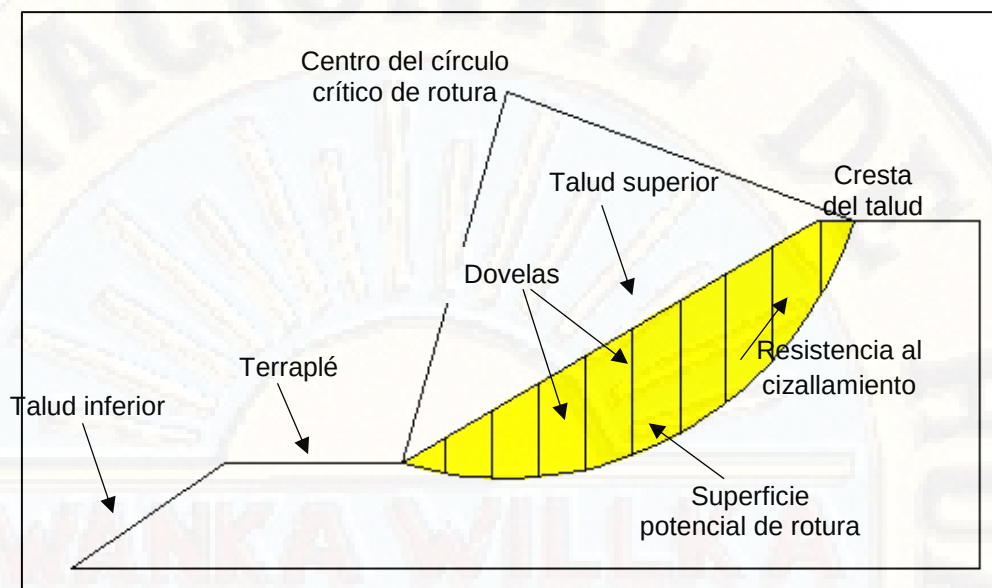
Cuadro 2.1. Forma de calcular el factor de seguridad

MÉTODO	Equilibrio de Fuerzas Verticales	Equilibrio de Fuerzas Horizontales	Equilibrio de Momentos
Simplificado de Bishop	SI	NO	SI
Spencer	SI	SI	SI
Morgenstern-Price	SI	SI	SI

Fuente: Suarez (2009), “Deslizamientos”

El área de material sobre la falla se divide en dovelas o tajadas en una sección transversal del mismo, ya que se considera el cálculo en dos dimensiones como se observa en la imagen:

Figura 2.2. División de la masa deslizante en dovelas



Fuente: SACKSCHEWSKI (2017), “Soluciones Para La Estabilidad De Taludes”

En el siguiente cuadro se presentan las características de los métodos de cálculo del factor de seguridad (FS) que se utilizarán para el presente trabajo:

Cuadro 2.2. Características de métodos de Análisis de Estabilidad de Taludes

Método	Superficies de Falla	Equilibrio	Características
Bishop simplificado (1955)	Circulares	Momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante, entre dovelas, son cero.
Spencer (1967)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	La inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada, pero son desconocidas.
Morgenstern y Price (1965)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	Las fuerzas entre dovelas, se asume, que varían de acuerdo con una función arbitraria.

Fuente: SUAREZ (2009), “Deslizamientos”

MÉTODO DE BISHOP

Bishop (1955) presentó un método utilizando dovelas (rebanadas) y teniendo en cuenta el efecto de las fuerzas entre estas. Bishop asume que las fuerzas entre dovelas son horizontales, es decir, que no tiene en cuenta las fuerzas de cortante. La solución rigurosa de Bishop es muy compleja y por esta razón, se utiliza una versión simplificada de su método, de acuerdo con la expresión:

$$F.S. = \frac{\sum \left[\frac{c' \Delta l \cos \alpha + (W' - u \Delta l \cos \alpha) \tan \phi'}{\cos \alpha + (\sin \alpha \tan \phi') / FS} \right]}{\sum W \sin \alpha}$$

Donde:

Δl = longitud de arco de la base de la dovela

W = Peso de cada dovela

c' , ϕ = Parámetros de resistencia del suelo (cohesión, ángulo de fricción interna)

u = Presión de poros en la base de cada dovela

α = Ángulo del radio y la vertical en cada dovela.

El método simplificado de Bishop es uno de los métodos más utilizados actualmente para el cálculo del factor de seguridad de los taludes. Existen métodos de mayor precisión que el método de Bishop; sin embargo, las diferencias de los factores de seguridad calculados no son muy grandes. La principal restricción del método de Bishop simplificado es que solamente considera las superficies de rotura circulares.

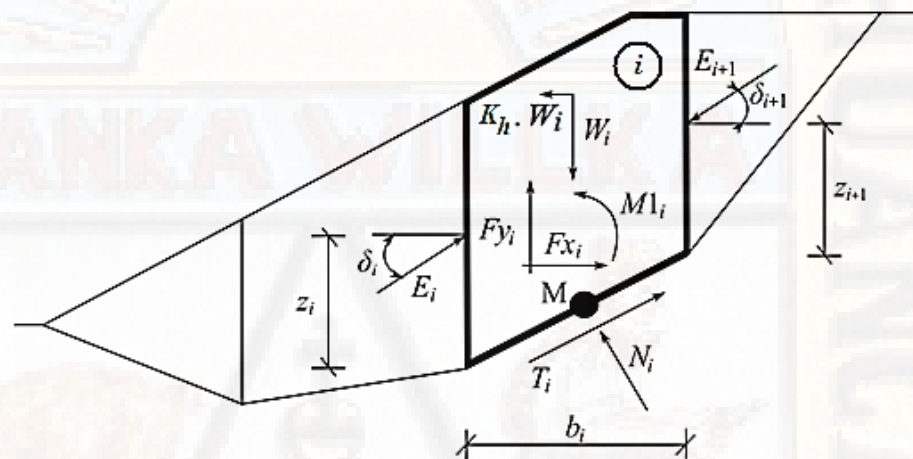
MÉTODO DE SPENCER

El método de Spencer (1967) se basa en el supuesto de que las fuerzas entre dovelas son paralelas las unas con las otras, o sea, que tienen el mismo

ángulo de inclinación. La inclinación específica de estas fuerzas entre dovelas es desconocida y se calcula como una de las incógnitas en la solución de las ecuaciones de equilibrio.

Este método satisface todas las condiciones de equilibrio, tanto de fuerzas como de momentos con la resolución de 3 incógnitas a (n). Es aplicable tanto para roturas circulares como no circulares.

Figura 2.3. Diagrama de Fuerzas de la Dovela. Método de Spencer



Fuente: SPENCER (1967) "A Method Of Analysis Of The Stability Of Embankments Assuming Parallel Interslices Forces"

Donde:

W_i – peso de la dovela, incluyendo la influencia del coeficiente sísmico vertical K_v

$K_h * W_i$ – Fuerza de inercia horizontal representando el efecto de un sismo, K_h es el factor de la aceleración sísmica horizontal

N_i – Fuerza normal a la superficie de deslizamiento

T_i – Fuerza tangencial a la superficie de deslizamiento

E_i, E_{i+1} – Fuerzas ejercidas por las dovelas contiguas, inclinadas respecto a la horizontal con un ángulo δ

Fx_i, Fy_i – Otras fuerzas horizontales y verticales actuando en el bloque

$M1_i$ - momento de fuerzas Fx_i , Fy_i girando sobre el punto M, que es el centro del segmento i-ésimo de la superficie de deslizamiento

U_i – Presión de poros resultante en el segmento i-ésimo de la superficie de deslizamiento

La solución adopta las siguientes fórmulas:

Relación entre el valor efectivo y total de la fuerza normal actuante sobre la superficie de deslizamiento:

$$N_i = N'_i + U_i$$

Ecuación correspondiente a la condición de Mohr-Coulomb representando la relación entre las fuerzas normales y tangenciales en un segmento dado de la superficie de deslizamiento:

$$T_i = (N_i - U_i) \tan \varphi_i + c_i \frac{b_i}{\cos \alpha_i} = N'_i \tan \varphi_i + c_i \frac{b_i}{\cos \alpha_i}$$

Ecuación de equilibrio de fuerzas en la dirección normal al segmento i-ésimo de la superficie de deslizamiento:

$$N'_i + U_i - W_i \cos \alpha_i + k_r W_i \sin \alpha_i + Fy_i \cos \alpha_i - Fx_i \sin \alpha_i + E_{i+1} \sin(\alpha_i - \delta_{i+1}) - E_i \sin(\alpha_i - \delta_i) = 0$$

Ecuación de equilibrio a lo largo del segmento i-ésimo de la superficie de deslizamiento. SF es el factor de seguridad, el cual es usado para simplificar los parámetros del suelo:

$$N'_i \frac{\tan \varphi_i}{SF} + \frac{c_i}{SF \cos \alpha_i} \frac{b_i}{\cos \alpha_i} - W_i \sin \alpha_i - k_r W_i \cos \alpha_i + Fy_i \sin \alpha_i + Fx_i \cos \alpha_i - E_{i+1} \cos(\alpha_i - \delta_{i+1}) + E_i \cos(\alpha_i - \delta_i) = 0$$

Ecuación de equilibrio de momentos sobre el punto M:

$$E_{i+1} \cos \delta_{i+1} \left(z_{i+1} - \frac{b_i}{2} \tan \alpha_i \right) - E_{i+1} \sin \delta_{i+1} \frac{b_i}{2} - E_i \cos \delta_i \left(z_i - \frac{b_i}{2} \tan \alpha_i \right) - E_i \sin \delta_i \frac{b_i}{2} + M1_i - k_r W_i (y_M - y_{gi}) = 0$$

Modificando las ecuaciones (3) y (4) se obtiene la siguiente fórmula (6):

$$E_{i+1} = \frac{\left[(W_i - Fy_i) \cos \alpha_i - (K_R W_i - Fx_i) \sin \alpha_i - U_i + E_i \sin(\alpha_i - \delta_i) \right] \frac{\tan \phi_i}{SF} + \frac{c_i}{SF \cos \alpha_i} - (W_i - Fy_i) \sin \alpha_i - (K_R W_i - Fx_i) \cos \alpha_i + E_i \cos(\alpha_i - \delta_i)}{\sin(\alpha_i - \delta_{i+1}) \frac{\tan \phi_i}{SF} + \cos(\alpha_i - \delta_{i+1})}$$

Esta fórmula permite calcular todas las fuerzas E_i actuantes entre los bloques para valores dados de δ_i y el factor de seguridad (SF). Esta solución asume que en el origen de la superficie de deslizamiento el valor de E es conocido e igual a cero.

De la ecuación (5) de equilibrio de momentos se obtiene la siguiente ecuación (7):

$$z_{i+1} = \frac{\frac{b_i}{2} \left[E_{i+1} (\sin \delta_{i+1} - \cos \delta_{i+1} \tan \alpha_i) + E_i (\sin \delta_i - \cos \delta_i \tan \alpha_i) \right] + E_i z_i \cos \delta_i - M 1_i + K_R W_i (y_M - y_{gi})}{E_{i+1} \cos \delta_{i+1}}$$

Esta fórmula permite calcular para un valor dado de δ todos los brazos z de las fuerzas actuantes sobre los bloques, sabiendo el valor sobre la izquierda del origen de la superficie de deslizamiento, donde $z_1 = 0$.

El factor de seguridad SF se determina empleando el siguiente proceso iterativo:

El valor inicial de δ es cero.

El factor de seguridad SF para un valor dado de δ se obtiene de la ecuación (6), mientras se asuma que el valor de $E_{n+1} = 0$ al final de la superficie de deslizamiento.

El valor de δ es obtenido de la ecuación (7) usando los valores de E determinados en el paso anterior con el requerimiento de hacer el momento en el último bloque igual a cero. La Ecuación (7) no provee el valor de z_{n+1} igual a cero. Para este valor se debe satisfacer la ecuación de equilibrio de momentos (5).

Los pasos 2 y 3 son repetidos hasta que el valor de δ no cambie.

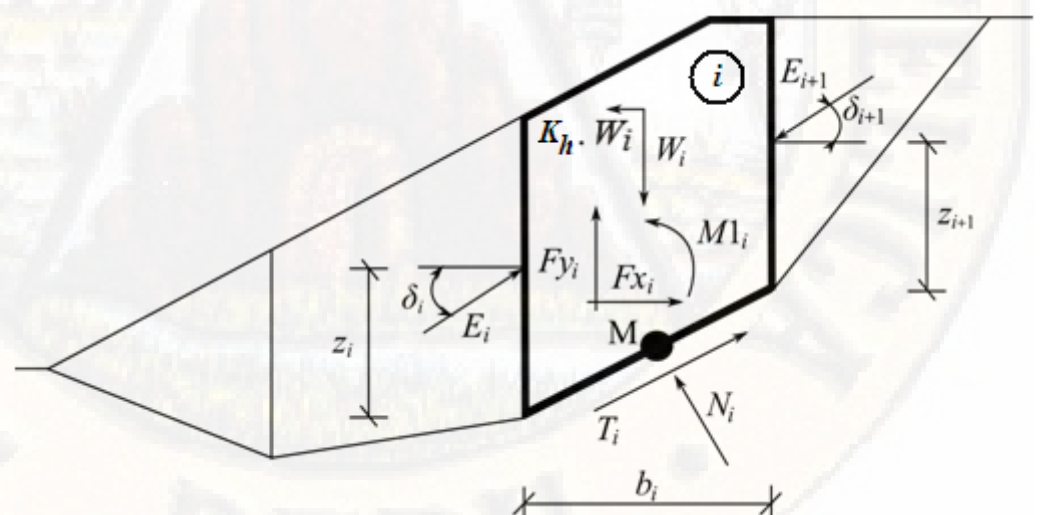
El método de Spencer se considera muy preciso y se puede aplicar a casi todo tipo de geometría de taludes y perfiles de suelo. Además, constituye un procedimiento más completo y sencillo para el cálculo del factor de seguridad.

MÉTODO DE MORGENSTERN - PRICE

Método de aplicación general que trata de alcanzar tanto el equilibrio de momentos como de fuerzas. La diferencia fundamental con el método de Spencer estriba en que la interacción entre rebanadas viene dada por una función que evalúa esa interacción a lo largo de la superficie de deslizamiento.

El método Morgenstern-Price es un método general de cortes realizados en la base del equilibrio límite. Debe satisfacer el equilibrio de fuerzas y momentos actuando en bloques individuales. Los bloques son creados dividiendo el suelo sobre la superficie terrestre dividiendo planos. Las fuerzas actuando en bloques individuales se muestran en la siguiente figura.

Figura 2.4 Diagrama de fuerzas de la dovela. Método de Morgenstern-Price



Fuente: MORGENSTERN Y PRICE (1965), "The Analysis Of The Stability Of General Slip Surfaces"

Cada bloque se asume para contribuir a la misma fuerza como en el método Spencer. Los siguientes supuestos se introducen en el método Morgenstern-Price para calcular el equilibrio límite de las fuerzas y momento de los bloques individuales:

- Los planos divididos entre bloques son siempre verticales
- La línea de acción de peso del bloque W_i pasa por el centro del segmento i th de la superficie de deslizamiento representada por el punto M
- La fuerza normal N_i actúa en el centro del segmento i th de la superficie de deslizamiento, en el punto M
- La inclinación de las fuerzas E_i que actúan entre los bloques es diferente en cada bloque (δ_i) al punto extremo de la superficie de deslizamiento $\delta = 0$
- La única diferencia entre el método Spencer y el método Morgenstern-Price se ve en la lista de supuestos superior. La elección de los ángulos de inclinación δ_i de las fuerzas E_i actuando entre los bloques se realiza con la ayuda de la función Half-sine que es elegida en forma automática.

La elección de la forma de la función tiene una influencia mínima en el resultado final, pero una elección adecuada puede mejorar la convergencia del método. El valor funcional de la función Half-sine $f(x_i)$ en el punto límite x_i multiplicado por el parámetro λ , que da como resultado el valor de la inclinación del ángulo δ_i .

2.3.5. Factores Y Parámetros Que Influyen En La Estabilidad Del Talud

Moreno, (1992) en su libro **FUNDAMENTOS DE GEOMORFOLOGÍA** brinda información respecto a los fundamentos teóricos para el análisis de

los procesos geomorfológicos, conceptos básicos de los principios de la geología; esta información fue de gran utilidad para describir e interpretar los procesos geomorfológicos donde se produjo el deslizamiento.

Varnes, (1978) en su libro **CLASIFICACIÓN DE DESLIZAMIENTOS** brinda información al definir y clasificar los movimientos en masa basándose en el tipo de material desplazado y el tipo de movimiento. Esta información fue de gran utilidad para clasificar y definir el tipo de deslizamiento que presenta el área de estudio.

Suárez D, (1998), En su libro **DESLIZAMIENTOS: ANÁLISIS GEOTÉCNICO** permite conocer la dinámica de los deslizamientos, así como, el análisis para el reconocimiento de los factores condicionantes y detonantes que intervienen en su generación, las técnicas de investigación que se emplean en campo para conocer y determinar el tipo de mecanismos de fallas, grietas, y la influencia de agua en la generación de inestabilidad de laderas.

Suárez D, (2009). **SUELOS RESIDUALES** Este compendio es un resumen de los modelos conceptuales de perfiles de meteorización donde describe la formación de este suelo, clasificándolos en horizontes de transición roca suelo.

BRAJA (2010). **SUELOS** la definición de suelo es, agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) junto con el líquido y gas que ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas.

CLASIFICACIÓN SUCS

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Unified Soil Classification System USCS), es el sistema utilizado en la ingeniería para clasificar los suelos de acuerdo con el tamaño de los granos gruesos que lo componen y los límites de consistencia de los finos. Este sistema fue originalmente

propuesto por Casagrande (1942), y adoptado como sistema estándar en 1969 por la Sociedad Americana para Ensayos de Materiales (ASTM). De acuerdo con este sistema, las gravas y las arenas conforman la fracción gruesa, mientras que los limos, arcillas y turba la fracción fina. El sistema SUCS, para la clasificación utiliza prefijos como:

G (significa grava o suelo gravoso), S (arena o suelo arenoso), M (limo inorgánico), C (arcilla inorgánica), O (limos y arcillas orgánicas), Pt (utilizado para turbas, lodos y otros suelos altamente orgánicos), W (suelo bien gradado), P (suelo mal gradado), L (suelos baja plasticidad) y H (suelo de alta plasticidad).

LÍMITES DE ATTERBERG: Se basa en el concepto de que los suelos finos pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo del contenido de agua, ya sea éste sólido, semisólido, plástico, semilíquido o líquido. (Braja, 2008).

El contenido de agua con que se produce el cambio de estado varía de un suelo a otro y en mecánica de suelos interesa fundamentalmente conocer el rango de humedades, para el cual el suelo presenta un comportamiento plástico; es decir, la propiedad que presentan los suelos hasta cierto límite sin romperse.

LOS LÍMITES DE ATTERBERG SON LOS SIGUIENTES:

Límite Líquido: Es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como un material plástico. A este nivel de contenido de humedad el suelo está a punto de cambiar su comportamiento al de un fluido viscoso.

Límite Plástico: Es el contenido de humedad por debajo del cual se puede considerar al suelo como material no plástico.

La diferencia entre estos dos límites da el valor del Índice de Plasticidad:

Índice de plasticidad IP. Parámetro que indica el rango de humedad para el cual un suelo se comporta como un material plástico, es decir que se puede deformar sin cambiar de volumen.

$$IP = LL - LP$$

CRITERIO DE MOHR-COULOMB

Es un criterio de rotura lineal que expresa la resistencia al corte a lo largo de un plano en un estado triaxial de tensiones, obteniéndose la relación entre los esfuerzos normal y tangencial que actúan en el momento de la rotura. Es representado mediante la siguiente fórmula:

$$\tau = c + \sigma_n \tan \phi$$

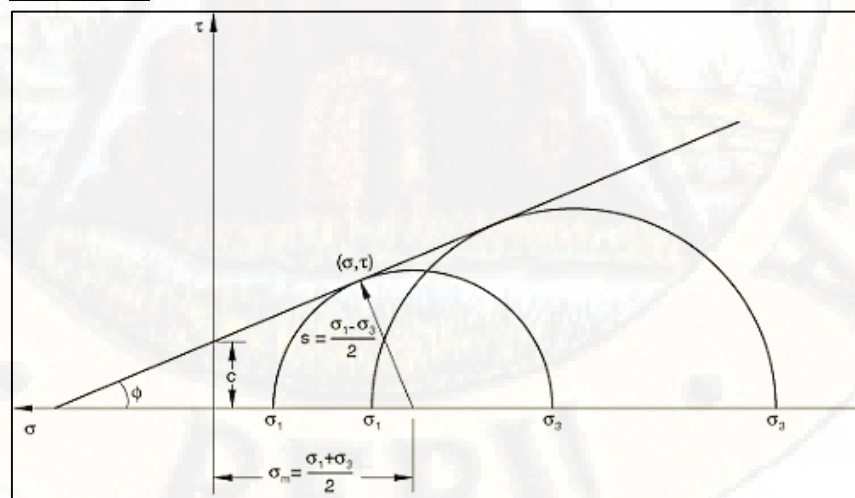
Donde:

τ y σ_n son las tensiones tangencial y normal sobre el plano de rotura.

c y ϕ son la cohesión y ángulo de rozamiento del material.

Es un criterio de rotura mayormente utilizado para suelos.

Figura 2.5. Criterio de rotura lineal de Mohr-Coulomb



Fuente: GONZALEZ DE VALLEJO (2002) "Ingeniería Geológica".

COHESIÓN: Es la propiedad por la cual las partículas del terreno se mantienen unidas en virtud de fuerzas internas, que dependen, entre otras cosas del número de puntos de contacto que cada partícula tiene con sus vecinas. En consecuencia, la cohesión es mayor cuanto más finas son las partículas del terreno. (González de Vallejo, 2002).

Cuadro 2.3. Valores de Cohesión por tipo de suelo.

COHESIÓN (KPa)	
Arcilla rígida	20 - 25
Arcilla semirígida	8 - 12
Arcilla blanda	0 - 4
Arcilla arenosa	2 - 8
Limo rígido o duro	0 - 5

Fuente: González de Vallejo, (2002) "Ingeniería Geológica".

ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA: La fricción interna de un suelo está definida por el ángulo cuya tangente es la relación entre la fuerza que resiste el deslizamiento, a lo largo de un plano, y la fuerza normal aplicada sobre dicho plano. González de Vallejo, (2002).

Cuadro 2.4. Valores del ángulo de fricción interna en suelos granulares no plásticos, en función de la granulometría y la compactad

Tipo de suelo	Ángulo de fricción interna en función de la densidad inicial (°)		
	Suelto	Medianamente denso	Compacto
Limo no plástico	24 - 28	28 - 32	30 - 34
Arena uniforme fina a media	26 - 30	30 - 34	32 - 36
Arena bien graduada	30 - 34	34 - 40	38 - 46
Mezclas de arena y grava	32 - 36	36 - 42	40 - 48
Grava	36 - 40	38 - 42	42 - 50

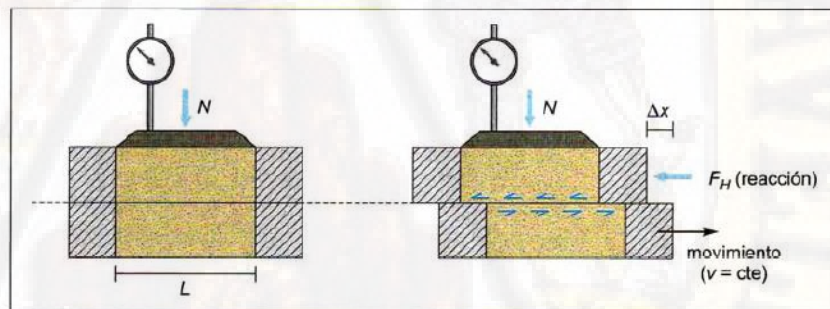
Fuente: Gonzalez de Vallejo, (2002) "Ingeniería Geológica".

ENSAYO DE CORTE DIRECTO:

El ensayo consiste en una caja rígida, usualmente de sección cuadrada, que se encuentra dividida en dos mitades y en cuyo interior se coloca la muestra de suelo. Encima de ésta se coloca una placa de reparto rígida, sobre la que se puede aplicar una carga vertical (N). Todo el conjunto se introduce en un recipiente de acero de mayores dimensiones, que puede llenarse de agua para realizar el ensayo en condiciones de saturación. La inducción de tensiones cortantes en el suelo se logra trasladando horizontalmente la parte inferior de la caja de corte en cuanto se impide el movimiento de la zona superior. Ver Figura 2-6.

Este mismo proceso se vuelve a realizar con otras dos muestras idénticas de suelo, pero sometidas a tensiones normales crecientes (σ_2) y (σ_3).

Figura 2.6. Esquema del aparato de corte directo



Los tres puntos representativos de los tres ensayos se pueden unir de forma bastante aproximada con una recta, que sería la línea de resistencia intrínseca o envolvente de rotura, de la que se pueden fácilmente obtener los parámetros de cohesión y ángulo de fricción interna (c' , ϕ'), como se muestra en la Figura 2.7.

Figura 2.7. Obtención de la envolvente de rotura y los parámetros de resistencia al corte (c' , ϕ') a partir de un ensayo de corte directo

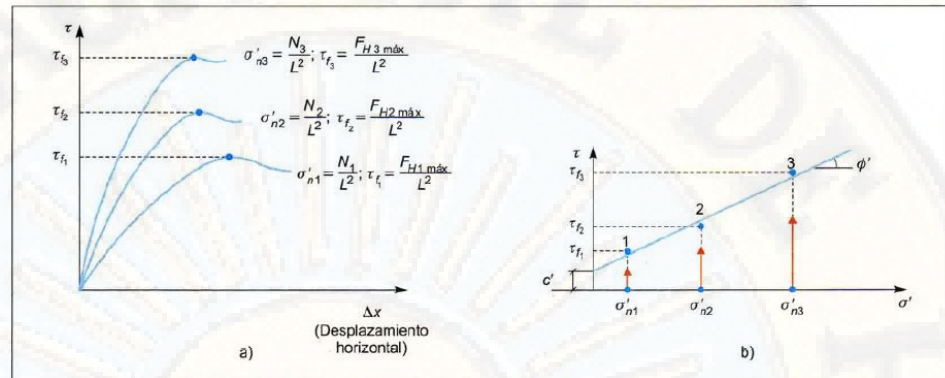


Figura 2.45 Obtención de la envolvente de rotura y los parámetros de resistencia al corte (c' , ϕ') a partir de un ensayo de corte directo drenado.

CRITERIO DE HOEK & BROWN

Es un criterio de rotura no lineal más adecuado para evaluar la resistencia de la matriz rocosa isotrópica en condiciones triaxiales. Se representa mediante la expresión matemática:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m_i \sigma_{ci} \sigma_3 + \sigma_{ci}^2}$$

Donde:

σ_1 y σ_3 son los esfuerzos principales mayor y menor, respectivamente.

σ_{ci} es la resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa.

m_i es la constante de la roca intacta, que puede obtenerse de la bibliografía cuando no sea posible obtenerla a partir de ensayos triaxiales.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAXIAL (UCS): Es el esfuerzo de compresión axial, orientado en un solo eje, máximo que puede tolerar una muestra de material antes de fracturarse. Se conoce también como resistencia a la compresión no confinada.

La resistencia a la compresión uniaxial (UCS) de la roca puede ser medida en campo mediante golpes del martillo geológico, de acuerdo en el siguiente cuadro:

Cuadro 2-5. Resistencia a la Compresión Simple a partir de índices de campo.

Resistencia Estimada en Campo	Descripción	Resistencia (MPa)
Se desintegra al golpe firme con la punta del martillo geológico. Puede ser escarbada con una cuchilla.	Muy blanda	1 – 5
Puede ser escarbada con dificultad por una cuchilla. Se puede indentar la punta del martillo geológico con un golpe firme.	Blanda	5 – 25
Se rompe con un golpe firme del martillo geológico. No puede ser escarbada con una cuchilla.	Moderadamente dura	25 – 50
Se rompe con más de un golpe del martillo geológico.	Dura	50 – 100
Se requieren muchos golpes del martillo geológico para romper la roca.	Muy dura	100 – 250
Los golpes del martillo geológico sólo obtienen esquirlas.	Extremadamente dura	>250

Fuente: GONZALEZ DE VALLEJO (2002) “Ingeniería Geológica”.

ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA (GSI): Es un índice desarrollado por Hoek en 1994 para subsanar los problemas detectados con el uso del RMR para evaluar la resistencia de los macizos rocosos según el criterio generalizado de Hoek-Brown. Se determina en base a dos parámetros: estructura del macizo rocoso (RMS), definida en términos de su grado de fracturamiento y trabazón; y la condición de las discontinuidades presentes en el macizo (JC).

El GSI se obtiene mediante la observación de las condiciones de las discontinuidades en el macizo rocoso en campo. Se utiliza el siguiente cuadro:

Figura 2.8. Estimación del GSI en base a descripciones geológicas

ÍNDICE GEOLÓGICO DE RESISTENCIA GSI (<i>geological strength index</i>)		CONDICIÓN DEL FRENTE				
ESTRUCTURA		MUY BUENA (MB) Superficies muy rugosas sin alterar	BUENA (B) Superficies rugosas ligeramente alteradas, con palinas de oxidación	MEDIA (M) Superficies suaves moderadamente alteradas	POBRE (P) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos compactos conteniendo fragmentos rocosos	MUY POBRE (MP) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos arcillosos
	BLOQUES REGULARES (BR) Macizo rocoso sin alterar. Bloques en contacto de forma cúbica formados por tres familias de discontinuidades ortogonales, sin relleno.	80	70			
	BLOQUES IRREGULARES (BI) Macizo rocoso parcialmente alterado. Bloques en contacto de forma angular formados por cuatro o más familias de discontinuidades con rellenos con baja proporción de finos.		60	50		
	BLOQUES Y CAPAS (BC) Macizo alterado, plegado y fracturado con múltiples discontinuidades que forman bloques angulosos y con baja proporción de finos.			40	30	
	FRACTURACIÓN INTENSA (FI) Macizo rocoso muy fracturado formado por bloques angulosos y redondeados, con alto contenido de finos.				20	10

Fuente: GONZALEZ DE VALLEJO (2002) "Ingeniería Geológica".

CONSTANTE DE LA ROCA INTACTA: La Constante de la Roca Intacta (m_i) se estima del siguiente cuadro:

Cuadro 2.6. Valores de la Constante (mi) en Roca Intacta para distintos tipos de roca

Tipo de Roca	Clase	Grupo	Textura			
			Gruesa	Media	Fina	Muy Fina
SEDIMENTARIAS	Clásticas		Conglomerado (22)	Arenisca 19	Limolita 9	Arcillolita 4
			←----- Grauwaca (18) -----→			
	No Clásticas	Orgánicas	←----- Creta 7 -----→			
			←----- Carbón (8 - 21) -----→			
		Carbonatos	Brechas (20)	Caliza Esparítica (10)	Caliza Micrítica 8	
	Químicas		Yeso 16	Anhidrita 13		
METAMORFICAS	No Foliadas		Mármol 9	Rocas Córneas (19)	Cuarcita 24	
	Levemente Foliadas		Migmatita (30)	Anfibolita 25 - 31	Milonitas (6)	
	Foliadas		Gneiss 33	Esquistos 4 – 8	Filitas (10)	Pizarras 9
IGNEAS	Intrusivas	Claras	Granito 33		Riolita (16)	Obsidiana (19)
			Granodiorita (30)		Dacita (17)	
		Oscuras	Diorita (28)		Andesita 19	
			Gabbro 27	Dolerita (19)	Basalto (17)	
		Norita 22				
	Extrusivas Piroclásticas		Agglomerados (20)	Brechas (18)	Tobas (15)	

Fuente: GONZALEZ DE VALLEJO (2002) "Ingeniería Geológica".

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BIENIAWSKI (RMR)

La clasificación RMR (Rock Mass Rating) fue desarrollada por Bieniawski en 1973 y tuvo actualizaciones en 1979 y 1989.

Esta clasificación permite evaluar los macizos rocosos de acuerdo con su calidad geomecánica y correlacionarla con otros parámetros geotécnicos del macizo rocoso. Para calcular el índice de calidad RMR se tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos:

- Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.
- Grado de fracturación en términos del RQD.
- Espaciado de las discontinuidades.

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

La incidencia de estos parámetros en el comportamiento geomecánico del macizo rocoso se expresa mediante el índice de calidad RMR, que varía de 0 a 100.

Para aplicar la clasificación RMR se divide el macizo rocoso en zonas presenten características geológicas más o menos uniformes en campo, para la cual se toman las medidas y datos correspondientes a las discontinuidades y propiedades de la matriz rocosa.

El índice RQD (Rock Quality Designation) fue desarrollado por Deere entre 1963 y 1967. Para su cálculo en taludes rocosos, cuando no se dispone de perforaciones diamantinas, existen dos métodos:

- En función del número de fisuras por metro, determinadas al realizar el levantamiento litológico-estructural en el área o zona predeterminada. Se aplica la siguiente fórmula:

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

$$\text{donde } \lambda = \frac{\text{Nº de fisuras}}{\text{Espacio}}$$

- En función del número de fisuras por metro cúbico (Jv), determinadas al realizar el levantamiento litológico-estructural en el área. (Para rocas sin arcilla, RQD = 100 para Jv < 4.5)

$$RQD = 115 - 3.3(Jv)$$

El Jv se calcula sumando el número de fisuras por metro que corten de manera independiente a cada uno de los 3 ejes de un cubo imaginario en el cuerpo rocoso materia de análisis. Para tener una mayor precisión, se mide

una longitud adecuada en cada eje y luego se halla el número de fisuras en un solo metro. Así se tendrá:

$$Jv(eje) = \frac{n^{\circ} \text{ de fisuras}}{\text{longitud del eje}}$$

$$Jv = Jv_x + Jv_y + Jv_z$$

Los valores de los parámetros de la clasificación RMR que se indican en la Tabla 2-7 son sumados. Al resultado obtenido se le aplica un ajuste por orientación de las discontinuidades de acuerdo con el tipo de obra ejecutarse, como se observa en la Tabla 2-8. El resultado final será el valor del RMR del macizo rocoso.

Cuadro 2.7. Parámetros de la clasificación RMR.

Parámetro				Escala de valores					
1	Resistencia de la roca inalterada	Índice de la carga de punta	> 8 MPa	4-8 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Para esta escala tan baja se prefiere la prueba de la resistencia a la compresión Uniaxial		
		Resistencia a la compresión uniaxial	> 200 MPa	100-200 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	10-25 MPa	3-10 MPa	1-3 MPa
	Valoración		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90-100 %	75-90 %	50-75 %	25-50 %	< 25 %		
	Valoración		20	17	13	8	33		
3	Espaciamiento de juntas		> 3 m	1-3 m	0.3-1 m	50-300 mm	< 50 mm		
	Valoración		30	25	20	10	5		
4	Estado de las fisuras		Superficies muy rugosas, sin continuidad, sin separación. Paredes de roca dura	Superficies algo rugosas, separación < 1mm, paredes de roca dura	Superficies algo rugosas, separación < 1mm, paredes de roca suave	Superficies pulidas o relleno < 5 mm, esp. O fisuras abiertas 1-5 mm, fisuras continuas	Relleno blando < 5 mm o fisuras abiertas < 5 mm, fisuras continuadas		
	Valoración		25	20	12	6	0		
5	Aguas subterráneas	Cantidad de infiltración	Ninguna		< 25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min		

		en lt/min del túnel				
	Relación	Presión de agua	0	0.0-0.2	0.2-0.5	> 0.5
		Esfuerzo principal o mayor				
	Situación General	Totalmente seco		Solo húmedo (agua de intersticios)	Ligera presión de agua	Serios problemas de agua
Valoración		10		7	4	0

Fuente: BIENIAWSKI (1989) "Clasificación Geomecánica RMR".

Cuadro 2.8. Ajuste del RMR por orientación de las Discontinuidades.

AJUSTE POR ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES						
Orientaciones del rumbo y buzamiento		Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Puntaje según el tipo de trabajo	Túneles y minas (T)	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones (F)	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes (S)	0	-5	-25	-50	-60

Fuente: GONZALEZ DE VALLEJO (2002) "Ingeniería Geológica".

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE ROMANA (SMR)

La clasificación SMR (Slope Mass Rating) se basa en una corrección del RMR, propuesta por Manuel Romana en 1985 con la finalidad de poder predecir el comportamiento de los taludes en roca con mayor precisión.

En esta clasificación se utilizan parámetros como la dirección del buzamiento, el buzamiento de cada familia de juntas (a_j , b_j) y del talud a estudiar (a_s , b_s).

El valor del SMR es el resultado de la suma del valor del RMR con cuatro factores:

$$SMR = RMR + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4$$

Cuadro 2.9. Parámetros de la clasificación SMR.

Parámetros del SMR			
Dirección de buzamiento de la discontinuidad	a_j	Buzamiento de la discontinuidad	b_j
Dirección de buzamiento del talud	a_s	Buzamiento del talud	b_s

Fuente: GONZALEZ DE VALLEJO (2002) "Ingeniería Geológica".

El factor F_1 depende del paralelismo entre las direcciones de las juntas y del talud, el factor F_2 del buzamiento de la familia de juntas y el factor F_3 de la diferencia de buzamientos entre la familia de juntas y el talud. El producto de estos tres factores ($F_1 \times F_2 \times F_3$) se denomina factor de ajuste.

Cuadro 2.10. Determinación del factor de ajuste F_1

DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE AJUSTE F_1						
Caso		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Planar	$a_s - a_j$	$> 30^\circ$	$30^\circ - 20^\circ$	$20^\circ - 10^\circ$	$10^\circ - 5^\circ$	$< 5^\circ$
Volteo	$a_s - a_j - 180$					
Valores de F_1		0.15	0.40	0.70	0.85	1.00

Fuente: GONZALEZ DE VALLEJO (2002) "Ingeniería Geológica".

Cuadro 2.11. Determinación del factor de ajuste F_2

DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE AJUSTE F ₂						
Caso		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Planar	b _j	< 20°	20° – 30°	30° – 35°	35° - 45°	> 45°
Valores de F ₂		0.15	0.40	0.70	0.85	1.00

Fuente: GONZALEZ DE VALLEJO (2002) "Ingeniería Geológica".

Nota: Para el caso de falla por volteo, considerar $F_2 = 1$

Cuadro 2.12. Determinación del factor de ajuste F_3

DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE AJUSTE F_3						
Caso		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Planar	$b_j - b_s$	$> 10^\circ$	$10^\circ - 0^\circ$	0°	$0^\circ - (-10^\circ)$	$< -10^\circ$
Volteo	$b_j + b_s$	$< 110^\circ$	$110^\circ - 120^\circ$	$> 120^\circ$	--	--
Valores de F_3		0	-6	-25	-50	-60

Fuente: GONZALEZ DE VALLEJO (2002) "Ingeniería Geológica".

El método empleado en la excavación del talud también es tenido en cuenta por esta clasificación mediante el factor F_4 .

Cuadro 2.13. Determinación del factor de ajuste F_4 por Método de Excavación

FACTOR DE AJUSTE SEGÚN EL MÉTODO DE EXCAVACIÓN F_4					
Método	Talud Natural	Pre-Corte	Voladura controlada	Voladura regular	Voladura deficiente
F_4	15	10	8	0	-8

Fuente: GONZALEZ DE VALLEJO (2002) "Ingeniería Geológica".

Las rocas se agrupan en cinco clases dependiendo del valor del índice SMR designándolas como muy buenas, buenas, regulares, malas y muy malas.

Cuadro 2.14. Rangos de valores de SMR

CLASE	V	IV	III	II	I
ROCA	Muy mala	Mala	Regular	Buena	Muy Buena
SMR	0 – 20	21 – 40	41 - 60	61 - 80	81 - 100
Estabilidad	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente estable	Estable	Totalmente estable
Roturas	Grandes roturas por planos continuos o por masa	Juntas o grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunas cuñas	Ninguna

Fuente: GONZALEZ DE VALLEJO (2002) "Ingeniería Geológica".

2.3.6. Factores De Seguridad Mínimos

El análisis de estabilidad tiene la finalidad de establecer el grado de susceptibilidad al deslizamiento del talud a través de factores de seguridad.

Cuadro 2.15. Factores de seguridad de una ladera

Factor de Seguridad (F.S.)		Nivel o grado de estabilidad
Estático	Pseudo-Estático	
1.0 - 1.2	< 1.0	Inestable
1.2 - 2.0	1.0 - 1.2	Estable
> 2.0	> 1.2	Muy Estable

Fuente: Alva (2000)

El valor del factor de seguridad utilizado en cualquier caso dado debe ser acorde con las incertidumbres involucradas en su cálculo y las consecuencias que se derivarían de la falla. Cuanto mayor sea el grado de incertidumbre acerca de la resistencia al corte y otras condiciones, y cuanto mayor sean las consecuencias de la falla, mayor será el factor de seguridad requerido. La Tabla 2-16 muestra los valores de FS basados en este concepto.

Cuadro 2.16. Valores Mínimos Recomendados de Factor de Seguridad.

Costos y Consecuencias de la Falla de un Talud	Incertidumbre de las condiciones de análisis	
	Pequeña ^a	Grande ^b
Costo de reparación comparable al costo incremental para construir taludes diseñados de manera más conservadora.	1.25	1.5
Costo de reparación mucho mayor que el costo incremental para construir taludes diseñados de manera más conservadora.	1.5	2.0 ó >

Fuente: Duncan

^aLa incertidumbre con respecto a las condiciones de análisis es menor cuando el entorno geológico se comprende bien, las condiciones del suelo son uniformes y las investigaciones exhaustivas proporcionan una imagen coherente, completa y lógica de las condiciones en el sitio.

^bLa incertidumbre con respecto a las condiciones de análisis es mayor cuando el entorno geológico es complejo y no se comprende bien, las condiciones del suelo varían considerablemente de un lugar a otro, y las investigaciones no proporcionan una imagen consistente y confiable de las condiciones en el sitio.

Criterio para Factores de Seguridad de Corps of Engineers

Los valores del factor de seguridad enumerados en la Tabla 2-17 son del manual de estabilidad de taludes de U.S. Army Corps of Engineers. Están diseñados para su aplicación en taludes de diques, otros terraplenes, excavaciones y laderas donde se conocen bien las condiciones y donde se han estudiado a fondo las propiedades de los suelos. Representan una práctica convencional y prudente para este tipo de taludes y condiciones, donde las consecuencias de la falla pueden ser significativas, como casi siempre lo son para las presas.

Los valores recomendados de factor de seguridad, como los de la Tabla 13.2, se basan en la experiencia, lo cual es lógico. Sin embargo, no es lógico aplicar los mismos valores de factor de seguridad a condiciones que involucran grados de incertidumbre ampliamente variables. Por lo tanto, es significativo que los factores de seguridad en la Tabla 13.2 estén destinados a los proyectos de Corps of Engineers, donde los métodos de exploración, prueba y análisis son consistentes de un proyecto a otro y el grado de incertidumbre con respecto a estos factores no varía ampliamente. Para otras situaciones, donde las prácticas y las circunstancias difieren, los valores de F en el cuadro 2.17 pueden no ser apropiados.

Cuadro 2.17. Factores de Seguridad Requeridos por tipo de taludes

Tipos de taludes	Factores de Seguridad Requeridos		
	Para el final de la construcción	Para filtración constante a largo plazo	Para una rápida reducción
Taludes de presas, diques y otros taludes de terraplenes y excavaciones.	1.3	1.5	1.0-1.2

Fuente: U.S. Army Corps of Engineers

2.4. Definición de Términos

- a) **LADERA:** Es una superficie que posee una pendiente o cambios de altura significativa, formada naturalmente por procesos geodinámicos.
- b) **TALUD:** Masa de tierra que posee una pendiente o cambios de altura significativos formada artificialmente.

En el talud o ladera se definen los siguientes elementos constitutivos:

- **Altura:** Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales, pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados.
- **Pie:** Corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior.
- **Cabeza o escarpe:** Se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.
- **Altura de nivel freático:** Distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medida debajo de la cabeza.
- **Pendiente:** Es la medida de la inclinación del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación m/1, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical.

Ejemplo: Pendiente: 45°, 100%, o 1H:1V.

Existen, además, otros factores topográficos que se requiere definir como son la longitud, convexidad (vertical), curvatura (horizontal) y área de cuenca de drenaje, los cuales pueden tener influencia sobre el comportamiento geotécnico del talud.

- c) **PLATAFORMA:** Superficie horizontal construida sobre el terreno natural, en el cual se ejecutan trabajos de corte y relleno, siendo la base de sustentación de la carretera.
- d) **SUBRASANTE:** Superficie de la carretera terminada a nivel de movimiento de tierras (corte o relleno), sobre la cual se coloca la sub-base.
- e) **RASANTE:** Nivel terminado de la superficie de rodadura.
- f) **SUELO:** Agregado de partículas formado por la descomposición física y química de las rocas y la acumulación de materiales distintos a lo largo del tiempo.
- g) **ROCA:** Las rocas son agregados sólidos cohesivos formados por minerales, generalmente constan de más de un tipo de mineral. La alteración física y química de los mismos produce la separación de sus partículas, dando origen a los suelos.
- h) **DESLIZAMIENTO:** Es un movimiento de masas de suelo o roca pendiente abajo a través de superficies de rotura, en los que se preserva a grandes rasgos la forma de la masa desplazada.
- i) **DERRUMBE:** Es un movimiento de caída de bloques rocosos y/o suelos debido a una pérdida en la resistencia al esfuerzo cortante. Es frecuente en zonas escarpadas y no está definido por una superficie de rotura regular.

- j) **ASENTAMIENTO:** Es un movimiento relativamente lento de componente vertical que afecta generalmente a suelos, y se produce debido a cambios tensionales inducidos en el terreno.
- k) **SUELO RESIDUAL:** Suelo formado por la alteración de la roca in situ sin haber sufrido transporte. Debido al proceso de meteorización que experimentó la roca, ya no aparecen sus características físicas primigenias.
- l) **DEPÓSITO COLUVIAL:** Es una acumulación de materiales transportados, depositados lejos de su lecho original o roca preexistente por acción de la fuerza de gravedad. Casi siempre están acumulados al pie de las laderas.
- m) **DEPÓSITO ALUVIAL:** Es una acumulación de materiales detríticos transportados y depositados lejos de su ubicación original por acción de un flujo de agua.
- n) **CALICATA:** Excavación ejecutada para facilitar el reconocimiento geotécnico de un terreno. Presenta una profundidad pequeña a media y es realizada manualmente con una pala o mecánicamente con una retroexcavadora.
- o) **ENSAYO DE CONO DE ARENA (MTC-E117):** Es un método que se utiliza para determinar in situ la densidad natural de los suelos cuyo tamaño máximo de partículas sea menor o igual a 50mm (2'') mediante una botella con arena cuyo acople tiene un diámetro de 6 pulgadas. Se obtiene la densidad del suelo trabajando con el volumen excavado (volumen constante), tomando como datos la densidad y masa de la arena, así como la masa del suelo.
- p) **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D-422):** Es la determinación de los tamaños de las partículas de una cantidad de muestra de suelo que se hace pasar por mallas o tamices. En los suelos granulares, el ensayo da una idea de su permeabilidad y de su comportamiento.
- q) **CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D-2216):** Ensayo realizado en un suelo para determinar el porcentaje de humedad. Consiste en secar dicho

material cuando está húmedo (espécimen de prueba) en un horno controlado a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$); y usar este valor como el peso del agua en el espécimen de prueba. El peso del material remanente después de secado en el horno corresponde al peso de las partículas sólidas.

- r) **PESO UNITARIO:** Es la relación entre el peso de un material respecto a una unidad de volumen del mismo. Es el producto de la densidad del material por la aceleración de la gravedad.
- s) **COHESIÓN:** Es la propiedad por la cual las partículas del terreno se mantienen unidas en virtud de fuerzas internas que dependen entre otras cosas del número de puntos de contacto que cada partícula tiene con sus vecinas. En consecuencia, la cohesión es mayor cuanto más finas son las partículas del terreno.
- t) **ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA:** La fricción interna de un suelo está definida por el ángulo cuya tangente es la relación entre la fuerza que resiste el deslizamiento, a lo largo de un plano, y la fuerza normal aplicada sobre dicho plano.
- u) **NIVEL FREÁTICO:** El nivel freático puede definirse como el nivel superior del agua en un acuífero o más correctamente como el lugar donde la presión del agua es igual a la de la presión atmosférica. El nivel freático, también llamado napa freática, puede medirse mediante una perforación en el subsuelo. La distancia medida entre el agua subterránea y la superficie se corresponde con el nivel freático.
- v) **CONDICIONES ESTÁTICAS:** Condición en la que el talud sólo estará sometido a la acción de las fuerzas debidas a su propio peso, carga aplicada y a las condiciones de infiltración, las cuales generan condiciones de presión de poros que influyen en la estabilidad de este.
- w) **CONDICIONES SÍSMICAS o PSEUDOESTÁTICAS:** En este análisis se considera que el talud estará sometido, además del peso propio, a la acción

de la fuerza generada por la aceleración sísmica horizontal máxima establecida para el área de estudio.

- x) **GEOMANTOS:** Son geo sintéticos diseñados con alta resistencia a la tensión en distintas direcciones, a la degradación química, biológica y ultravioleta. Son ideales para añadir estructura y fuerza a la superficie de tierra y suelo su superficial, reforzando la vegetación.

2.5. Hipótesis

2.5.1. Hipótesis General

Los métodos de equilibrio límite demostrarán la estabilidad física del talud de la carretera Huancavelica – Lircay entre las progresivas del Km 02+700 al Km 02+800.

2.5.2. Hipótesis Específicas

- La evaluación de los macizos rocosos altamente susceptibles a la alteración en suelos residuales será importante para su caracterización y definición de las medidas correctivas a adoptar para el talud debido a la inestabilidad generada en temporada de lluvias.
- Las propiedades geotécnicas de los materiales que conforman el talud mediante métodos de equilibrio límite, influyen directamente en la estabilidad en la carretera Huancavelica – Lircay.
- Las condiciones de los materiales que conforman el talud y la interacción de agentes externos como las precipitaciones pluviales influyen en la inestabilidad del talud en la carretera Huancavelica – Lircay.

2.6. Variables.

2.6.1. Variable independiente:

Métodos de Equilibrio Límite. Son procedimientos de cálculo que tienen como finalidad obtener el factor de seguridad para verificar la estabilidad de un talud en base a sus parámetros geotécnicos

Definición operacional: Empleo de métodos de Bishop simplificado, Spencer y Morgenstern – Price para el cálculo de estabilidad del talud de la progresiva km 02+700 al km 02+800 en la carretera Huancavelica – Lircay

Dimensiones.

- Factor de seguridad

2.6.2. Variable dependiente:

Estabilidad del Talud. Son fenómenos de estado último de rotura de masa de suelos, producidos por Se basa fundamentalmente en una consideración de equilibrio plástico límite.

Definición operacional. Se basa fundamentalmente en una consideración de equilibrio plástico límite, Ensayos de laboratorio

Dimensiones.

- Propiedades físicas del suelo.
- Factores climáticos y artificiales.

2.7. Operacionalización de variables:

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
(VARIABLE INDEPENDIENTE) Métodos de Equilibrio Límite	Son procedimientos de cálculo que tienen como finalidad obtener el factor de seguridad para verificar la estabilidad de un talud en base a sus parámetros geotécnicos.	Empleo de métodos de Bishop simplificado, Spencer y Morgenstern – Price para el cálculo de estabilidad del talud de la progresiva km 02+700 al km 02+800 en la carretera Huancavelica – Lircay.	Factor de Seguridad
(VARIABLE DEPENDIENTE) Estabilidad del Talud	Son fenómenos de estado último de rotura de masa de suelos, producidos por agentes externos.	Se basa fundamentalmente en una consideración de equilibrio plástico límite. Ensayos de laboratorio.	Factores climáticos y artificiales. Propiedades físicas del suelo.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Ámbito de estudio.

3.1.1 Ubicación Geográfica.

La zona de estudio se localiza entre las progresivas del km 02+700 al km 02+800 de la carretera Huancavelica – Lircay en la Cordillera de los Andes Peruanos, perteneciente a la región Huancavelica, exactamente en las siguientes coordenadas UTM (WGS84):

COORDENADAS (Zona 18L)	
Este	505760
Norte	8585713

3.1.2. Accesibilidad

El acceso por vía terrestre partiendo desde Lima es a través de la carretera Central siguiendo la ruta Lima – Huancayo – Huancavelica. El viaje tarda en promedio trece (13) horas, en las que se recorren 457 km.

Para llegar a la zona de estudio se parte de la ciudad de Huancavelica recorriendo la carretera asfaltada rumbo a Lircay, por una distancia de 2.7 km. El talud se encontrará en el borde derecho.

3.1.3. Geografía

La zona de estudio se ubica en la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, a orillas del río Ichu, afluente del río Mantaro, con un rango de alturas entre los 3700 y 3900 msnm, a 2.7 km de la ciudad de Huancavelica, capital del departamento del mismo nombre, que se encuentra en la zona central del Perú, a una altitud de 3,676 m.s.n.m. Se encuentra en una de las regiones más escarpadas de los Andes, y junto con Apurímac y Ayacucho conforman el denominado trapecio andino.

El territorio de la región Huancavelica es atravesado por la Cordillera Central andina al norte, y la Cordillera Occidental al centro; ambas cadenas definen dos grandes espacios geográficos en Huancavelica: una región montañosa compuesta por ambas cordilleras y las mesetas altoandinas que se encuentran entre ellas.

3.1.4. Clima

El clima es seco y templado, con dos estaciones bien marcadas: la temporada seca entre los meses de abril y noviembre, con temperaturas cercanas a los 20° C, y la temporada lluviosa entre los meses de diciembre y marzo, en los que alcanza temperaturas mínimas alrededor de los 6 °C.

3.1.5. Geomorfología

La geomorfología del área es el resultado de los efectos degradantes y agentes de la meteorización asociados con el levantamiento de los Andes, modelando la topografía del área de estudio, dentro de las cuales se puede identificar las siguientes unidades geomorfológicas:

Valles y quebradas

Esta unidad geomorfológica corresponde a los valles interandinos constituidos por los ríos Mantaro, Ichu, Lircay y sus tributarios que se encuentran distribuidos entre la faja y las estribaciones de la Cordillera Occidental.

Los valles y quebradas se formaron como consecuencia de la acción erosiva de los cursos de agua que nacen en las partes altas de la región.

Se observan fondos de valle con desniveles de hasta 1000 m aproximadamente, en ciertas partes del recorrido, mostrando flancos con pendientes fuertes que están cubiertos por material coluvial de poco transporte, y otros como producto de deslizamientos.

Las quebradas generalmente se encuentran como afluentes de los ríos principales que a veces presentan pequeñas zonas de cultivo.

Laderas

Son los relieves de altitudes comprendidas entre 2,300 y 4,000 msnm que presentan pendientes moderadas y pronunciadas. Ascenden gradualmente hacia las superficies altas; esta unidad constituye algunos flancos de los diferentes valles.

Las laderas en los valles formados por los ríos Ichu y Lircay tienen cambios bruscos de las pendientes originando laderas empinadas, en partes presentando saltos pronunciados.

3.1.6. Geología Regional

La geología de la zona está conformada por rocas sedimentarias marinas y continentales, además de rocas volcánicas. Todas estas como partes de diferentes eventos de sedimentación de la era Mesozoica y Cenozoica.

Grupo Pucará

Está constituido por las formaciones Chambará, Aramachay y Condorsinga, con la secuencia mejor expuesta en el valle de Lircay.

El Grupo Pucará se encuentra distribuido en afloramientos originalmente depositados sobre superficies preexistentes un tanto irregulares.

Formación Chambará

Dicha formación está compuesta por calizas y areniscas en parte bituminosas, que muchas veces contienen abundante chert. Constituye la base del grupo y sobreyace a rocas del Grupo Mitu en discordancia local.

La litología de la base al techo consiste en:

- Calizas dolomíticas y areniscas en estratos que varían de espesor de delgados a gruesos, con una coloración que varía de gris claro a oscuro.
- Areniscas lutáceas algo limoníticas de color gris a pardo amarillento, que débilmente se hacen calcáreas, se intercalan con calizas grisáceas de espesor moderado.

Formación Aramachay

Esta formación perteneciente al Jurásico inferior, está constituida por lutitas, margas, areniscas calcáreas y calizas bituminosas de coloración gris oscura.

Característicamente se encuentra también intercalaciones de lutitas verduzcas, interpretadas como depósitos diagenetizados de cenizas volcánicas, indicando actividad volcánica posterior a los derrames basálticos de la Formación Chambará.

Yacen en contacto concordante no bien definido sobre el miembro superior de la Formación Chambará.

Formación Condorsinga

Está constituida de calizas grises oscuras en bancos medianos y calizas claras con nódulos de chert, alcanzando un espesor aproximado de 400 m. Abarca la mayor área de afloramiento del Grupo Pucará, principalmente en la parte Noroccidental.

La orientación del eje de los plegamientos de las capas de la formación Condorsinga es aproximadamente NNE – SSO cambiando el rumbo en la parte Norte del cuadrángulo hacia NNO- SSE, siguiendo la flexura regional.

Grupo Goyllarisquizga

Secuencia eminentemente continental constituida por detritos cuarzosos, lutitas arcillosas, volcánicos lávicos, piroclásticos y calizas, en los Andes del Centro del Perú, principalmente en las partes altas y medias del Occidente Andino.

Está ubicado en la parte Occidental del área de estudio. Sus afloramientos plegados se encuentran con rumbo N-S sobreyaciendo a las calizas del Grupo Pucará. Se puede distinguir tres miembros:

El miembro inferior está constituido por areniscas marrones con intercalaciones de estratos de limoarcillitas. La presencia de estratos carboníferos, hallazgos de troncos fosilizados y detritus poco trabajados sugieren un ambiente continental.

En el miembro medio destacan las areniscas blanquecinas cuarzosas en estratos delgados que hacia el techo se presentan en estratos gruesos. En estas rocas los granos de cuarzo mayormente predominantes son subangulosos a subredondeados con cemento silíceo cuarcítico, resultando en una roca de alta resistencia al intemperismo.

El miembro superior está constituido por una serie de lutitas alternando con areniscas de colores amarillentos hasta rojos-violáceos, como se puede apreciar en el perfil a lo largo del río Ichu entre Huancavelica y Yauli. Hacia

el tope de las series de areniscas aparecen intercalados derrames lávicos, diferenciados y cartografiados como Formación Chayllacatana.

Formación Chayllacatana

En esta unidad se puede diferenciar derrames de lavas ofíticas hasta porfiríticas con estructuras vesiculares de colores violáceos, en los alrededores de Huancavelica. Se les encuentra ampliamente distribuidos y plegados en el lado Occidental del cuadrángulo con su mejor desarrollo en la zona minera de Santa Bárbara al Sur de Huancavelica y en la hacienda Acobambilla, al Norte de Huancavelica.

Consiste de una secuencia volcánica sedimentaria de derrames basálticos de olivino de coloración predominante gris verdoso a verde olivo y gris violáceo interestratificadas con areniscas amarillentas-rojizas. Son descompuestas fácilmente debido a la susceptibilidad al intemperismo y a ser erosionadas, resultando en formas negativas en comparación con las areniscas Goyllarisquizga y las calizas Chúlec respectivamente. Los suelos que se derivan de ellas tienen colores semejantes.

Formación Chúlec

A esta formación se le encuentra formando gran parte de la franja cretácea en la parte Occidental del cuadrángulo, sobreyaciendo en concordancia a las areniscas del Grupo Goyllarisquizga y los volcánicos Chayllacatana.

Litológicamente está constituida por lutitas calcáreas, en la base, pasando hacia arriba a margas interestratificadas con horizontes de calizas delgadas con una coloración amarillenta y con espesores inferiores a 50 cm. A medida que se va ascendiendo al techo, los bancos de caliza son más gruesos alcanzando un espesor de un metro, intercalados con margas calcáreas nodulosas.

En los estratos macizos se encuentran venillas de calcita aproximadamente perpendiculares al plano de estratificación.

La Formación Chúlec por su litología y la fauna sugiere que se depositó en medio de un ambiente de aguas saladas poco profundas.

Formación Casapalca

Pasa por las zonas de Huancayo y Huancavelica con dirección NO-SE, se trata de moladas continentales conformadas por una secuencia de lutitas rojas con intercalaciones de conglomerados y areniscas rojas y subordinadamente de arcillas, yeso, carbonatos, del límite Cretáceo - Paleógeno, en consecuencia, son productos de la erosión posterior a la fase Tectónica Peruana.

Están asociadas a ambientes fluviales - lagunares corroborados por las estructuras sedimentarias. Presentan algunas variaciones en litología y espesor, debido a las características paleogeográficas habidas a fines del Mesozoico, y a las características litológicas del substrato rocoso que sirvió como fuente de alimentación.

Se encuentra al Este de la ciudad de Huancavelica donde la secuencia se adelgaza. Afloran unos 100 m de areniscas en estratos delgados de grano medio a grueso intercalados con limoarcillitas en capas gruesas y horizontes delgados de lodolitas. También se presentan niveles delgados de calizas intercalados entre los niveles de lodolitas, presentando en conjunto un característico color rojizo.

3.1.7. Hidrología

En la zona de estudio las aguas de escorrentía son recolectadas por tres ríos principales como el río Mantaro, que se constituye como el colector principal de drenaje en el extremo NE del cuadrángulo, y los ríos Ichu y Lircay, que son los más importantes en la zona, los cuales forman pequeñas subcuencas desembocando en ellos los numerosos riachuelos que tienen sus nacientes en las quebradas, laderas y mesetas altas.

Río Ichu

Es uno de los más importantes ríos que en su recorrido discurre por las localidades de Huancavelica, y Yauli hasta llegar a desembocar en el río Mantaro con tramos que presentan relieves escarpados y formas de cañón, como también valles estrechos con un caudal considerable de agua, teniendo el aporte de numerosos tributarios. Su recorrido en el cuadrángulo de Huancavelica es de 44 km aproximadamente.

Aparte de estos ríos principales existen otros de recorrido más corto que tienen sus orígenes en las laderas altas de los relieves altiplánicos.

3.2. Tipo de investigación

De acuerdo al fin que persigue: **APLICADA O TECNOLÓGICA**; porque ya existe enfoques teóricos a cerca de las variables.

3.3. Nivel de Investigación.

Se utiliza un nivel de investigación: **DESCRIPTIVO-EXPLICATIVO**, que nos permitirá describir las variables y por ende nos ayudara a la explicación de dichas variables, para el mejor entendimiento del problema de investigación.

3.4. Población y muestra

3.4.1. La población:

Es el talud de corte entre las progresivas del Km 02+700 al Km 02+800.

3.4.2. La muestra:

Se realizará estimaciones de variables en la población, estas variables serán medidas y analizadas con pruebas estadísticas para el análisis de datos donde se realizará la muestra probabilística, donde todos los elementos de la población tienen una misma probabilidad de ser elegido.

3.4.3. Muestreo:

Probabilístico.

3.5. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

Se llevará a cabo siguiendo un programa de trabajo consistente en la recopilación de información previa, toma de datos de campo y muestras representativas para ensayos de laboratorio.

3.5.1. Recopilación de Información

El estudio se comenzó con la recopilación, filtrado y evaluación de estudios e investigaciones anteriores a nivel regional, nacional e internacional, que sirven de sustento teórico y aplicativo para la realización del estudio:

- Se efectuó la revisión de información cartográfica tales como cuadrángulos geológicos de INGEMMET e imágenes satelitales de Google Earth, e investigaciones de instituciones públicas y privadas (IGP, UNH, etc).
- Con la información obtenida se generó una base de datos que permite realizar los trabajos de interpretación de la información documentada y analizada para las fases posteriores del trabajo de investigación, tanto de campo como gabinete.

3.5.2. Trabajo de Campo

Esta fase de trabajo consiste en la exploración geológica y geotécnica del terreno, utilizando métodos convencionales en campo como la excavación de calicatas, el muestreo representativo de los suelos que conforman el talud para su análisis en laboratorio, el mapeo estructural de las rocas presentes en la zona de estudio (RMR, GSI, orientaciones de las discontinuidades, etc.)

3.5.2.1. Geología Local

La geología del terreno comprendido entre las progresivas del Km 2+700 al km 2+800 está conformada principalmente por rocas

volcánicas, margas y calizas que yacen una sobre otra de manera concordante.

Roca volcánica

En esta unidad se reconocen lavas basálticas con olivino de textura ofítica a porfirítica de colores gris verdoso a verde olivo, violáceos y rojizos. En el terreno se encuentran descompuestas formando una capa de entre 0.50 – 3.00 m de suelo residual debido a la susceptibilidad de estas rocas al intemperismo. Los suelos que se derivan de ellas tienen colores semejantes.

Margas

Yacen concordantes a la roca volcánica, estando conformada por lutitas calcáreas en la parte inferior, pasando a margas interestratificadas con horizontes de calizas delgadas. Tienen colores grises amarillentos y son suaves al tacto.

Calizas

Dispuesta en bancos gruesos, llegando a alcanzar espesores de más de un metro. Son de color gris a gris claro, y se encuentran intercalados con delgadas capas de margas, en la parte inferior de la estratificación.

3.5.2.2. Investigaciones Geotécnicas

Se realizó un ensayo de Cono de Arena para determinar la densidad natural de una muestra de suelo.

Para el análisis de macizos rocosos se efectuó la Clasificación Geomecánica RMR – SMR y consecuentemente se estimó parámetros como el GSI, Resistencia a la Compresión Uniaxial, etc. Además, se realizará un estudio en campo de las discontinuidades en el talud.

3.5.2.2.1. Calicata

Se realizaron 2 excavaciones manuales en la parte central del talud con el objetivo de ver el perfil del suelo en dicha zona y obtener muestras para ensayos de laboratorio. Estas muestras fueron colectadas de la zona donde ocurrió el deslizamiento.

En la Tabla 3.1 se muestra los datos obtenidos de la calicata. Ver Anexo B. Investigaciones Geotécnicas.

Cuadro 3.1. Características de las Calicatas

CALICATA	COORDENADAS UTM		PROFUNDIDAD	OBSERVACIONES
	ESTE	NORTE	(m)	
CA-01	505717.00	8585771.00	0.50	Se encontró roca a los 0.50 m
CA-02	505696.00	8585809.00	0.30	Se encontró roca a los 0.30 m

3.5.2.2.2. Ensayo de Cono de Arena

En las calicatas CA-01 y CA-02 se realizaron ensayos de densidad de campo según la Norma ASTM D1556, con el método del cono de arena, para obtener valores de densidad natural y contenido de humedad. Con estos datos se puede calcular el peso unitario seco a utilizar en el modelo de estabilidad del talud.

Mientras más compacto sea un suelo será más denso, por lo que la relación entre los espacios vacíos de las partículas será menor, y así ofrecerá una mayor resistencia a la deformación.

Cuadro 3.2. Resumen de Ensayos de Densidad por el método de Cono de Arena

CALICATA	CA-02	CA-01
Muestra	-	M-01
Fecha	26/11/2018	26/11/2018
Profundidad (m)	0.15	0.30
Determinación de la densidad húmeda del suelo		
Densidad Arena Normalizada de ensayo (g/cm^3)	1.37	1.37
Masa de Suelo Húmedo + Bolsa (g)	4613	3494
Masa de Suelo Húmedo (g)	4606	3487
Masa inicial de Arena (g)	5758	5708
Masa de arena remanente (g)	1910	1265
Masa de Arena en Cono Basal (g)	1620	1620
Volumen del hueco de ensayo (cm^3)	2808.54	2060.87
Densidad Húmeda (g/cm^3)	1.64	1.692
Determinación de la densidad seca del suelo		
Contenido de Humedad Natural (%)	-	12.5
Densidad Seca (g/cm^3)	-	1.504



Figura 3.1. Cono de Arena

Cuadro 3.3. Método de Cono de Arena

DENSIDAD DE CAMPO POR EL MÉTODO DEL CONO DE ARENA	
	
CA-01 Masa inicial de Arena	CA-02 Masa de arena remanente
	
CA-01 Masa de Suelo Húmedo + Bolsa	CA-02 Masa de Suelo Húmedo + Bolsa

3.5.2.2.3. Análisis Geomecánico

Estudio del comportamiento de la roca, su aplicación nos permite conocer el macizo rocoso y el grado de fracturamiento que posee, obteniéndose visualmente el índice de resistencia geológica (GSI).

Para determinar la calidad del macizo rocoso del talud se realizaron observaciones en campo de las condiciones de las fracturas mediante las clasificaciones geomecánicas RMR – SMR (Bieniawski, 1989, y Romana, 1995).

Para la obtención de esta clasificación se requieren principalmente de seis parámetros:

1. Resistencia a la Compresión Uniaxial del Material Rcoso (σ_c).
2. Designación de la Calidad de la Roca (RQD).
3. Espaciamiento de Discontinuidades.
4. Condición de Discontinuidades.
5. Condición de Agua Subterránea.
6. Orientación de Discontinuidades.

Durante la etapa de reconocimiento de campo de los taludes se han evaluado los macizos rocosos mediante los referidos parámetros, en cuanto al tipo de roca y su riesgo a inestabilidad.

En el talud se identificaron tres (03) unidades geotécnicas conformadas por roca: Unidad de Calizas, Unidad de Margas y Unidad de Roca Volcánica.

Análisis Geomecánico De La Unidad De Calizas

Macizo rocoso con una resistencia de la roca intacta de R-5 (100 – 250 MPa), un RQD de 65%, con espaciado de las discontinuidades del orden de los 0.30 a 1.00 m.

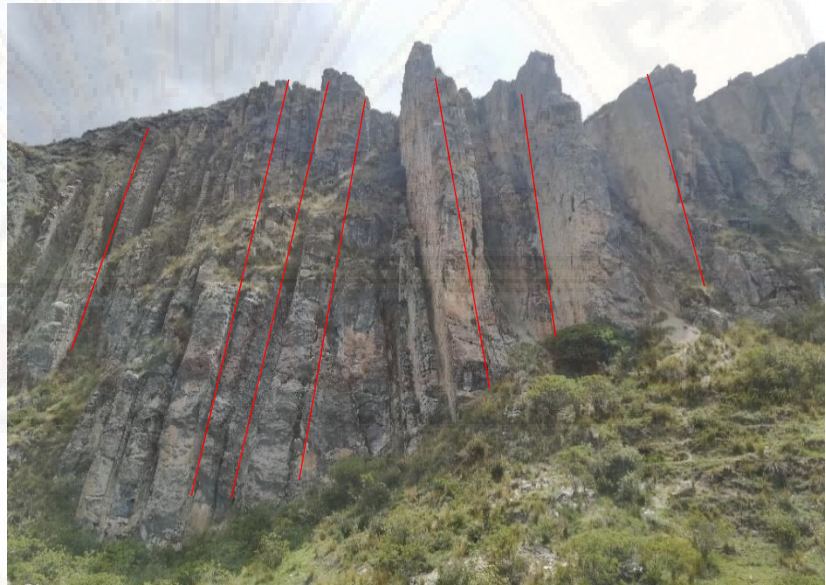


Figura 3.2. Unidad geotécnica: Calizas. Familia principal de discontinuidades.



Figura 3.3. Medición del espaciamiento de las discontinuidades.

Cuadro 3-4. Cálculo del RMR para la Unidad I: Calizas

1.- RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA (Ensayo de Carga Puntual)							200.0 Mpa
Rango de valores	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5 - 25	1 - 5	< 1
Puntaje	15	12	7	4	2	1	0
Valoración :							12

2.- VALOR DE RQD (Rock Quality Index)						65 %
Rango de valores	90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25	
Puntaje	20	17	13	8	3	
Valoración :						13

3.- ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES						0.30 m
Rango de valores	> 2	0.6 - 2	0.2 - 0.6	0.06 - 0.2	< 0.06	
Puntaje	20	15	10	8	5	
Valoración :						10

4.- CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES					
Persistencia de las discontinuidades					3 m
Rango de valores	< 1	1 - 3	3 - 10	10 - 20	> 20
Puntaje	6	4	2	1	0
Valoración :					2
Separación (apertura)					2 mm
Rango de valores	Ninguno	< 0.1	0.1 - 1.0	1 - 5	> 5
Puntaje	6	5	4	1	0
Valoración :					1
Rugosidad					R
Condición	Muy rugosa VR	Rugosa R	Ligeramente rugosa SR	Lisa L	Superficie pulida SK
Puntaje	6	5	3	1	0
Valoración :					5
Relleno					1 mm
Rango de valores	Ninguno	Duro < 5	Duro > 5	Blando < 5	Blando > 5
Puntaje	6	4	2	2	0
Marque con X el tipo de relleno : Blando : Duro : X					
Valoración :					4
Meteorización					SW
Condición	No Intemperizada UW	Ligeramente intemperizada SW	Moderadamente Intemperizada MW	Altamente Intemperizada HW	Completamente Intemperizada CW
Puntaje	6	5	3	1	0
Valoración :					5

5.- CONDICIONES GENERALES DEL AGUA SUBTERRANEA						CD
Condición	Completamente seca CD	Humeda DM	Mojada WT	Goteo DP	Flujo FW	
Puntaje	15	10	7	4	0	
Valoración :						15

6.- AJUSTE POR ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES						FV	
Orientaciones del rumbo y buzamiento		Muy Favorable VF	Favorable FV	Regular FR	Desfavorable UF	Muy desfavorable VU	
Puntaje según el tipo de trabajo	Túneles y minas (T)	0	-2	-5	-10	-12	
	Cimentaciones (F)	0	-2	-7	-15	-25	
	Taludes (S)	0	-5	-25	-50	-60	
Indique el tipo de trabajo		S	Valoración :				-5

VALOR DE RMR		
RMR Básico	:	67

De acuerdo con el valor de SMR obtenido se puede establecer en forma cualitativa el estado del talud rocoso (estable) y las medidas correctivas necesarias.

Cuadro 3-5. Cálculo del SMR para la Unidad I: Calizas

$$SMR = RMR_{89} + F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 + F_4$$

1.- DATOS DE LA DISCONTINUIDAD		
Dirección de buzamiento (aj) :	105	Buzamiento (bj) : 85

2.- DATOS DEL TALUD		
Dirección de buzamiento (as) :	15	Buzamiento (bs) : 80

3.- TIPO DE FALLA PREDOMINANTE - Planar (P) - Volteo (V)	V
--	---

4.- FACTORES POR AJUSTE DE JUNTAS						
Determinación de factor de ajuste F1						
Caso		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Planar	as - aj	> 30	30 - 20	20 - 10	10 - 5	< 5
Volteo	as - aj - 180					
Valores de F1		0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
Valor de F1 :						0.15
Determinación de factor de ajuste F2						
Caso		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Planar	bj	< 20	20 - 30	30 - 35	35 - 45	> 45
Volteo	bj - bs					
Valores de F2		0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
Nota: Para el caso de falla por volteo considerar F2 = 1						Valor de F2 : 1.00
Determinación de factor de ajuste F3						
Caso		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Planar	bj - bs	> 10	10 - 0	0	0 -- (- 10)	< -10
Volteo	bj + bs					
Valores de F3		0	-6	-25	-50	-60
Valor de F3 :						-25

5.- FACTOR DE AJUSTE SEGÚN EL METODO DE EXCAVACION					
Determinación de factor de ajuste F4					NS
Método	Talud Natural NS	Pre-Corte PS	Voladura controlada SB	Voladura regular RB	Voladura deficiente DB
Valores de F4	15	10	8	0	-8
Valor de F4 :					15

VALOR DE SMR		
SMR	:	78
<i>Descripción</i>	:	<i>Buena</i>
<i>Estabilidad</i>	:	<i>Estable</i>
<i>Fallas</i>	:	<i>Algunos bloques</i>
<i>Tratamiento</i>	:	<i>Ocasional</i>

De acuerdo con la clasificación SMR, la roca es estable. Sin embargo, se verificará su estabilidad en el capítulo 3.3.2.1. Análisis Cinemático con el software Dips, a partir de los datos de las discontinuidades tomadas en campo.

Para el cálculo del factor de seguridad del talud bajo el criterio de rotura de Hoek – Brown, se utilizará como parámetro el GSI, que se puede obtener de la siguiente correlación con el RMR:

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

$$GSI = 62$$

Se verifica en el gráfico siguiente el valor del GSI:

ÍNDICE GEOLÓGICO DE RESISTENCIA GSI (geological strength index)		CONDICIÓN DEL FRENTE				
ESTRUCTURA		MUY BUENA (MB) Superficies muy rugosas sin alterar	BUENA (B) Superficies rugosas ligeramente alteradas, con patinas de oxidación	MEDIA (M) Superficies suaves moderadamente alteradas	POBRE (P) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos compactos conteniendo fragmentos rocosos	MUY POBRE (MP) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos arcillosos
	BLOQUES REGULARES (BR) Macizo rocoso sin alterar. Bloques en contacto de forma cúbica formados por tres familias de discontinuidades ortogonales, sin relleno.	80	70			
	BLOQUES IRREGULARES (BI) Macizo rocoso parcialmente alterado. Bloques en contacto de forma angular formados por cuatro o más familias de discontinuidades con rellenos con baja proporción de finos.		60	50		
	BLOQUES Y CAPAS (BC) Macizo alterado, plegado y fracturado con múltiples discontinuidades que forman bloques angulosos y con baja proporción de finos.			40	30	
	FRACTURACIÓN INTENSA (FI) Macizo rocoso muy fracturado formado por bloques angulosos y redondeados, con alto contenido de finos.				20	10

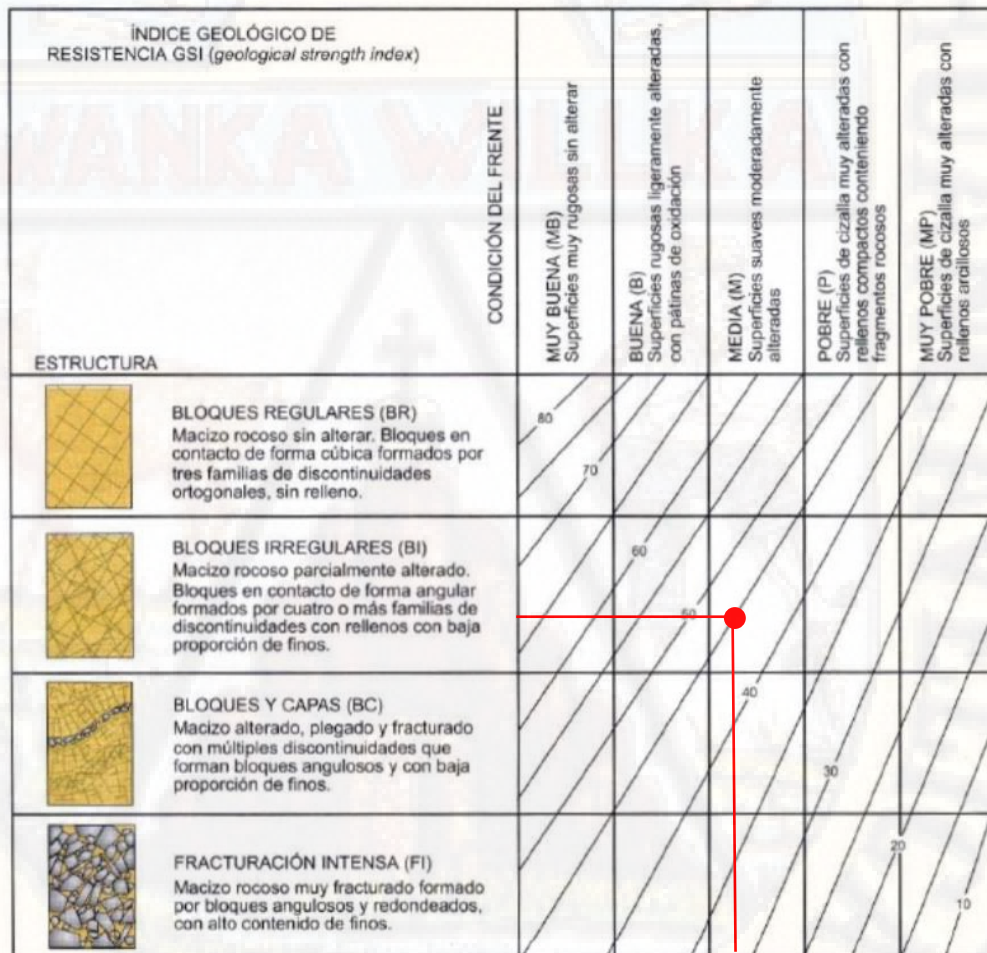
A continuación, se obtiene el valor de la constante de la roca intacta (m_i), necesario para el modelo de estabilidad del talud bajo el criterio de rotura de Hoek – Brown.

Tipo de Roca	Clase	Grupo	Textura			
			Gruesa	Media	Fina	Muy Fina
SEDIMENTARIAS	Clásticas		Conglomerado (22)	Arenisca 19	Limolita 9	Arcillolita 4
			←----- Grauwaca -----→ (18)			
			←----- Creta -----→ 7			
			←----- Carbón -----→ (8 – 21)			
	No Clásticas	Orgánicas				
		Carbonatos	Brechas (20)	Caliza Esparítica (10)	Caliza Micrítica 8	
Químicas			Yeso 16	Anhidrita 13		

Análisis Geomecánico de la Unidad de Margas

Este macizo rocoso presenta una menor resistencia, con un valor de R-4 (50 – 100 MPa). Debido a la dificultad de calcular el RMR (roca con mayor grado de fracturamiento y múltiples discontinuidades), se decidió utilizar el índice GSI.

$$GSI = 45$$



A continuación, se obtiene el valor de la constante de la roca intacta (m_i), necesario para el modelo de estabilidad del talud bajo el criterio de rotura de Hoek – Brown.

Tipo de Roca	Clase	Grupo	Textura			
			Gruesa	Media	Fina	Muy Fina
SEDIMENTARIAS	Clásticas		Conglomerado (22)	Arenisca 19	Limolita 9	Arcillolita 4
			←----- Grauwaca (18) -----→			
	No Clásticas	Orgánicas	←----- Creta 7 -----→			
			←----- Carbón (8 – 21) -----→			
		Carbonatos	Brechas (20)	Caliza Esparítica (10)	Caliza Micrítica 8	
	Químicas		Yeso 16	Anhidrita 13		
METAMORFICAS	No Foliadas		Mármol 9	Rocas Córneas (19)	Cuarcita 24	
	Levemente Foliadas		Migmatita (30)	Anfibolita 25 - 31	Milonitas (6)	
	Foliadas		Gneiss 33	Esquistos 4 – 8	Filitas (10)	Pizarras 9
IGNEAS	Intrusivas	Claras	Granito 33		Riolita (16)	Obsidiana (19)
			Granodiorita (30)		Dacita (17)	
		Oscuras	Diorita (28)		Andesita 19	
			Gabbro 27	Dolerita (19)	Basalto (17)	
		Norita 22				
	Extrusivas Piroclásticas		Aglomerados (20)	Brechas (18)	Tobas (15)	

Análisis Geomecánico de la Unidad de Roca Volcánica

Este macizo rocoso presenta una baja resistencia, con un valor de R-4 (50 – 100 MPa) al encontrarse fuertemente alterado y fracturado. Debido a la dificultad de calcular el RMR (roca con mayor grado de fracturamiento y múltiples discontinuidades), se procedió a calcular visualmente en campo el índice GSI, como en la unidad anterior.

$$GSI = 27$$

Se verifica en el gráfico el valor del GSI.

ÍNDICE GEOLÓGICO DE RESISTENCIA GSI (geological strength index)		CONDICIÓN DEL FRENTE				
ESTRUCTURA		MUY BUENA (MB) Superficies muy rugosas sin alterar	BUENA (B) Superficies rugosas ligeramente alteradas, con patinas de oxidación	MEDIA (M) Superficies suaves moderadamente alteradas	POBRE (P) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos compactos conteniendo fragmentos rocosos	MUY POBRE (MP) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos arcillosos
	BLOQUES REGULARES (BR) Macizo rocoso sin alterar. Bloques en contacto de forma cúbica formados por tres familias de discontinuidades ortogonales, sin relleno.	80	70			
	BLOQUES IRREGULARES (BI) Macizo rocoso parcialmente alterado. Bloques en contacto de forma angular formados por cuatro o más familias de discontinuidades con rellenos con baja proporción de finos.		60	50		
	BLOQUES Y CAPAS (BC) Macizo alterado, plegado y fracturado con múltiples discontinuidades que forman bloques angulosos y con baja proporción de finos.			40	30	
	FRACTURACIÓN INTENSA (FI) Macizo rocoso muy fracturado formado por bloques angulosos y redondeados, con alto contenido de finos.				20	10

A continuación, se obtiene el valor de la constante de la roca intacta (m_i), necesario para el modelo de estabilidad del talud bajo el criterio de rotura de Hoek – Brown.

IGNEAS	Intrusivas	Claras	Granito 33		Riolita (16)	Obsidiana (19)
			Granodiorita (30)		Dacita (17)	
		Oscuras	Diorita (28)		Andesita 19	
			Gabbro 27	Dolerita (19)	Basalto (17)	
			Norita 22			
	Extrusivas Piroclásticas		Aglomerados (20)	Brechas (18)	Tobas (15)	

3.6. Técnica y procesamiento de análisis de datos.

3.6.1. Trabajo de Gabinete

Se ejecutará el trabajo de gabinete, procesando la información obtenida en campo a partir de ensayos in situ y de los resultados de los exámenes realizados en el laboratorio.

Para la obtención de los parámetros geotécnicos con los que se modelará el talud se utilizará el criterio de rotura de Mohr – Coulomb para el caso de suelos y el criterio de Hoek & Brown generalizado para rocas.

3.6.1.1. Análisis Cinemático

El análisis cinemático se ejecutó teniendo las orientaciones de las discontinuidades (juntas) del macizo rocoso de la unidad geotécnica Caliza. Este análisis se realizó aplicando el software Dips 6.0, en el que se observa la presencia de tres (03) sets o familias de discontinuidades.

Tabla X-X Orientación e inclinación de las discontinuidades.

ID	Dip	Dip Direction	Set
1	84	100	1
2	85	105	1
3	84	105	1
4	86	102	1
5	84	108	1
6	85	100	1
7	88	105	1
8	85	100	1
9	86	105	1
10	85	100	1
11	85	103	1
12	87	108	1
13	78	185	2
14	85	190	2
15	85	195	2
16	80	190	2
17	85	195	2
18	80	190	2
19	80	195	2

ID	Dip	Dip Direction	Set
20	75	185	2
21	80	185	2
22	83	190	2
23	80	190	2
24	75	192	2
25	8	275	3
26	27	270	3
27	15	285	3
28	18	280	3
29	20	275	3
30	10	270	3
31	13	283	3
32	17	280	3
33	15	278	3
34	13	285	3
35	15	283	3
36	10	280	3
37	15	285	3

Se observa en los estereogramas, los resultados de los análisis cinemáticos por tipo de rotura: planar, cuña y por vuelco; de acuerdo con las direcciones de buzamiento (Dip direction) y buzamientos o inclinaciones (dip) para las tres familias de discontinuidades.

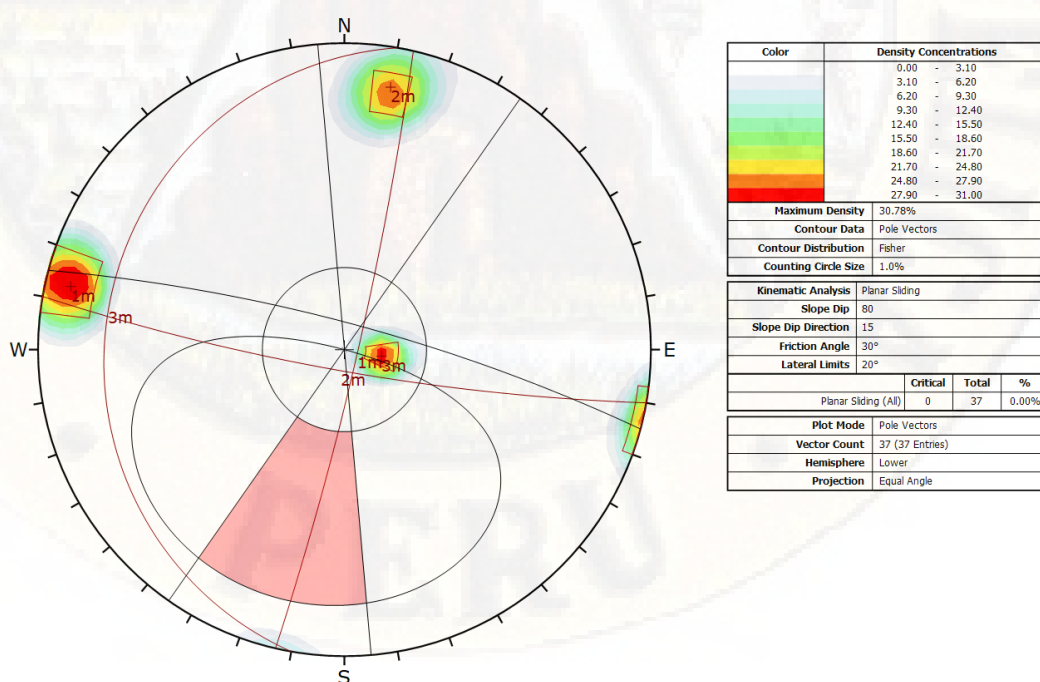


Figura 3-1. Análisis Cinemático por Rotura planar

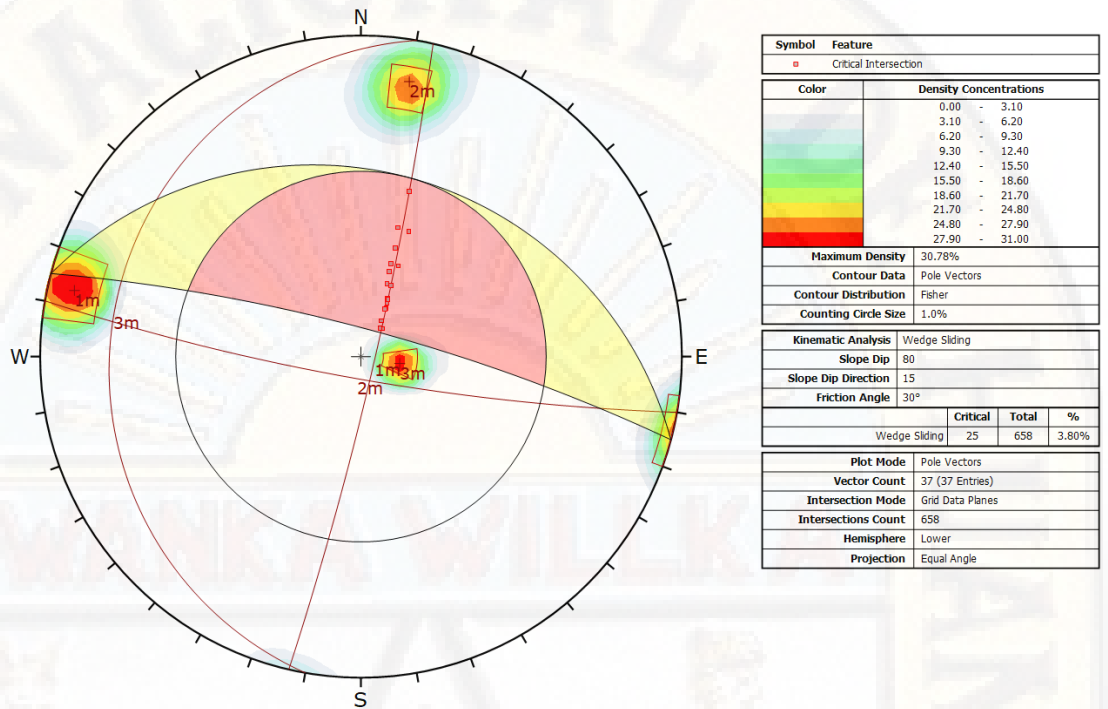


Figura 3-2. Análisis Cinemático por Rotura en Cuña

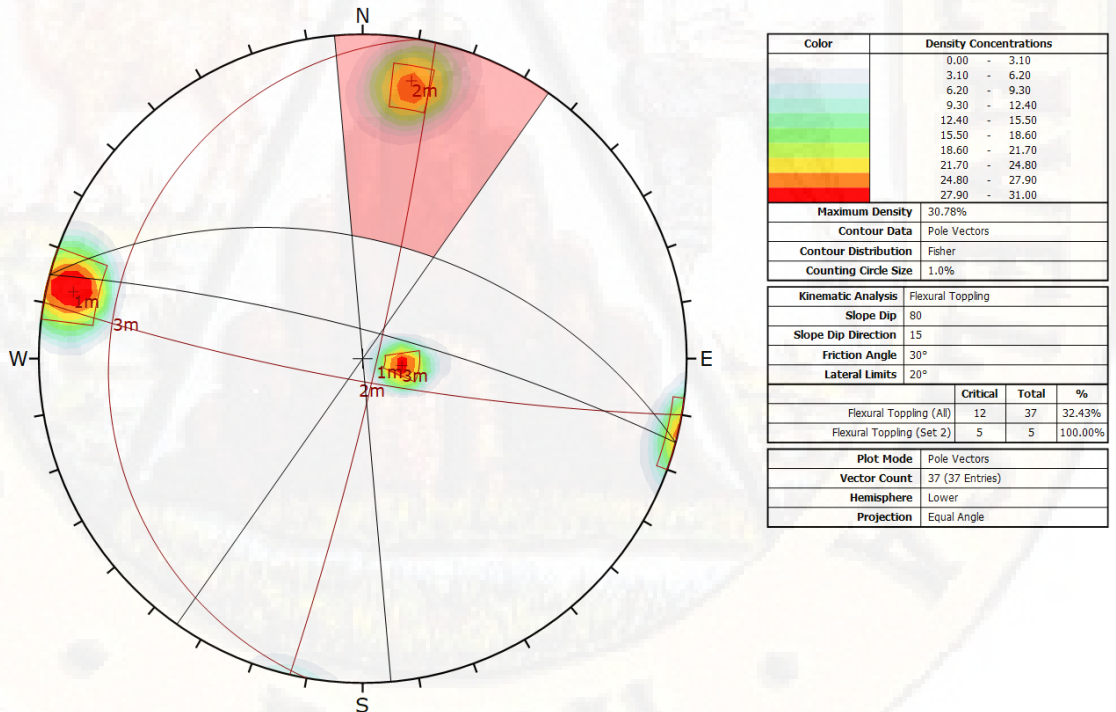


Figura 3-3. Análisis Cinemático por Rotura por Vuelco (Toppling)

Se debe tener en cuenta que en la clasificación geomecánica SMR el macizo rocoso arrojó un valor de 78, que es estable. Sin embargo,

ocasionalmente puede ocurrir caída de algunos bloques sin representar por ello un riesgo mayor en la vía.

3.6.1.2. Ensayos de Laboratorio

A partir de las muestras representativas tomadas en campo se realizaron ensayos de laboratorio para determinar el tipo de suelo (Clasificación SUCS, límites de Atterberg) y para determinar parámetros de resistencia (Corte Directo).

Cuadro 3.6. Norma de Ensayos Realizados

ENSAYO REALIZADO	NORMA
Análisis Granulométrico por Tamizado	ASTM-D-422
Límite Líquido	ASTM-D-4318
Límite Plástico	ASTM-D-4318
Contenido de Humedad	ASTM-D-2216
Corte Directo	ASTM-D-3080

Cuadro 3.7. Resumen de Resultados de Ensayos de Laboratorio

Calicata:	CA-01	Muestra:	CA-01-M1
Profundidad:	0.20 – 0.50 m		
Resultados de Ensayos de Laboratorio			
Análisis Granulométrico por Tamizado	% Grava	0.6	
	% Arena	29.9	
	% Finos	69.5	
Límite Líquido (%)	47.3		
Límite Plástico (%)	26.1		
Índice Plástico (%)	21.2		
Contenido de Humedad	12.5%		
Clasificación SUCS	CL		

Corte Directo	Ángulo de fricción interna (ϕ)	27.8°
	Cohesión (c) Kg/cm ²	0.15

Ver Anexo C. Ensayos de Laboratorio para mayores detalles.

3.6.1.3. Sismicidad y Coeficientes de Aceleración Sísmica

La zonificación propuesta según el mapa de zona sísmica de máximas aceleraciones observadas en el Perú en la Norma Técnica E.030 “Diseño Sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones, se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia epicentral. En la Figura X-X se muestra la división del territorio nacional en cuatro (04) zonas, con un factor que se interpreta como la aceleración máxima del terreno con una probabilidad de 10% de ser excedida en 500 años.



Figura 3.4. Mapa de Zonas Sísmicas y Aceleraciones Sísmicas

Para simular el efecto sísmico en los análisis de estabilidad se considerará el valor de aceleración sísmica de la zona 3, en la que se encuentra Huancavelica. Presentes en la zona de estudio, según el mapa de zona sísmica de máximas aceleraciones observadas en el Perú Norma Técnica E.030 “Diseño Sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Para los análisis de estabilidad de taludes se considerará un valor mínimo de Factor de Seguridad FS de 1.5 en la condición estática, sin sismo. Para la condición pseudo-estática (sísmica) se considerará un coeficiente sísmico equivalente a la mitad de la aceleración

sísmica de diseño (0.17g) en un período de exposición sísmica de 500 años. El valor del Factor de Seguridad mínimo para la condición Pseudo-estática será de $FS=1.0$.

Cuadro 3.8. Coeficiente Sísmico en análisis de estabilidad de taludes

Sismicidad de la Zona	Coeficiente Sísmico
Alta, cercanas a la costa peruana	0.17 a 0.22
Media, Zona andina	0.10 a 0.17
Baja o Nula, Zona de selva	0.00 a 0.10

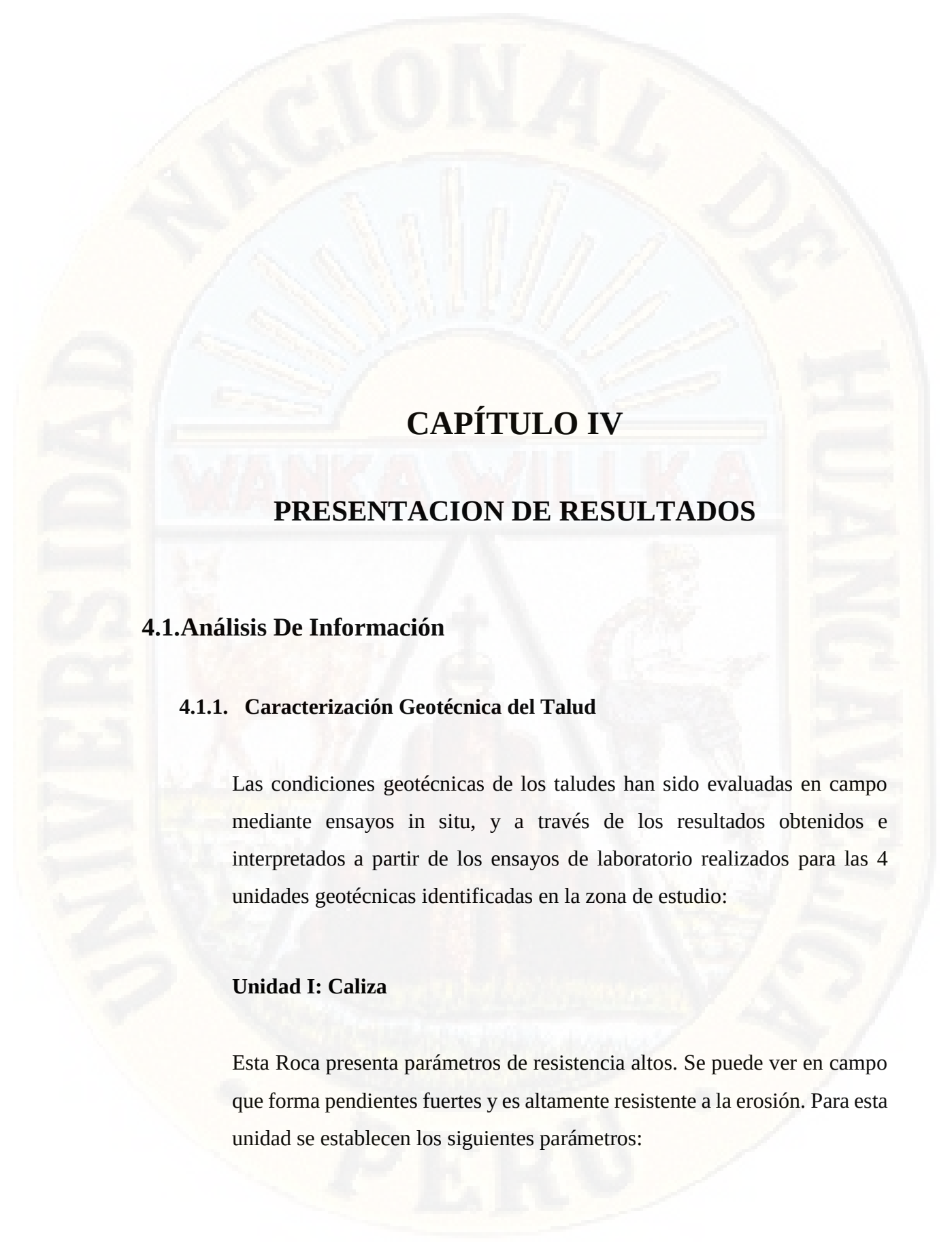
Fuente: Mapa isoaceleraciones espectrales MIGUEL A. RONCAL (2017) “Ingeniería Civil”.

El análisis estadístico se llevará a cabo a través del Software contenido:

- Revisión bibliográfica a nivel local, regional, nacional e internacional.
- Se realizó la inspección de tramo identificando las zonas vulnerables a la inestabilidad de talud en condiciones climáticas favorables y desfavorables para poder hacer una comparación entre ellos.
- Se realizó levantamiento topográfico de tramo
- Se registraron los datos obtenidos del tramo para su representación en el AUTO CAD
- Se realizaron calicatas para ensayos de suelos en puntos estratégicos.
- Se realizó el ensayo de la densidad de campo en situ.
- Los instrumentos de recolección de datos tanto para la variable Sistemas de administración del potencial humano y planeamiento estratégico, se acondicionará de acuerdo a la realidad. para la validez del contenido y confiabilidad; este

último reflejará una aceptable confiabilidad de nivel alta para su aplicación.

- h) Los resultados se obtendrán por método de equilibrio límite, utilizando programas software de estabilidad de taludes.
- i) El presupuestos optimo se obtendrán programas software S-10.



CAPÍTULO IV

PRESENTACION DE RESULTADOS

4.1. Análisis De Información

4.1.1. Caracterización Geotécnica del Talud

Las condiciones geotécnicas de los taludes han sido evaluadas en campo mediante ensayos in situ, y a través de los resultados obtenidos e interpretados a partir de los ensayos de laboratorio realizados para las 4 unidades geotécnicas identificadas en la zona de estudio:

Unidad I: Caliza

Esta Roca presenta parámetros de resistencia altos. Se puede ver en campo que forma pendientes fuertes y es altamente resistente a la erosión. Para esta unidad se establecen los siguientes parámetros:

Cuadro 4.1. Parámetros Geotécnicos de la Unidad I: Caliza

UNIDAD GEOTÉCNICA I: CALIZA	
RMR ₈₉ Básico	67
GSI	62
Resistencia a la Compresión Uniaxial (UCS)	200 MPa
Constante de la Roca Intacta (mi)	12
Peso Unitario	25 kN/m ³

Unidad II: Marga

La marga es una roca que al estar compuesta por arcilla con carbonato de calcio se presenta más suave al tacto. Presenta una menor resistencia y mayor grado de fracturamiento. Presenta una buena resistencia a la erosión. Para esta unidad se establecen los siguientes parámetros:

Cuadro 4.2. Parámetros Geotécnicos de la Unidad II: Marga

UNIDAD GEOTÉCNICA II: MARGA	
GSI	45
Resistencia a la Compresión Uniaxial (UCS)	60 MPa
Constante de la Roca Intacta (mi)	9
Peso Unitario	23 kN/m ³

Unidad III: Roca Volcánica

La roca volcánica por tener composición basáltica (se formó a altas temperaturas) es más susceptible a la meteorización, por lo que su capa más superficial se encuentra totalmente descompuesta en suelo. Presenta una

menor resistencia y mayor grado de fracturamiento. Para esta unidad se establecen los siguientes parámetros:

Cuadro 4.3. Parámetros Geotécnicos de la Unidad III: Roca Volcánica

UNIDAD GEOTÉCNICA III: ROCA VOLCÁNICA	
GSI	27
Resistencia a la Compresión Uniaxial (UCS)	35 MPa
Constante de la Roca Intacta (mi)	20
Peso Unitario	22 kN/m ³

Unidad IV: Suelo Residual

Este material de cobertura tiene un espesor variable entre los 0.30 a 2.00 m. Es el producto de la alteración de la roca volcánica que aflora en la zona, principalmente en temporadas de lluvia, transformándose a un suelo residual conformado por arcilla, que al saturarse de agua genera flujos de lodos hacia la carretera.

Para el caso del cálculo del peso unitario, se multiplicó el valor de la densidad seca de 15.00 g/m³ por la aceleración de la gravedad, con un valor de 9.81 m/s², obteniéndose un valor de 14.72 kN/m³.

Los ensayos del laboratorio de mecánica de suelos realizados indican los siguientes parámetros:

Cuadro 4.4. Parámetros Geotécnicos de la Unidad IV: Arcilla

UNIDAD GEOTÉCNICA IV: CL	
Peso Unitario (γ)	14.72 kN/m ³
Ángulo de Fricción Interna (ϕ)	27.8°
Cohesión (c)	15 kPa

4.1.2. Análisis de Datos

Para la realización de los análisis e interpretación de la estabilidad del talud se siguió una metodología de estudio sobre la base de modelos geotécnicos estáticos y pseudo-estáticos, en la cual intervienen la geología, los resultados de los ensayos de laboratorio y ensayos in situ para los diferentes materiales constituyentes de los taludes.

Cuadro 4.5. Datos obtenidos en laboratorio

Material	Peso Unitario (γ) (KN/M3)	Ángulo de Fricción Interna (ϕ)	Cohesión (c) (Kpa)	Resistencia a la Compresión Uniaxial (UCS) (Kpa)
ARCILLA LIMOSA (CL)	14.72	27.8°	15	
ROCA VOLCANICA	22			35000
MARGA	23			60000
CALIZA	25			200000

4.1.3. Análisis de Estabilidad del Talud

Se ha utilizado el programa Slide 6.0 de Rocscience, que efectúa el análisis de estabilidad de taludes por equilibrio límite, utilizando los modelos de Bishop simplificado, Morgenstern-Price y Spencer, para deslizamientos de forma circular. El programa genera una variedad de superficies de falla potencial, de las cuales selecciona aquella con el mínimo valor de factor de seguridad.

Para el caso del análisis pseudo-estático de taludes se ha considerado una aceleración horizontal de 0.17g, que es la mitad de la aceleración máxima de diseño, como se indica en el capítulo 3.6.1.3.

Como medida correctiva se propone conformar una banquetta de 2.00 a 3.00 m en la parte superior del talud, que es la que presenta un mayor espesor de suelo residual.

En el cuadro 4.6 se muestra los resultados del cálculo del factor de seguridad, para modelos estáticos y sísmicos (pseudo-estáticos) para la sección topográfica del Km 2+750, que representa el modelo geotécnico del deslizamiento que afecta el talud, en condiciones secas y en temporada de lluvias.

Cabe mencionar que los modelos realizados en temporada de lluvias no reflejan fielmente la realidad. Estos fueron diseñados con el fin de demostrar la influencia negativa del agua sobre el suelo que conforma el talud, previniendo en deslizamientos y flujos de lodo.

Cuadro 4.6. Resultados de los cálculos de Factor de Seguridad

TALUD KM 2+750	CONDICIONES NORMALES	TEMPORADA DE LLUVIAS
Método de Cálculo	Modelo Estático	
Bishop simplificado	1.383	1.032
Morgenstern- Price	1.389	1.047
Spencer	1.402	1.085
Método de Cálculo	Modelo Pseudo-Estático	
Bishop simplificado	1.100	0.811
Morgenstern- Price	1.107	0.833
Spencer	1.150	0.877

Estos modelos son representados en las Figuras 4.1 a 4.12.

Figura 4.1: Modelo Estático del Talud en condiciones normales Km 2+750.
Método de Bishop

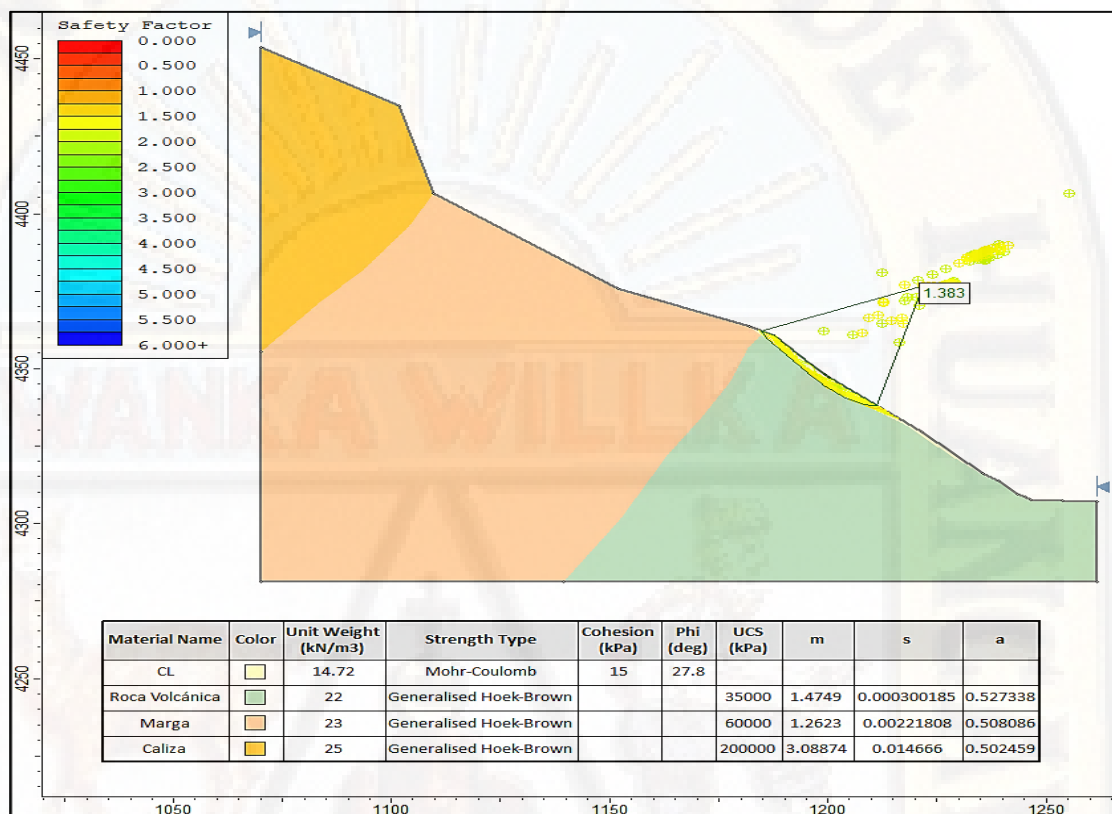


Figura 4.2: Modelo Estático del Talud en condiciones normales Km 2+750.

Método de Morgenstern - Price

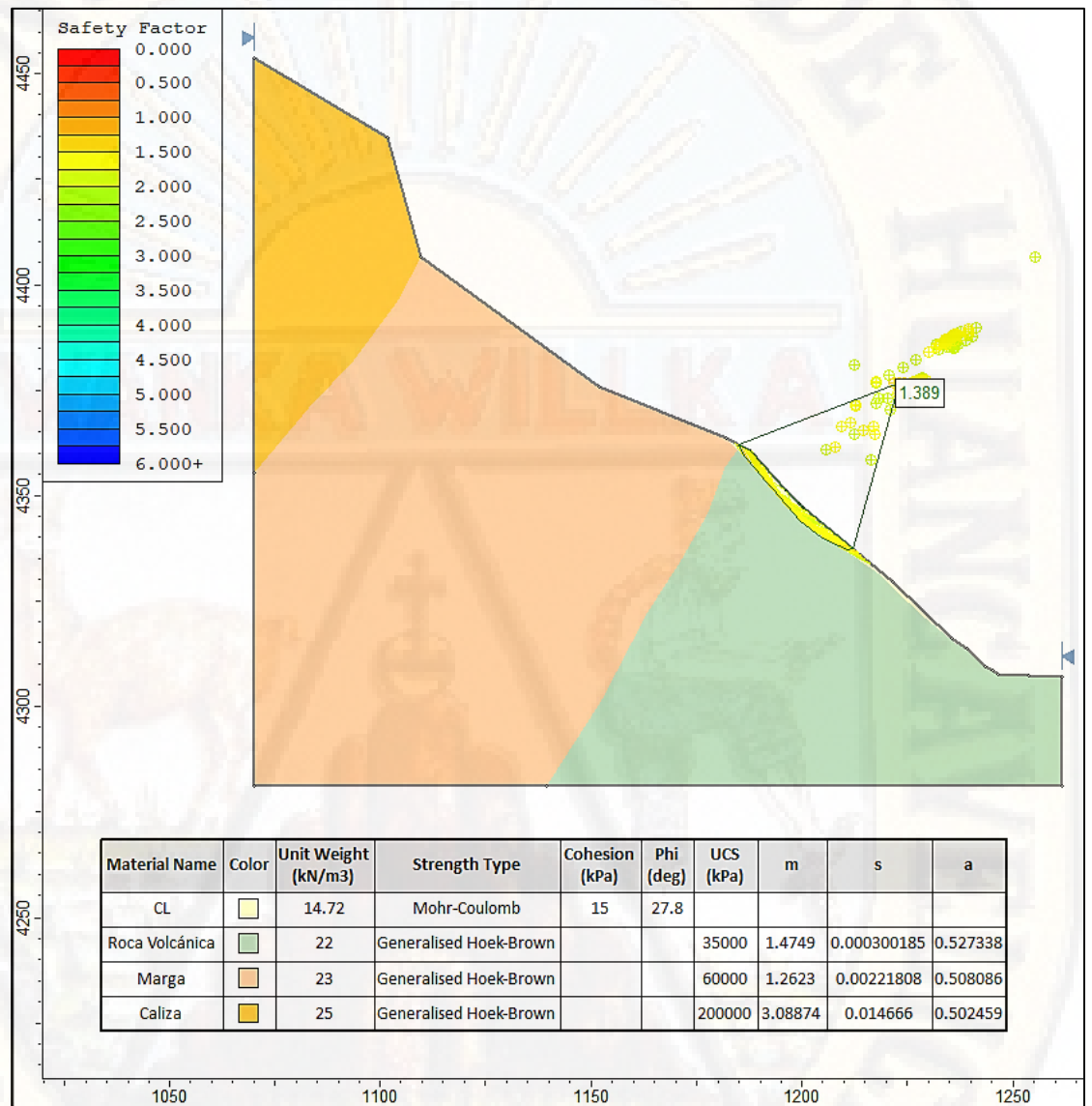


Figura 4.3: Modelo Estático del Talud en condiciones normales Km 2+750.

Método de Spencer

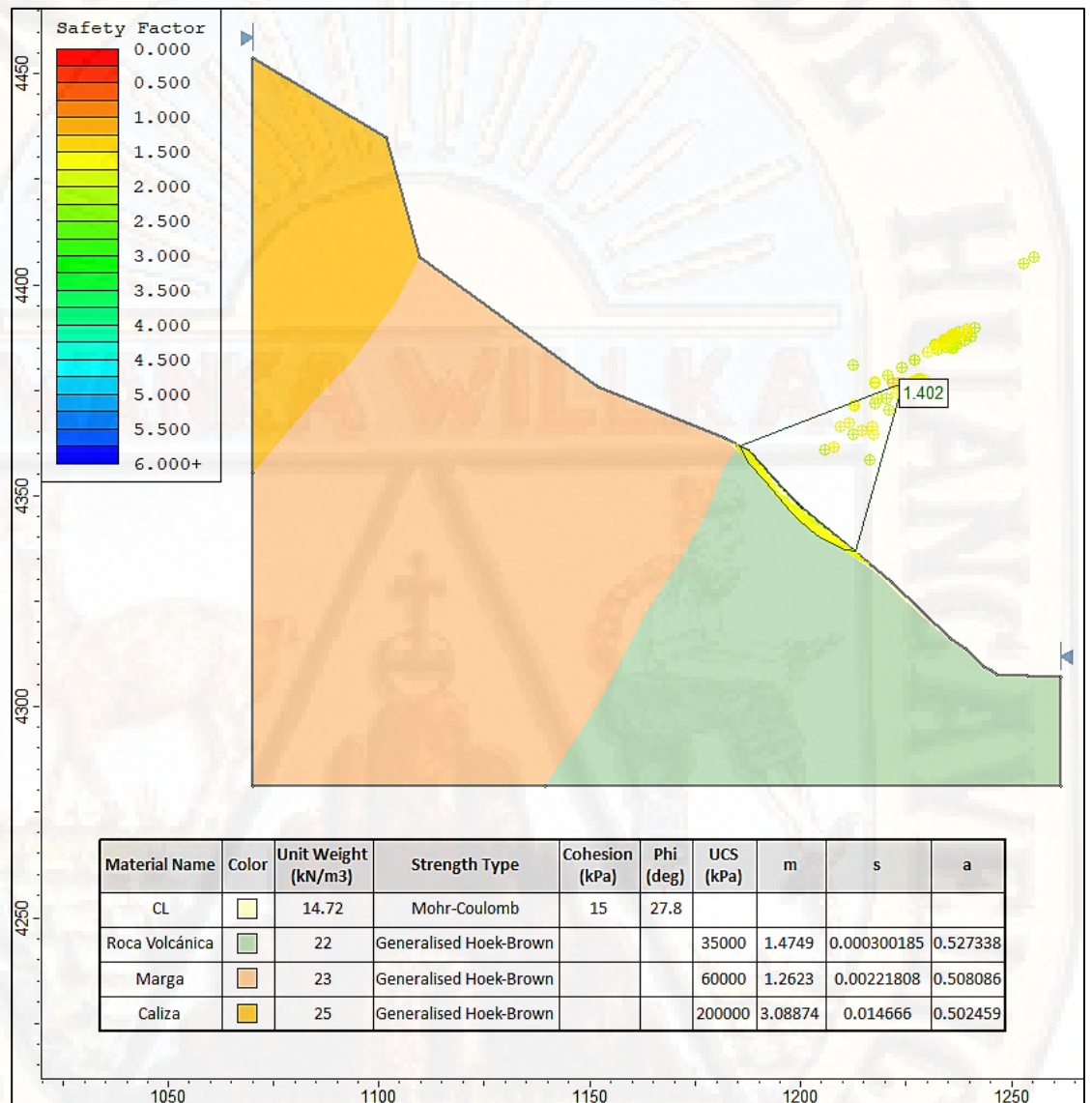


Figura 4.4: Modelo Pseudo - Estático del Talud en condiciones normales

Km 2+750. Método de Bishop simplificado

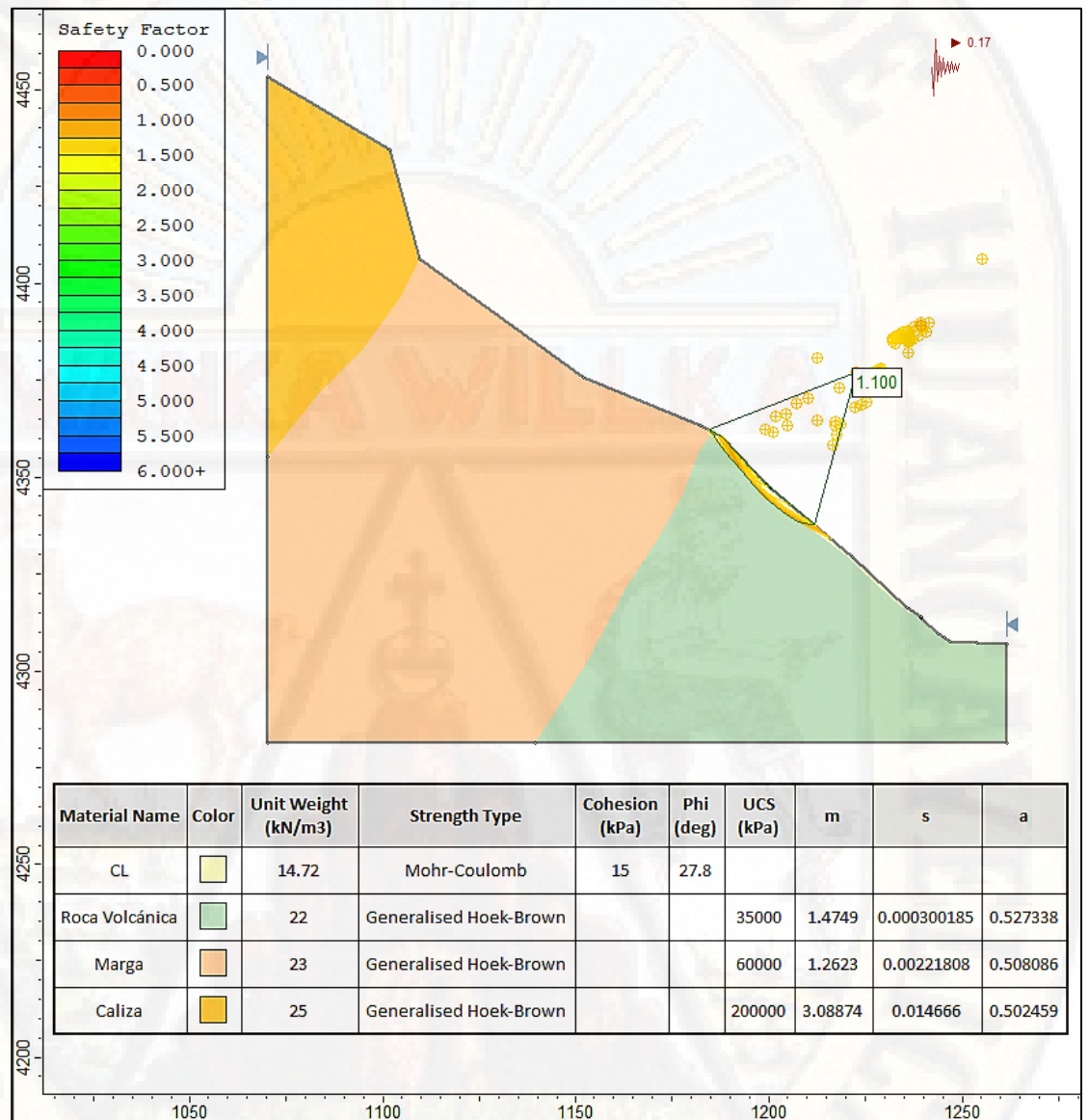


Figura 4.5: Modelo Pseudo-estático del Talud en condiciones normales Km 2+750. Método de Morgenstern - Price

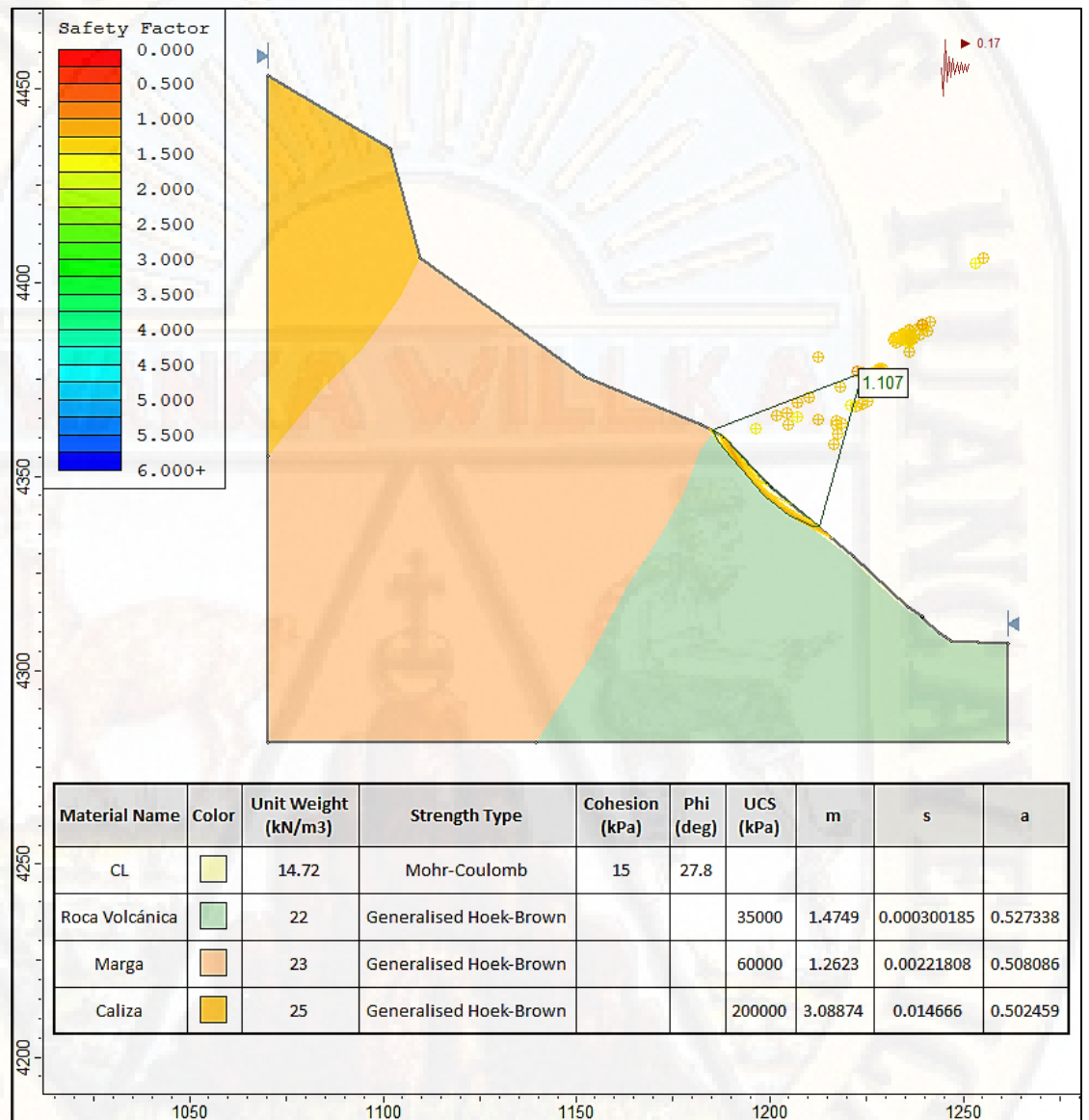


Figura 4.6: Modelo Pseudo-estático del Talud en condiciones normales Km 2+750. Método de Spencer

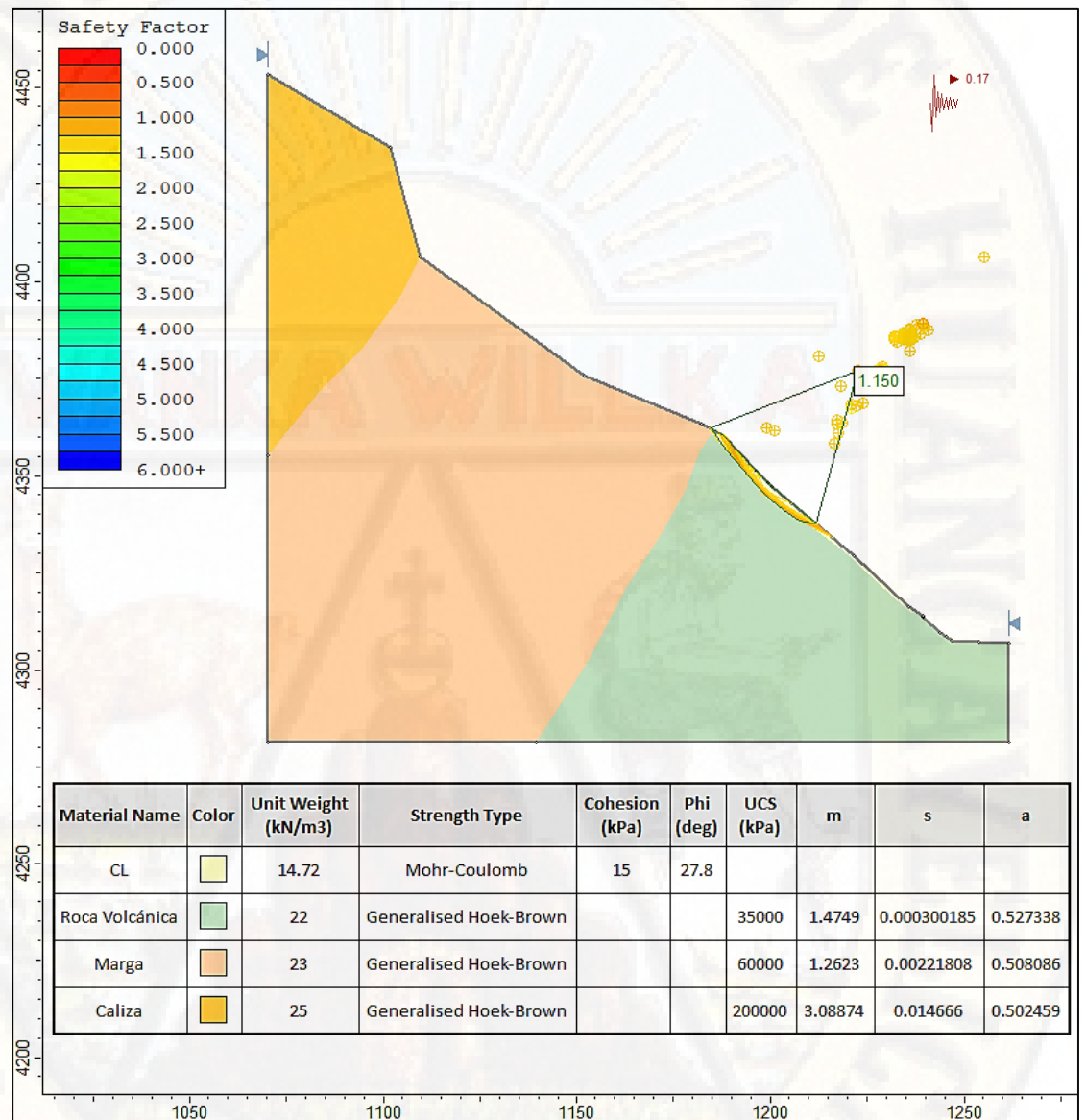


Figura 4.7: Modelo Estático del Talud en temporada de lluvias Km 2+750.

Método de Bishop

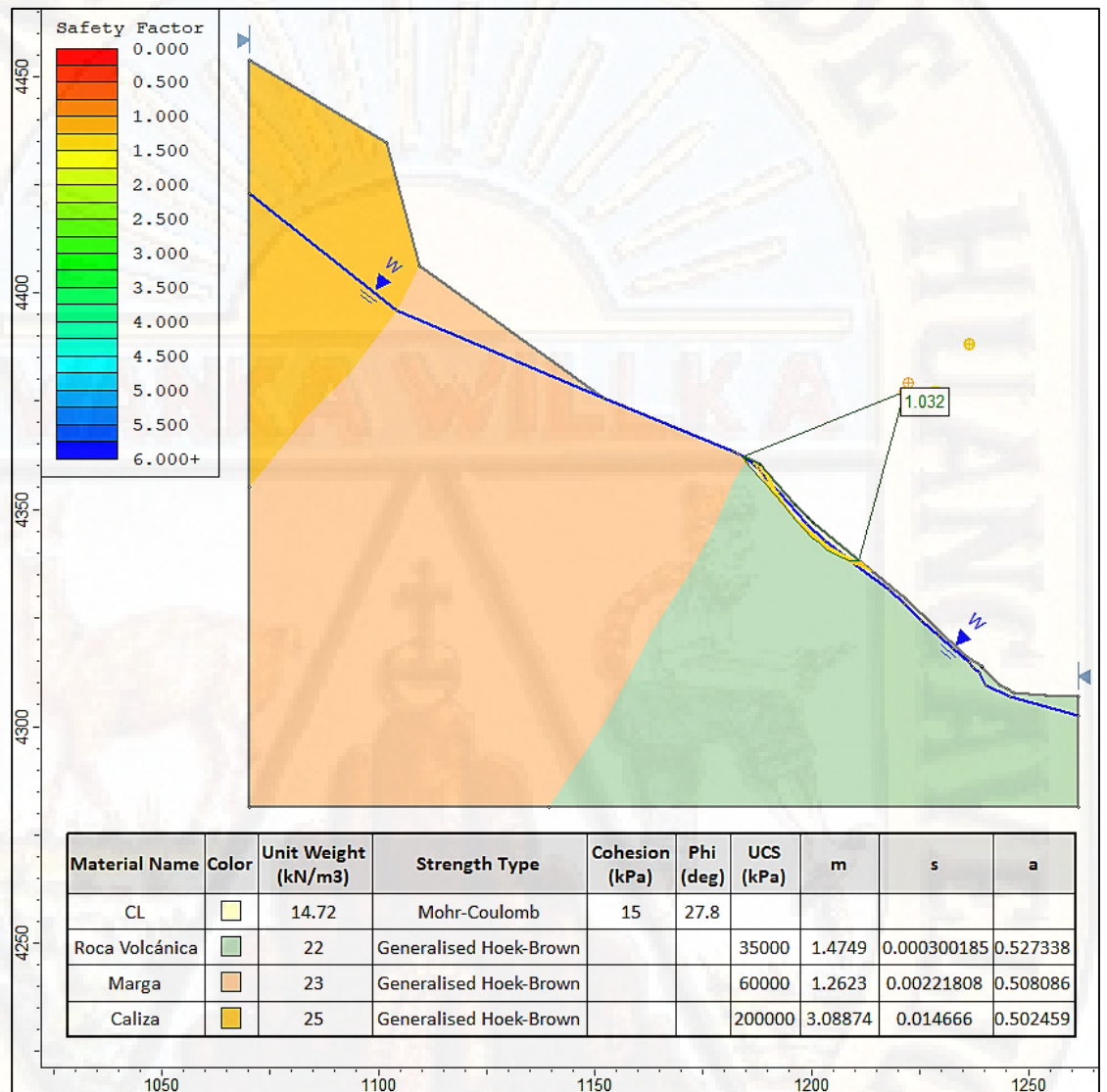


Figura 4.8: Modelo Estático del Talud en temporada de lluvias Km 2+750.

Método de Morgenstern - Price

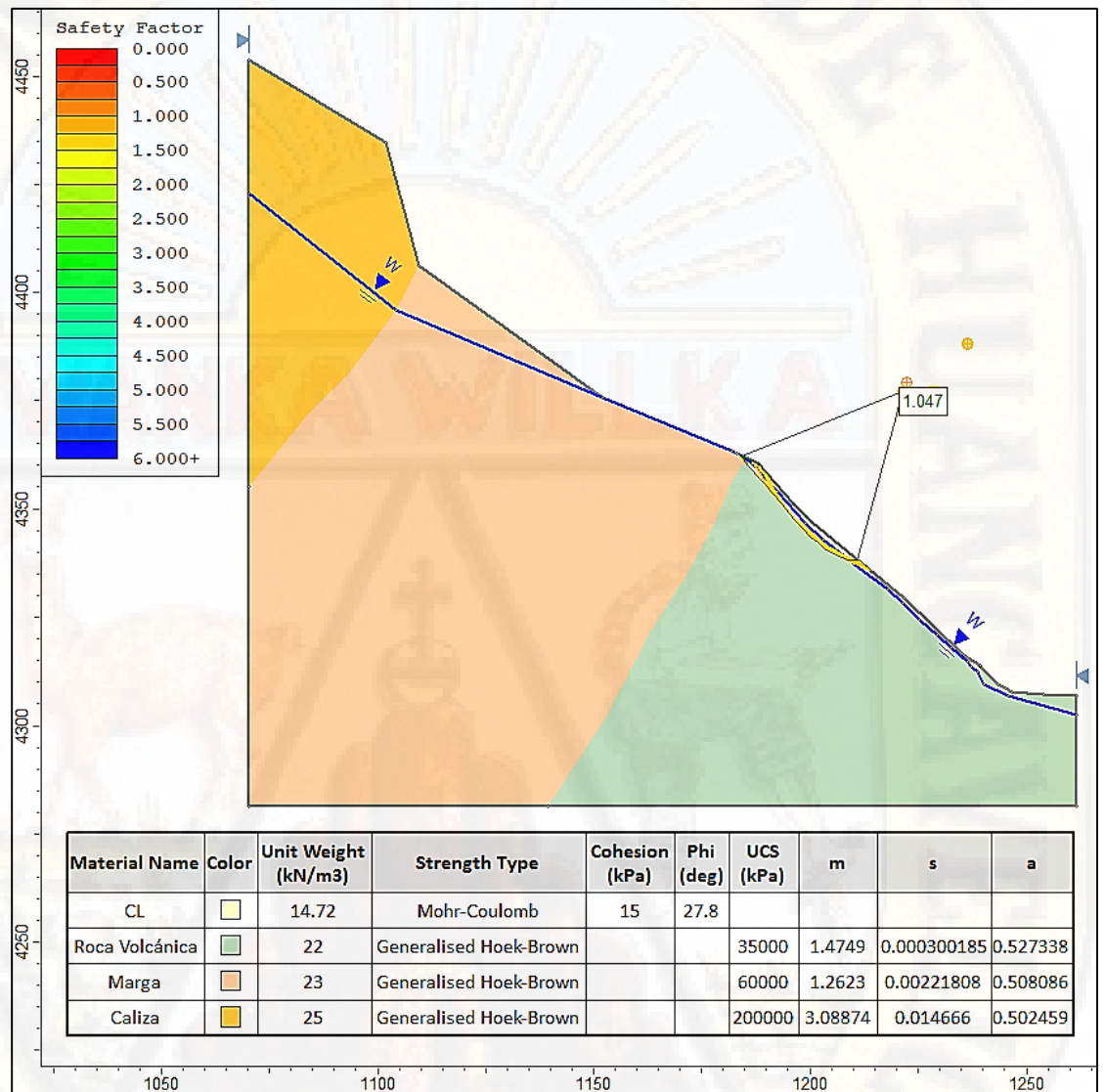


Figura 4.9: Modelo Estático del Talud en temporada de lluvias Km 2+750. Método de Spencer

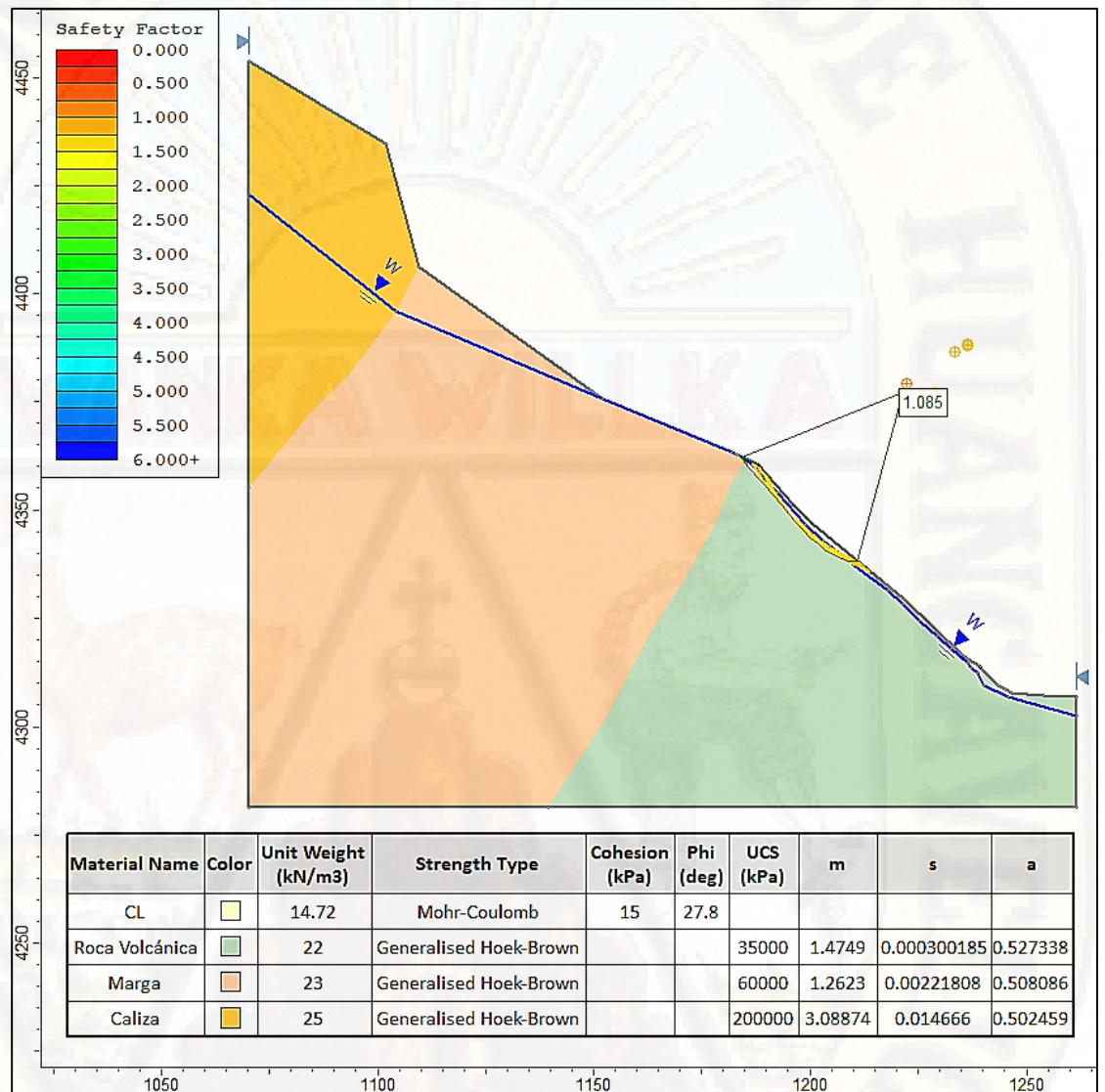


Figura 4.10: Modelo Pseudo-Estático del Talud en temporada de lluvias Km 2+750. Método de Bishop

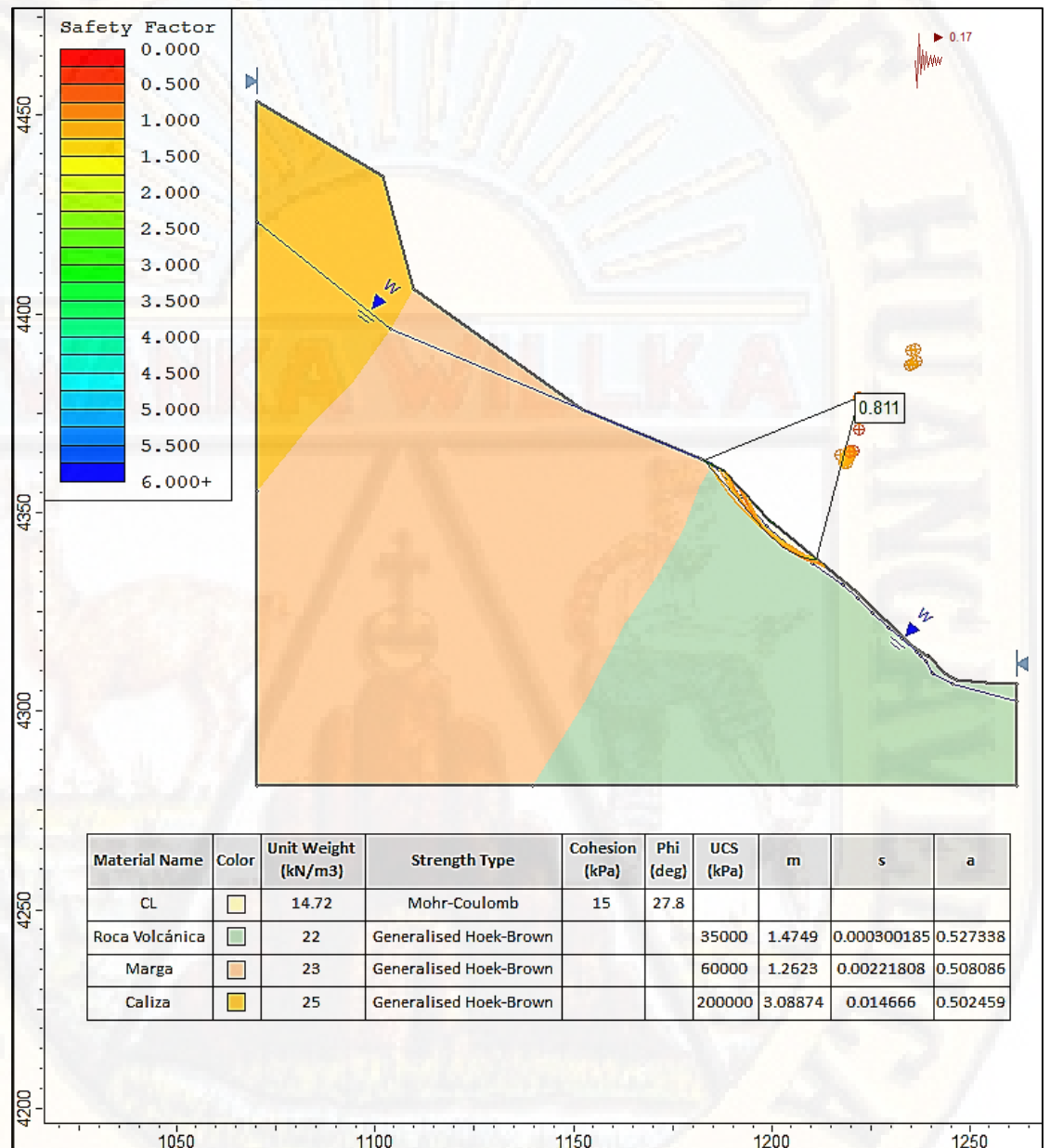


Figura 4.11: Modelo Pseudo-Estático del Talud en temporada de lluvias Km 2+750. Método de Morgenstern - Price

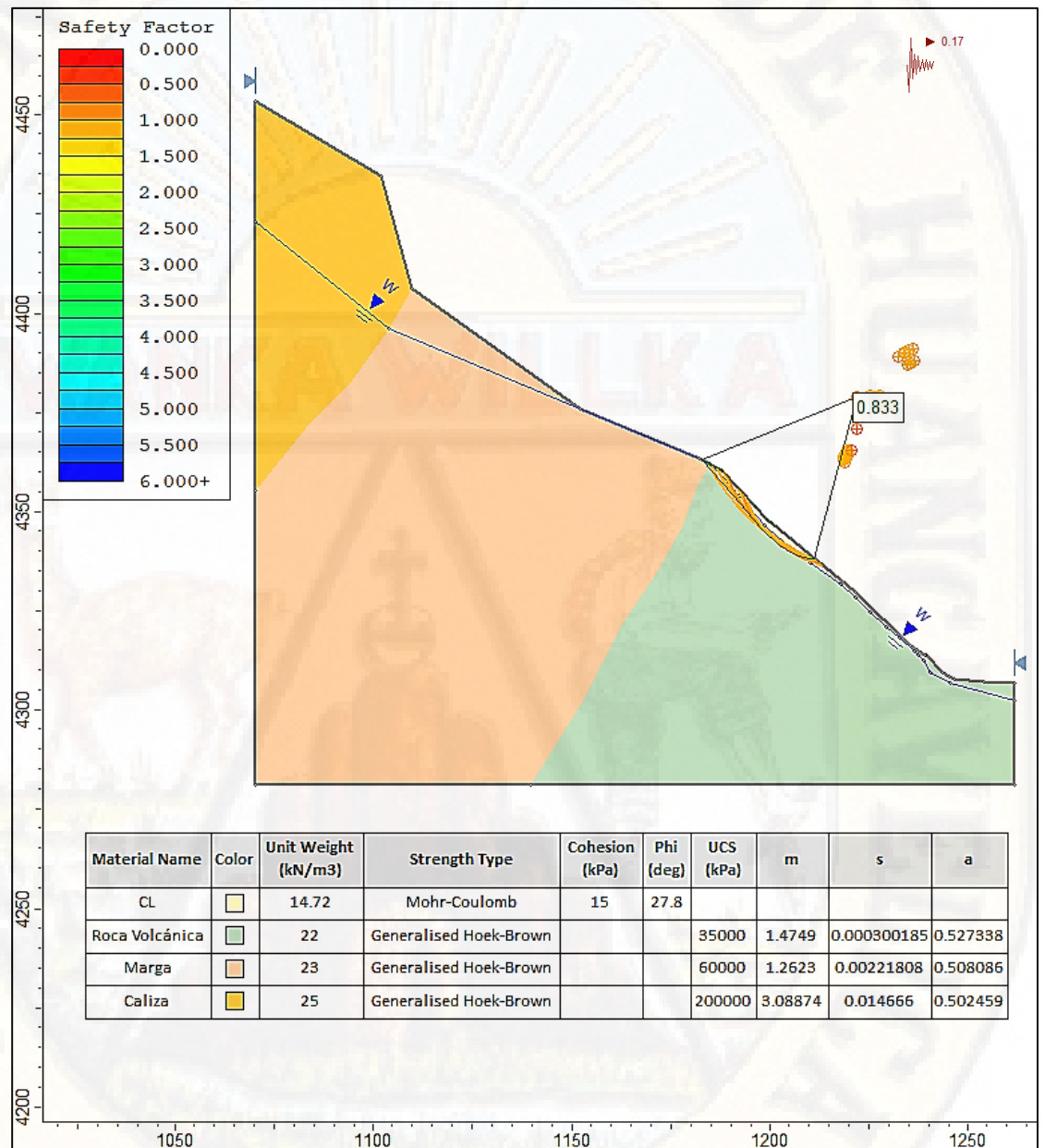
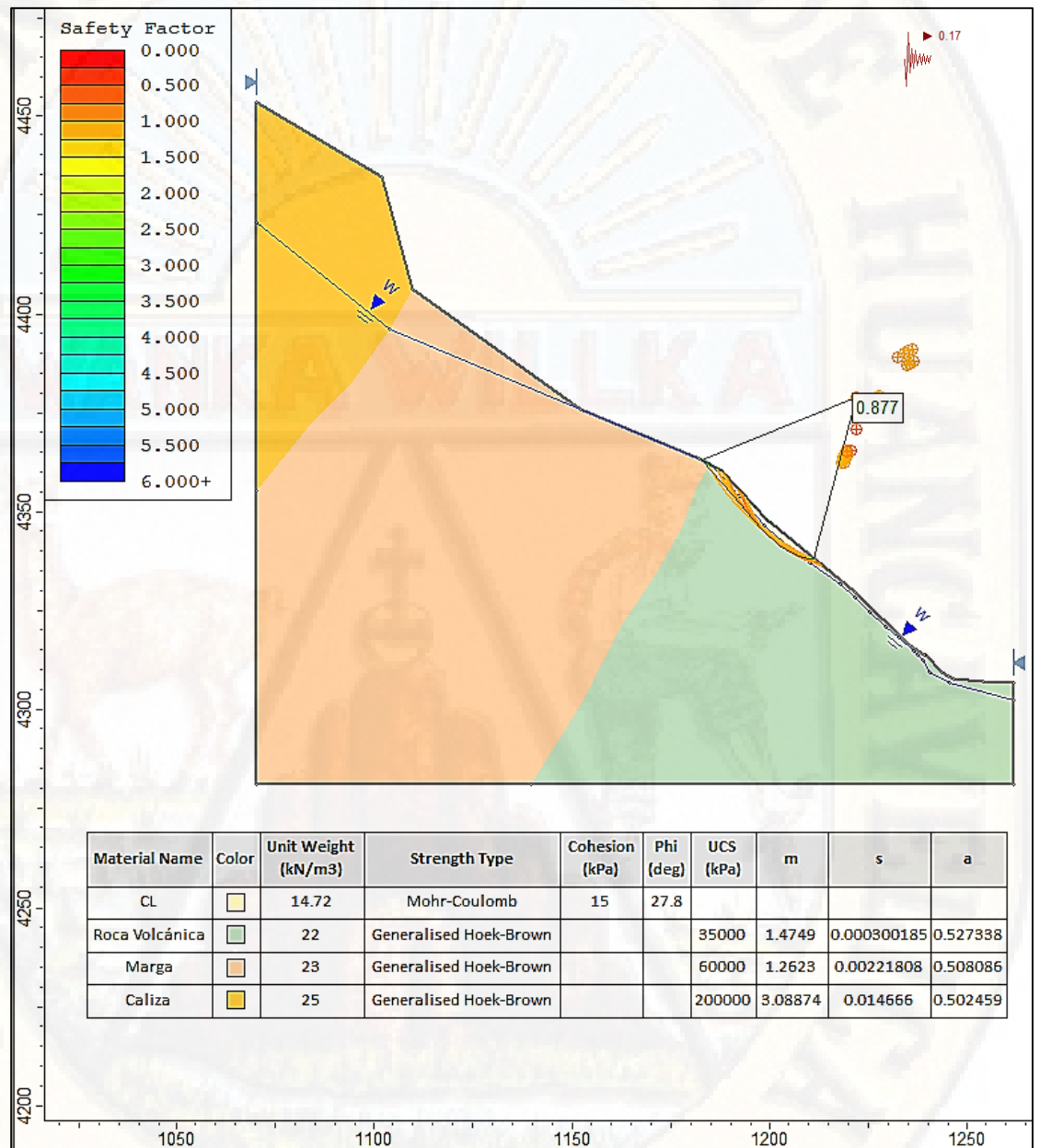


Figura 4.12: Modelo Pseudo-Estático del Talud con medidas correctivas

Km 2+750. Método de Método de Spencer



4.2. Prueba de Hipótesis.

4.2.1 Análisis estadístico.

4.2.1.1 Caracterización Geotécnica del Talud

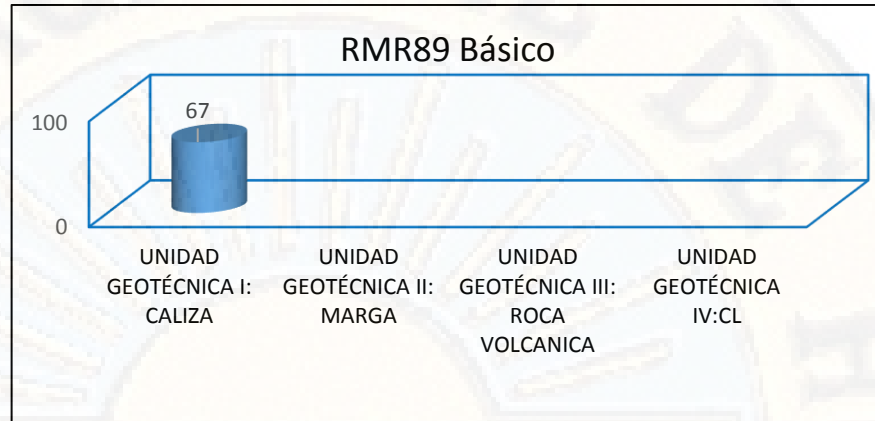
Las condiciones geotécnicas de los taludes han sido evaluadas en campo mediante ensayos in situ, y a través de los resultados obtenidos e interpretados a partir de los ensayos de laboratorio realizados para las 4 unidades geotécnicas identificadas en la zona de estudio a continuación resumimos los valores obtenidos del análisis correspondiente, en la siguiente tabla.

Cuadro 4.7: Datos de la caracterización del talud.

	UNIDAD GEOTÉCNICA I: CALIZA	UNIDAD GEOTÉCNICA II: MARGA	UNIDAD GEOTÉCNICA III: ROCA VOLCANICA	UNIDAD GEOTÉCNICA IV: CL
RMR ₈₉ Básico	67			
GSI	62	45	27	
Resistencia a la Compresión Uniaxial (UCS)	200 MPa	60 MPa	35 MPa	
Constante de la Roca Intacta (mi)	12	9	20	
Peso Unitario	25 kN/m ³	23 kN/m ³	22 kN/m ³	14.72 kN/m ³
Ángulo de Fricción Interna (ϕ)				27.8°
Cohesión (c)				15 kPa

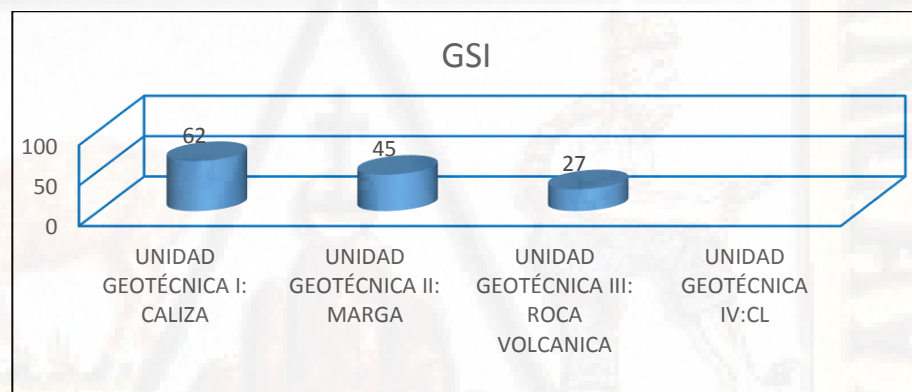
Referencia: Anexo A-2 Datos del mapeo lineal

Figura 4.13: Histograma del RMR₈₉ Básico del talud km 2+700 al km 2+800



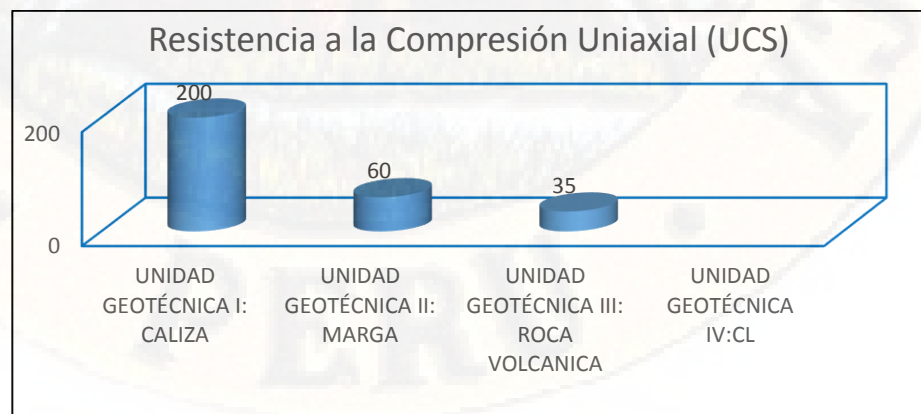
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.14: Histograma del GSI del talud km 2+700 al km 2+800



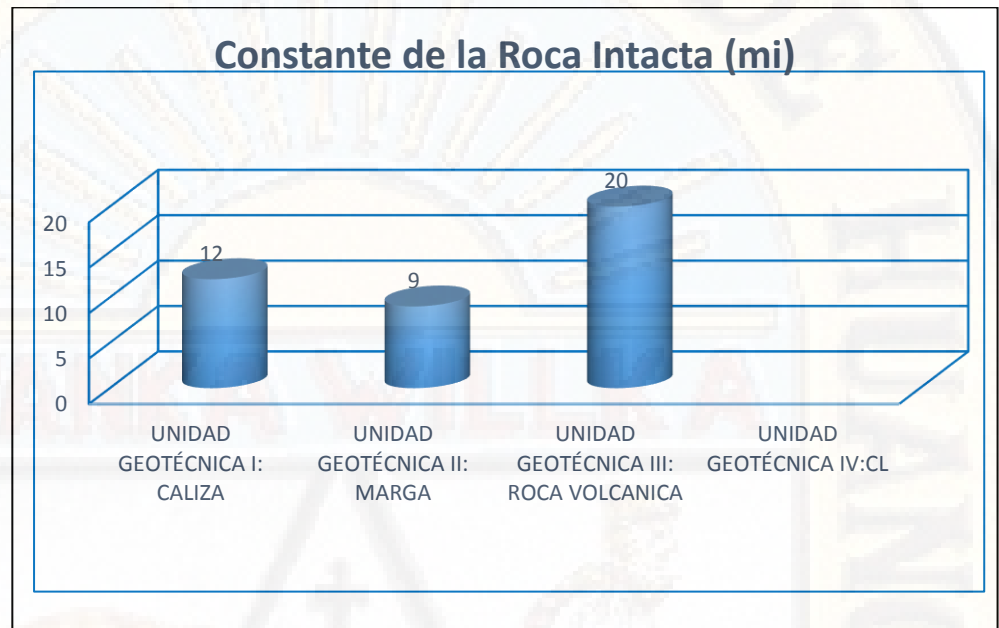
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.15: Histograma del Resistencia a la compresión Uniaxial (UCI) del talud km 2+700 al km 2+800



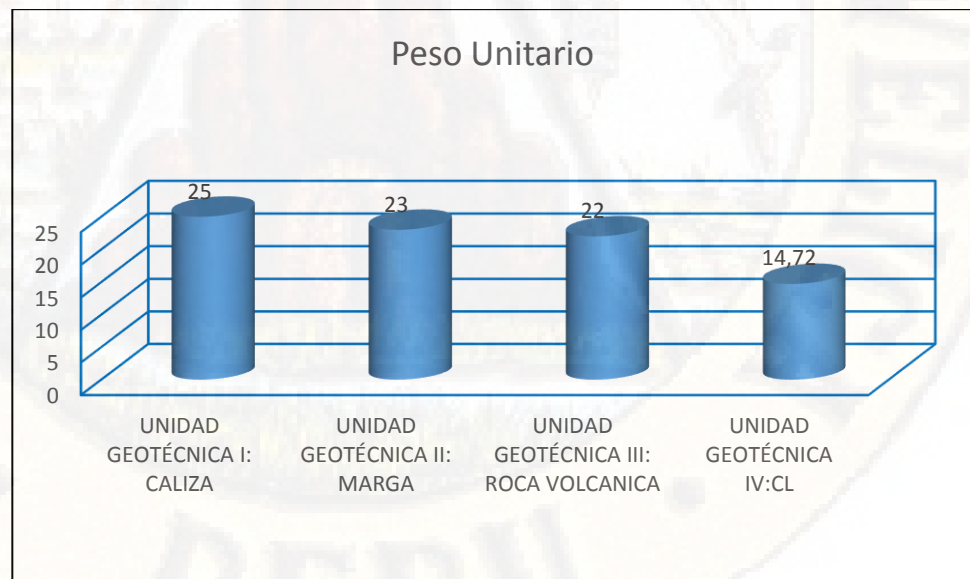
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.16: Histograma de la constante de la roca intacta (mi) del talud km 2+700 al km 2+800



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.17: Histograma del Peso unitario del talud km 2+700 al km 2+800



Fuente: Elaboración propia

4.2.1.2 Caracterización de la temporada de lluvia y temporada seco (sequia).

La información se obtuvo de la **ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE CALLQUI** los últimos 05 años tomándose los promedios de los meses de máxima precipitación pluvial como también de temporadas de sequía en la provincia de Huancavelica donde se encuentra el talud de corte entre las progresivas del Km 02+700 al Km 02+800, que en forma resumida se tiene en la siguiente tabla.

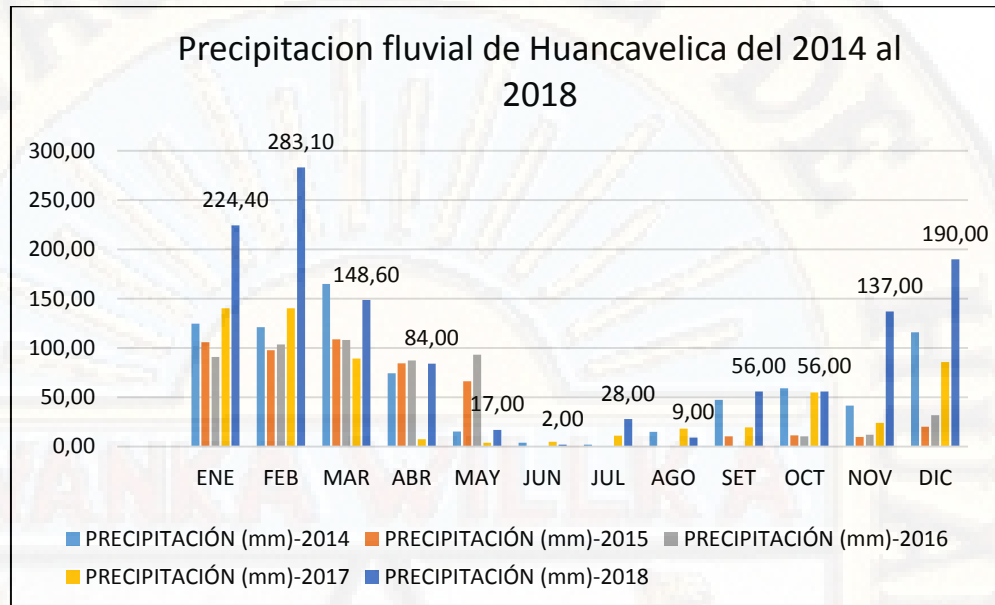
Cuadro 4.8: ESTACIÓN METEOROLÓGICA CALLQUI – HUANCAVELICA REGISTRO DE PRECIPITACIÓN PLUVIAL AÑOS 2014 AL 2018 (3,700 msnm)

MESES	PRECIPITACIÓN (mm)-2014	PRECIPITACIÓN (mm)-2015	PRECIPITACIÓN (mm)-2016	PRECIPITACIÓN (mm)-2017	PRECIPITACIÓN (mm)-2018
ENE	124,70	105,80	90,80	140,20	224,40
FEB	121,20	97,60	103,70	140,20	283,10
MAR	165,10	108,70	108,10	89,20	148,60
ABR	74,50	84,50	87,50	7,40	84,00
MAY	15,30	66,20	93,10	3,90	17,00
JUN	3,80			4,80	2,00
JUL	2,10			11,20	28,00
AGO	14,90			18,30	9,00
SET	47,40	10,30		19,40	56,00
OCT	59,20	11,50	10,30	54,90	56,00
NOV	41,50	9,70	11,90	24,00	137,00
DIC	115,87	20,30	31,70	85,70	190,00
P	65,46	42,88	48,83	54,47	112,28
S	785,57	514,60	537,10	599,20	1.235,10

P= Promedio Anual

S= Total Anual

Figura 4.19: Precipitación Pluvial de estación meteorológica CALLQUI – HUANCVELICA del año 2014 al año 2018.



Fuente: Elaboración propia

4.2.1.3 Caracterización de estabilidad del talud.

En la tabla 4-6 se muestra los resultados del factor de seguridad, para modelos estáticos y sísmicos (pseudo-estáticos) para la sección topográfica del Km 2+750, que representa el modelo geotécnico del deslizamiento que afecta el talud, en condiciones secas y en temporada de lluvias.

Cuadro 4-6. Resultados de los cálculos de Factor de Seguridad

TALUD KM 2+750	CONDICIONES NORMALES	TEMPORADA DE LLUVIAS
Método de Cálculo	Modelo Estático	
Bishop simplificado	1.383	1.032
Morgenstern–Price	1.389	1.047
Spencer	1.402	1.085
Método de Cálculo	Modelo Pseudo-Estático	

Bishop simplificado	1.100	0.811
Morgenstern-Price	1.107	0.833
Spencer	1.150	0.877

Cuadro 4.9. Estadístico – Modelo estático calculado por el método de Bishop.

MUESTRA	X	$X_n - \bar{X}$	$(X_n - \bar{X})^2$
COND - NORMAL	1.383	0.1755	0.03080025
TEMP – LLUVIA	1.032	-0.1755	0.03080025

Fuente: Elaboración Propia

Datos Estadísticos:

Numero de muestras (n) = 2

Sumatoria de los valores de las muestras $\sum X = 2.415$

Media ($\bar{u}$) = 1.2075

$\sum (X_n - \bar{X})^2 = 0.0616005$

Desviación Estándar (σ)

Cálculo de la desviación estándar, se realiza mediante la siguiente formula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{0.03080025 + 0.03080025}{2 - 1}}$$

$$\sigma = \sqrt{0.0616005}$$

Por tanto: $\sigma = 0.25$

Cuadro 4.10. Estadístico – Modelo Pseudo-estático calculado por el método de Bishop.

MUESTRA	X	$X_n - \bar{X}$	$(X_n - \bar{X})^2$
COND - NORMAL	1.100	0.1445	0.02088025
TEMP - LLUVIA	0.811	-0.1445	0.02088025

Fuente: elaboración propia.

Datos Estadísticos:

Numero de muestras (n) = 2

Sumatoria de los valores de las muestras $\sum X = 1.911$

Media ($\bar{u}$) = 0.9555

$\sum (X_n - \bar{X})^2 = 0.0417605$

Desviación Estándar (σ)

Cálculo de la desviación estándar, se realiza mediante la siguiente formula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{0.02088025 + 0.02088025}{2 - 1}}$$

$$\sigma = \sqrt{0.0417605}$$

Por tanto: $\sigma = 0.20$

4.2.2 CONTRASTACION DE HIPÓTESIS.

4.2.2.1 Contrastación de hipótesis estabilidad del talud

a) Parámetros de Interés.

Cuadro 4.11: Parámetros de Interés para la Prueba de Hipótesis.

Descripción	Grupo 1	Grupo 2
	Condiciones normales	Temporada de lluvia
	Bishop simplificado	Bishop simplificado
Numero de Muestras (n)	2	2
media (u)	1.2075	0.955
desviación estándar (σ)	0.25	0.20

Fuente: Los Tesistas.

b) Hipótesis

Hipótesis Nula

$$H_0 : u_1 \neq u_2$$

Las propiedades geotécnicas de los materiales que conforman el talud mediante métodos de equilibrio límite, influyen directamente en la estabilidad en la carretera Huancavelica – Lircay

Hipótesis Alternativa

$$H_1 : u_1 = u_2$$

Las propiedades geotécnicas de los materiales que conforman el talud mediante métodos de equilibrio límite, no influyen directamente en la estabilidad en la carretera Huancavelica – Lircay

c) Nivel de significancia

Para el proyecto de investigación se tomó un riesgo de $\alpha = 5\% = 0.05$ (o un nivel de confianza de 95%) y de acuerdo a la tabla de la distribución T-STUDEN, utilizamos $\alpha/2$, para dejar el mismo espacio correspondiente a la región de rechazo de ambas colas, y se obtiene mediante la fórmula:

$$t\left(\frac{\alpha}{2}, n-1\right) = t\left(\frac{0.05}{2}, 4-2\right) = t(0.025, 2)$$

Obteniéndose $t = +4.30$ y $t = -4.30$

d) Regla de Decisión

Por lo que se plantea:

Rechazar $H_1: u_1 = u_2$

No se rechaza $H_0: u_1 \neq u_2$

e) Cálculo estadístico de Prueba T-STUDENT con n_1+n_2-2 grados de libertad.

Mediante la siguiente fórmula se calcula el t_p :

$$t_p = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2 + \delta_2^2}{n}}}$$

Remplazando los datos:

$$t_p = 1.12$$

f) Conclusión.

Puesto que: $t_p = 1.12$ y se encuentra en la zona de aceptación, por lo tanto descartamos H_1 y aceptamos la Hipótesis Nula H_0 , ya que:

$$-4.782 < 1.12 < 4.782$$

Se concluye que las propiedades geotécnicas de los materiales que conforman el talud mediante métodos de equilibrio límite, influyen directamente en la estabilidad en la carretera Huancavelica – Lircay.

4.2.2.2 Contratación de hipótesis de temporada de lluvia y temporada de sequía

Cuadro 4.12. Registro de precipitación pluvial de picos máximos y mínimos de los años 2014 al 2018

Año	Temporada de lluvia		Temporada de sequia	
	Enero	Febrero	junio	Julio
2014	124.70	121.20	3.80	2.10
2015	105.80	97.60	0	0
2016	90.80	103.70	0	0
2017	140.20	140.20	4.80	11.20
2018	224.40	283.10	2.0	28.00
Suma	685.9	605.1	10.6	41.3
Promedio	137.18	121.02	2.12	8.26

Estadístico –TEMPORADA DE LLUVIA Y SECANO EN EL PROVINCIA DE HUANCAMELICA.

MUESTRA	X	Xn-□	(Xn-□)^2
TEMPORADA – LLUVIA	129.1	90.34	8161.3156
TEMPORADA – SEQUIA	25.95	-12.81	164.0961

Fuente: Los Tesistas.

Datos Estadísticos:

Numero de muestras (n) = 5

Sumatoria de los valores de las muestras $\sum X = 155.05$

Media (μ) = 38.76

$\sum (Xn - \mu)^2 = 8325.4117$

Desviación Estándar (σ)

Cálculo de la desviación estándar, se realiza mediante la siguiente formula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{8161.3156 + 164.0961}{5 - 1}}$$

$$\sigma = \sqrt{2081.35}$$

Por tanto: $\sigma = 45.62$

Como también se obtiene la desviación estándar.

$$\sigma(\text{con lluvia}) = \sqrt{\frac{8161.3156}{5 - 1}}$$

Por tanto: $\sigma = 45.17$

$$\sigma(\text{sin lluvia}) = \sqrt{\frac{164.0961}{5 - 1}}$$

Por tanto: $\sigma = 6.40$

a) Parámetros de Interés.

Cuadro 4.13. Parámetros de Interés para la Prueba de Hipótesis.

Descripción	Grupo 1	Grupo 2
	Temporada de sequia	Temporada de lluvia
	Junio – julio	Enero – febrero
Numero de Muestras (n)	5	5
media (u)	129.1	5.19
desviación estándar (σ)	45.17	6.40

Fuente: Los Tesistas.

b) Hipótesis

Hipótesis Nula

$$H_0: u_1 \neq u_2$$

Las precipitaciones pluviales de mes de enero y febrero, **no** influyen directamente en la estabilidad en la carretera Huancavelica – Lircay

Hipótesis Alternativa

$$H_1: u_1 = u_2$$

Las precipitaciones pluviales de mes de enero y febrero, **si** influyen directamente en la estabilidad en la carretera Huancavelica – Lircay

c) Nivel de significancia

Para el proyecto de investigación se tomó un riesgo de $\alpha = 5\% = 0.05$ (o un nivel de confianza de 95%) y de acuerdo a la tabla de la distribución T-STUDEN, utilizamos $\alpha/2$, para dejar el mismo espacio correspondiente a la región de rechazo de ambas colas, y se obtiene mediante la fórmula:

$$t\left(\frac{\alpha}{2}, n-2\right) = t\left(\frac{0.05}{2}, 5-2\right) = t(0.025, 3)$$

$$\text{Obteniéndose } t = +3.18 \text{ y } t = -3.18$$

d) Regla de Decisión

Por lo que se plantea:

Rechazar

$$H_1: u_1 = u_2$$

No se rechaza

$$H_0: u_1 \neq u_2$$

e) Cálculo estadístico de Prueba T-STUDENT con n_1+n_2-2 grados de libertad.

Mediante la siguiente fórmula se calcula el t_p :

$$t_p = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2 + \delta_2^2}{n}}}$$

Remplazando los datos:

$$t_p = 6.07$$

f) Conclusión.

Puesto que: $t_p = 6.07$ y se encuentra en la zona de rechazo, por lo tanto descartamos H_0 y aceptamos la Hipótesis alterna H_1 , ya que:

$$6.07 > 3.17$$

Las condiciones de los materiales que conforman el talud y la interacción de agentes externos como las precipitaciones pluviales de enero y febrero que son en mayoría de los 04 años atrás que logran valores más altos de precipitación pluvial influyen en la inestabilidad del talud en la carretera Huancavelica – Lircay.

4.3. Discusión de Resultados

Los resultados para la sección crítica del talud de la zona inestable muestran que éste se presenta estable en condiciones secas. Por lo tanto, no requeriría de soluciones permanentes.

Es en la temporada de lluvias que ocurre el fenómeno de alteración y saturación de la formación de roca volcánica expuesta a intemperización, lo cual genera un suelo residual con un máximo de 2.00 de espesor en la pared del talud, situación que se puede repetir siempre que esta capa esté expuesta a las precipitaciones pluviales.

Dentro del marco de las soluciones pensadas para este estudio, se analizaron métodos como la construcción de muros de contención, la reconformación del talud con banquetas de corte y la colocación de geosintéticos.

Los muros de contención quedaron descartados por la geometría del talud, ya que el pie del talud no implica mayores riesgos de deslizamiento y no necesita ser reforzada, siendo su instalación en la parte media y alta inviable.

La reconfiguración del talud con banquetas de corte, por sí sola no representa una solución, y requiere apoyarse en otras medidas correctivas como cunetas de coronación, lo cual implicaría una solución técnica y económicamente inviable, ya que, por accesibilidad, tiempo y por procesos constructivos, resulta difícil realizar estos trabajos teniendo en cuenta sólo un máximo de 2.00 m de espesor para el suelo residual.

La solución propuesta es la instalación de geomantos con revegetación o biomantos, que estimulen el crecimiento natural de vegetación, porque lo que se requiere es evitar la erosión, generación y saturación de suelos residuales en el talud. Esto a fin de evitar la ocurrencia de deslizamientos y flujos de lodo al pie del talud.

Los geomantos son mantos sintéticos que generan una gran cobertura por un gran periodo de tiempo. Existe también la posibilidad de usar mantos mixtos, es decir una mezcla de mantos sintéticos con biomantos.

Los mantos para el control de la erosión son importantes y funcionales ya que permiten:

- Disminuir la energía erosiva del impacto de la lluvia con el suelo.
- Reducir la velocidad del flujo de escorrentía superficial.
- Conservar la humedad de la lluvia y facilitan la infiltración de agua en el terreno.
- Favorecer la implantación de la vegetación.



CONCLUSIONES

1. En la observación de campo se identificaron 4 unidades geológicas y geotécnicas en el talud de las progresivas del km 2+700 al km 2+800, que fueron posteriormente caracterizados a través de investigaciones geotécnicas y ensayos de laboratorio: Unidad I – Caliza, Unidad II – Marga, Unidad III – Roca Volcánica y Unidad IV – Suelo Residual.
2. A través de los métodos de equilibrio límite se demostró que los macizos rocosos presentes son estables y que la inestabilidad se da por la saturación del suelo residual proveniente de la roca volcánica expuesta a la meteorización fuerte en temporada de lluvias.
3. El suelo residual presenta un espesor de 0.30 – 2.00 m, siendo mayor hacia la parte superior del talud. Este se satura de agua en temporadas de lluvia, por lo que disminuye su resistencia y genera deslizamientos y flujos de lodo hacia el pie del talud. El control de las filtraciones de agua será muy importante para evitar la erosión, alteración y saturación de las capas de roca volcánicas del talud.
4. El factor de seguridad que presenta el talud mediante métodos de equilibrio límite en la carretera Huancavelica – Lircay demuestra que éste es estable en condiciones secas. La sección crítica del talud modelada para temporada de lluvias presenta inestabilidad en condiciones estáticas y pseudo-estáticas, de acuerdo con un coeficiente sísmico horizontal de 0.17g.
5. Se determinó que la solución más viable y económica es el método de estabilización con geosintéticos, principalmente con la colocación de geomantos en combinación con técnicas de revegetación o biomantos.
6. La reconfiguración del talud con banquetas de corte y cunetas de coronación implicaría una solución técnica y económicamente inviable, ya que, por accesibilidad, tiempo y por procesos constructivos, resulta difícil realizar estos trabajos teniendo en cuenta sólo un máximo de 2.00 m de espesor para el suelo residual.

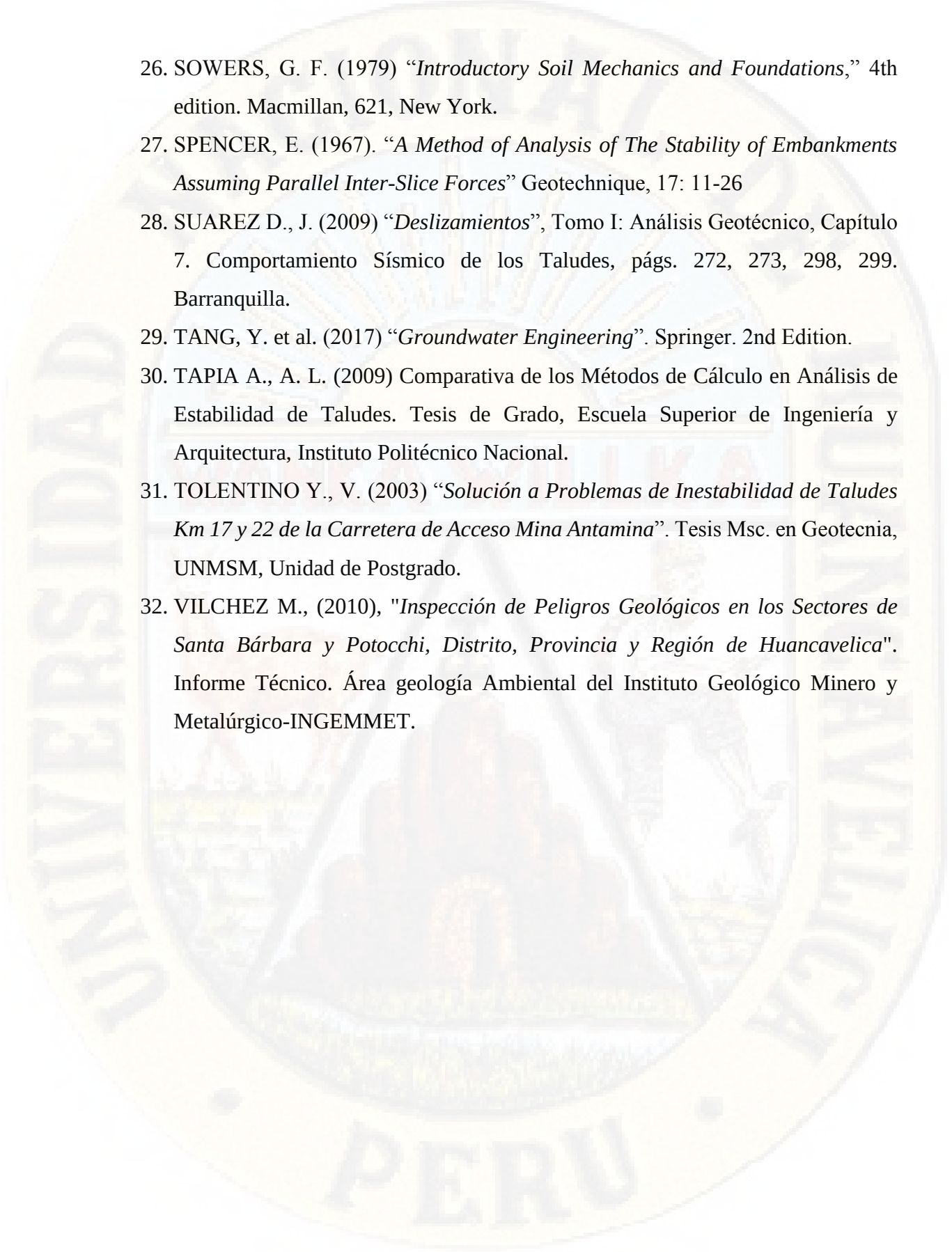
RECOMENDACIONES

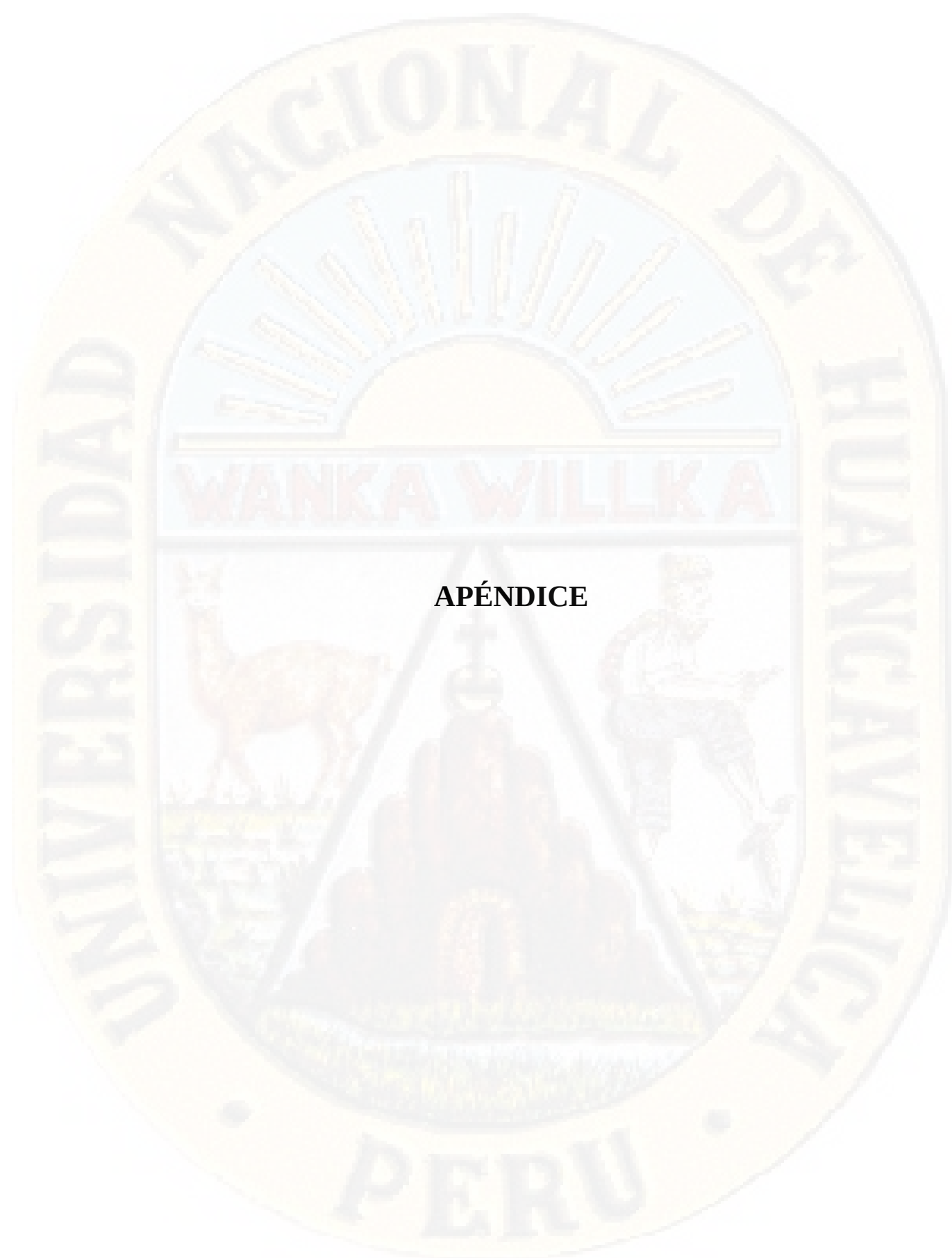
1. Realizar un seguimiento de la estabilidad del talud a través de controles topográficos para evaluar posibles desplazamientos o generación de planos de falla, además se recomienda efectuar estudios hidrológicos, especialmente en temporadas de lluvia.
2. Esta tesis debe complementarse con otras investigaciones geotécnicas para tener más información de campo en cada uno de los materiales que conforman el talud.
3. Es importante que para futuros estudios se tenga en cuentas la existencia de macizos rocosos especialmente susceptibles a la meteorización porque mucho de éstos, en el corto o largo plazo, al alterarse en suelos van a perder su resistencia.
4. Para mitigar el deslizamiento en el talud del Km 2+700 al Km 2+800, se debe analizar la posibilidad de colocar sistemas de drenaje en la parte superior del talud para captar y canalizar las aguas superficiales de lluvia, evitando así su infiltración y la saturación del suelo residual, la altura más vulnerable se encuentra ubicado a 40m del pie de la talud de corte.
5. Se recomienda como solución temporal y/o permanente, a criterio de los interesados, la impermeabilización y/o revegetación del talud con geomantos, cumplimiento las especificaciones técnicas, un adecuado proceso de instalación de geomanto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRAMSON, L. W. et al (2002) “*Slope Stability and Stabilization Methods*”. John Wiley & Sons Inc. 2nd Edition.
2. ÁNGELES G., R. (1999) “*Estudio Geológico – Geotécnico Presa y Bocatoma Las Yuntas (IX Región de La Araucanía – Chile)*”. Tesis Ing. Geólogo, UNMSM, E.A.P. Ing. Geológica.
3. ARONE P., J. (2017) “*Análisis de estabilidad de los deslizamientos de tierras con substratos pizarrosos. Caso localidad de Kelcaybamba-Ocobamba, provincia de La Convención, región Cusco*”. Tesis Ing. Geólogo, UNMSM, E.A.P. Ing. Geológica.
4. BADILLO, E. J. (2005) “*Fundamento de la Mecánica de Suelos*”. Mexico: Noriega Editores.
5. BRAJA M, D. (1999) “*Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*”. Mexico: Edit. Thomson Editores.
6. CAMBEFORT, H. (1974) “*Geotecnia del Ingeniero*” Reconocimiento de Suelos.
7. CAMPOS, O. A. (2011) “*Inestabilidad de Laderas*”. Elementos BUAP, 84.
8. CORDOVA R., D. (1991) “*Análisis de Estabilidad de Taludes Rocosos en Minas a Cielo Abierto*” – Perú.
9. DE LA CRUZ Q., & TUNQUE H., (2015) “*Inestabilidad de Taludes en el Sector de Santa Bárbara de la Ciudad de Huancavelica*”. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. Universidad Nacional de Huancavelica.
10. DE SIMON G., A. (1982) “*Clasificación Geomecánica Aplicada a los Taludes de Roca*”. TECNITERRE 2S – 308.
11. DUNCAN, J.M. & WRIGHT S.G., (2005) “*Soil strength and slope stability*”. USA
12. FREDLUND, D. G., KRAHN J. (1977) “*Comparison of slope stability methods of analysis*”. Canadian Geotechnical Journal, Vol. 14, No. 3: pp. 429-439
13. GARZÓN I, J.. et al (2012) “*Evaluación de la Vulnerabilidad y Consecuencias por Deslizamiento en la Conexión Vial Aburrá - Río Cauca entre las Abscisas Km 04+000 y Km 39+000*” Tesis para optar el grado de Especialización en Vías y Transporte. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad de Medellín. Colombia.

14. GONZALEZ DE VALLEJO L. et al (2002) “*Ingeniería Geológica*”, Parte II Aplicaciones, Capítulo 9. Taludes, 9.5. Análisis de Estabilidad, págs. 447 – 456. Madrid.
15. GRANADOS L., A., (2006), “*Estabilización del Talud de la Costa Verde en la Zona del Distrito de Barranco*”, Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. Facultad de Ciencias de Ingeniería. Pontificia Universidad Católica del Perú.
16. HUNT, R. (2007). “*Characteristics of geologic materials and formations a field guide for geotechnical engineers*”. Boca Ratón: C.R.C Press.
17. HURTADO, J. E. (1994). Análisis de Estabilidad de Taludes. Ciencia y Tecnología- Facultad de Ingeniería Civil, 62.
18. HUTCHINSON, J. N. (1988). “*Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology*”. In Ch. Bonnard (Ed.): Landslides. Proceeding 5th International Conference on Landslides. Lausanne. Vol. 1
19. IZQUIERDO S., F. (2002) “*Cuestiones de Geotecnia y Cimientos*”. Universidad Politécnica de Valencia.
20. MARTINEZ V., A. (1990) “*Geotecnia para Ingenieros*”. Principios Básicos.
21. MORCHE & LARICO CAYO (1996) Boletín N° 73, Serie A: Carta Geológica Nacional. “*Cuadrángulo Geológico de Huancavelica*” (26n). Escala 1:100000. INGEMMET.
22. NORMA TÉCNICA E.030 (2016) “*Diseño Sismorresistente*” del Reglamento Nacional de Edificaciones.
23. OSCAR Y CAMILO. (2015)) *análisis comparativo de estabilidad de taludes mediante los métodos de equilibrio límite aplicado a taludes o laderas aledañas al cerro de la popa, casco urbano de Cartagena*. Universidad de Cartagena Facultad de Ingeniería programa Ingeniería Civil
24. PACHECO Z., A. A. (2006). Estabilización de Taludes de la Costa Verde en el Distrito de San Isidro, Tesis de Grado, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú.
25. SACKSCHEWSKI C., C. (2017) “*Soluciones para la Estabilidad de Taludes de La Carretera Canta – Huayllay entre las Progresivas del Km 102 al Km 110*” Tesis Ing. Geólogo, UNMSM, E.A.P. Ing. Geológica.

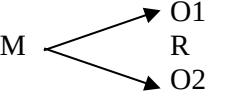
- 
26. SOWERS, G. F. (1979) "*Introductory Soil Mechanics and Foundations*," 4th edition. Macmillan, 621, New York.
 27. SPENCER, E. (1967). "*A Method of Analysis of The Stability of Embankments Assuming Parallel Inter-Slice Forces*" *Geotechnique*, 17: 11-26
 28. SUAREZ D., J. (2009) "*Deslizamientos*", Tomo I: Análisis Geotécnico, Capítulo 7. Comportamiento Sísmico de los Taludes, págs. 272, 273, 298, 299. Barranquilla.
 29. TANG, Y. et al. (2017) "*Groundwater Engineering*". Springer. 2nd Edition.
 30. TAPIA A., A. L. (2009) Comparativa de los Métodos de Cálculo en Análisis de Estabilidad de Taludes. Tesis de Grado, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Instituto Politécnico Nacional.
 31. TOLENTINO Y., V. (2003) "*Solución a Problemas de Inestabilidad de Taludes Km 17 y 22 de la Carretera de Acceso Mina Antamina*". Tesis Msc. en Geotecnia, UNMSM, Unidad de Postgrado.
 32. VILCHEZ M., (2010), "*Inspección de Peligros Geológicos en los Sectores de Santa Bárbara y Potocchi, Distrito, Provincia y Región de Huancavelica*". Informe Técnico. Área geología Ambiental del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico-INGEMMET.



APÉNDICE

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: “ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD MEDIANTE MÉTODOS DE EQUILIBRIO LIMITE PARA LA CARRETERA HUANCAMELICA – LIRCAY ENTRE LAS PROGRESIVAS DEL Km 02+700 AL Km 02+800”

PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
Problema General	Objetivo General	Antecedentes	Hipótesis General	Independiente	Tipo de Investigación: Aplicada o tecnológica. Nivel de Investigación: Descriptivo - Explicativo. Diseño de Investigación: No Experimental – Transeccional  Donde: M : muestra. O1 : Análisis de Métodos Equilibrio Limite. O2 : Estabilidad de talud. R : Relación Población: Talud de corte entre las progresivas del Km 02+700 al Km 02+800. Muestra: Probabilístico. Técnicas de recolección de datos: Calicatas, muestreo representativo, ensayo DPL, cono de arena, RMR-SMR, Resistencia a la Compresión Uniaxial.
¿Cuáles son las mejores soluciones técnicas y económicamente viables que garantizan la estabilidad del talud mediante métodos de equilibrio límite en la carretera Huancavelica – Lircay entre las progresivas del Km 02+700 al Km 02+800?	El objetivo de la presente investigación es determinar la solución técnica y económicamente viable que garantice la estabilidad del talud mediante métodos de equilibrio límite en la carretera Huancavelica – Lircay entre las progresivas del Km 02+700 al Km 02+800	Internacional: GARZÓN I, J. et al (2012) “Evaluación de la Vulnerabilidad y Consecuencias por Deslizamiento en la Conexión Vial Aburrá - Río Cauca entre las Abscisas Km 04+000 y Km 39+000 Facultad de Ingeniería Civil. Universidad de Medellín. Colombia. Nacional: (Granado Lopez, 2006), "Estabilización del Talud de la Costa Verde en la Zona del Distrito de Barranco", Tesis Ingeniero Civil. Facultad de Ciencias de Ingeniería. Pontificia Universidad Católica del Perú. Local: Vilchez Mata (2010), "Inspección de Peligros Geológicos en los Sectores de Santa Bárbara y Potocchi, Distrito, Provincia y Región De Huancavelica". De la Cruz Q. & Tunque H. (2015) titulado “Inestabilidad de Taludes en el Sector de Santa Bárbara de la Ciudad de Huancavelica” realizado con la finalidad de optar el Título de	Los métodos de equilibrio límite demostrarán la estabilidad física del talud de la carretera Huancavelica – Lircay entre las progresivas del Km 02+700 al Km 02+800 Hipótesis Específicas	• Métodos de Equilibrio Límite: - Bishop simplificado - Spencer - Morgenstern-Price • Dimensión - Factor de Seguridad.	
Problemas Específicos	Objetivos Específicos		Hipótesis Específicas	Dependiente	
• ¿Cuál es el factor de seguridad que presenta el talud inestable mediante métodos de equilibrio límite en la carretera Huancavelica – Lircay? • ¿Cuáles son las propiedades geotécnicas de los materiales que conforman el talud mediante métodos de equilibrio límite en la carretera Huancavelica – Lircay?	• Evaluar la susceptibilidad de los macizos rocosos a la alteración en suelos residuales para poder caracterizarlos y definir las medidas correctivas para la estabilidad del talud en temporada de lluvias. • Caracterizar las propiedades geotécnicas de los materiales que conforman el talud mediante métodos de equilibrio límite en la carretera Huancavelica – Lircay		• La evaluación de los macizos rocosos altamente susceptibles a la alteración en suelos residuales será importante para su caracterización y definición de las medidas correctivas a adoptar para el talud debido a la inestabilidad generada en temporada de lluvias. • Las propiedades geotécnicas de los materiales que conforman el talud mediante métodos de equilibrio límite, influyen directamente en la estabilidad en la carretera Huancavelica – Lircay.	• Estabilidad del Talud • Dimensión - Propiedades físicas del suelo - Factores climáticos y artificiales.	

• ¿Cuáles son los factores que influyen en la inestabilidad del talud mediante métodos de equilibrio límite en la carretera Huancavelica – Lircay?	• Determinar los factores que influyen en la inestabilidad del talud mediante métodos de equilibrio límite en la carretera Huancavelica – Lircay.	Ingeniero Civil en la Universidad Nacional de Huancavelica. • Las condiciones de los materiales que conforman el talud y la interacción de agentes externos como las precipitaciones pluviales influyen en la inestabilidad del talud en la carretera Huancavelica – Lircay.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos: Análisis de laboratorio (SUCS, Límites de Atterberg, Corte Directo), Softwares Geotécnicos (DIPS, SLIDE) utilizando Métodos de Equilibrio Límite: Bishop simplificado, Spencer y Morgenstern-Price
--	---	---	---

Cronograma de actividades

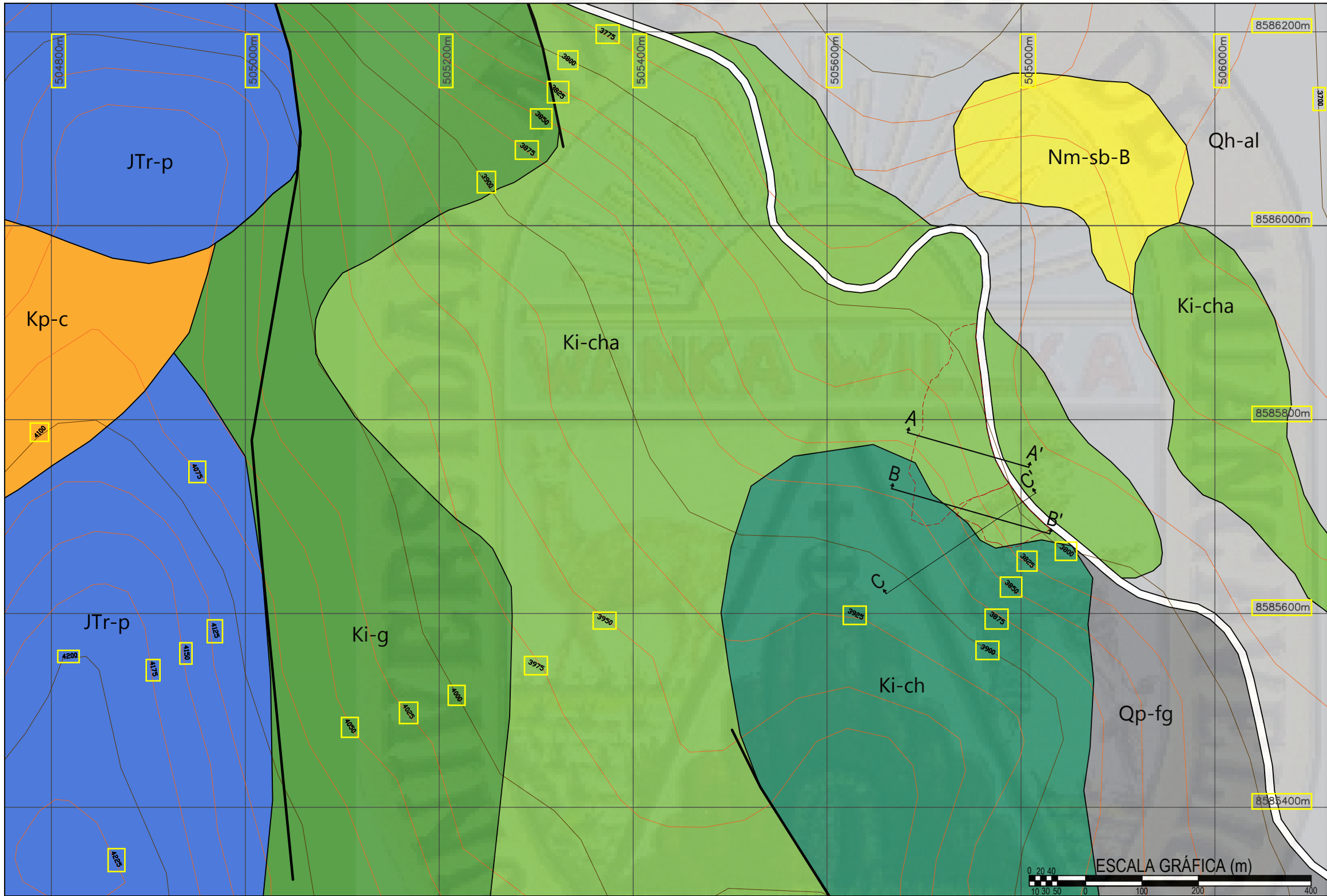
Actividades	2018	2019								
	DIC	ENE	FEBR	MAR	ABR	MA	JUN	JUL	AGO	SEP
Revisión Bibliográfica	X									
Preparación del perfil del Plan de Tesis	X	X								
Presentación y aprobación del Plan de Tesis			X							
Ejecución de la Tesis				X	X	X	X	X		
Redacción del informe final de la Tesis									X	
Presentación y sustentación del informe final										X

Presupuesto.

ITEM	DESCRIPCION	UND	CANT	P. UNT.	MONTO S/.
01.00	RECURSOS HUMANOS: BONIFICACIONES				2,200.00
	Investigador Asesor	Glb	1.00	1,000.00	1,000.00
	Investigador	Glb	12.00	100.00	1,200.00
02.00	BIENES				400.00
	Material bibliográfico	Glb	1.00	100.00	100.00
	Material de impresión	Glb	1.00	200.00	200.00
	Material para trabajos de campo	Glb	1.00	100.00	100.00
03.00	EQUIPOS				3,400.00
	Alquiler de equipo topográfico	Glb	1.00	300.00	300.00
	Alquiler de equipos para estudio de suelos	Glb	1.00	3,000.00	3,000.00
	Alquiler de equipos menores	Glb	1.00	100.00	100.00
04.00	SERVICIOS				4,000.00
	Ploteo de planos	Glb	1.00	100.00	100.00
	Impresión en general	Glb	1.00	100.00	100.00
	Fotocopias	Glb	1.00	100.00	100.00
	Estudio de mecánica de suelos	Glb	1.00	700.00	700.00
	Servicios de internet	Glb	10.00	100.00	1,000.00
	Viáticos y movilidad	Glb	1.00	2,000.00	2,000.00
TOTAL					10,000.00



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA FACULTAD DE INGENIERIA MINAS CIVIL AMBIENTAL		Tesis : "ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD MEDIANTE MÉTODOS DE EQUILIBRIO LIMITE PARA LA CARRETERA HUANCAMELICA - LIRICAY ENTRE LAS PROGRESIVAS DEL Km 02+700 AL Km 02+800"		Título: PLANO DE LA ZONA DE ESTUDIO DE LA CARRETERA HUANCAMELICA - LIRICAY Km 2+700 al Km 2+800	
		Tesisista : CCAHUANA PUCLLAS, SAÚL YOEL SÁNCHEZ CASTRO, JERÓNIMO RICHARD		Fecha: MAYO - 2019	
		Asesor : ING. CAMAC OJEDA, ENRIQUE R.		Plano: A3-PLANO-100	



LEYENDA

UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

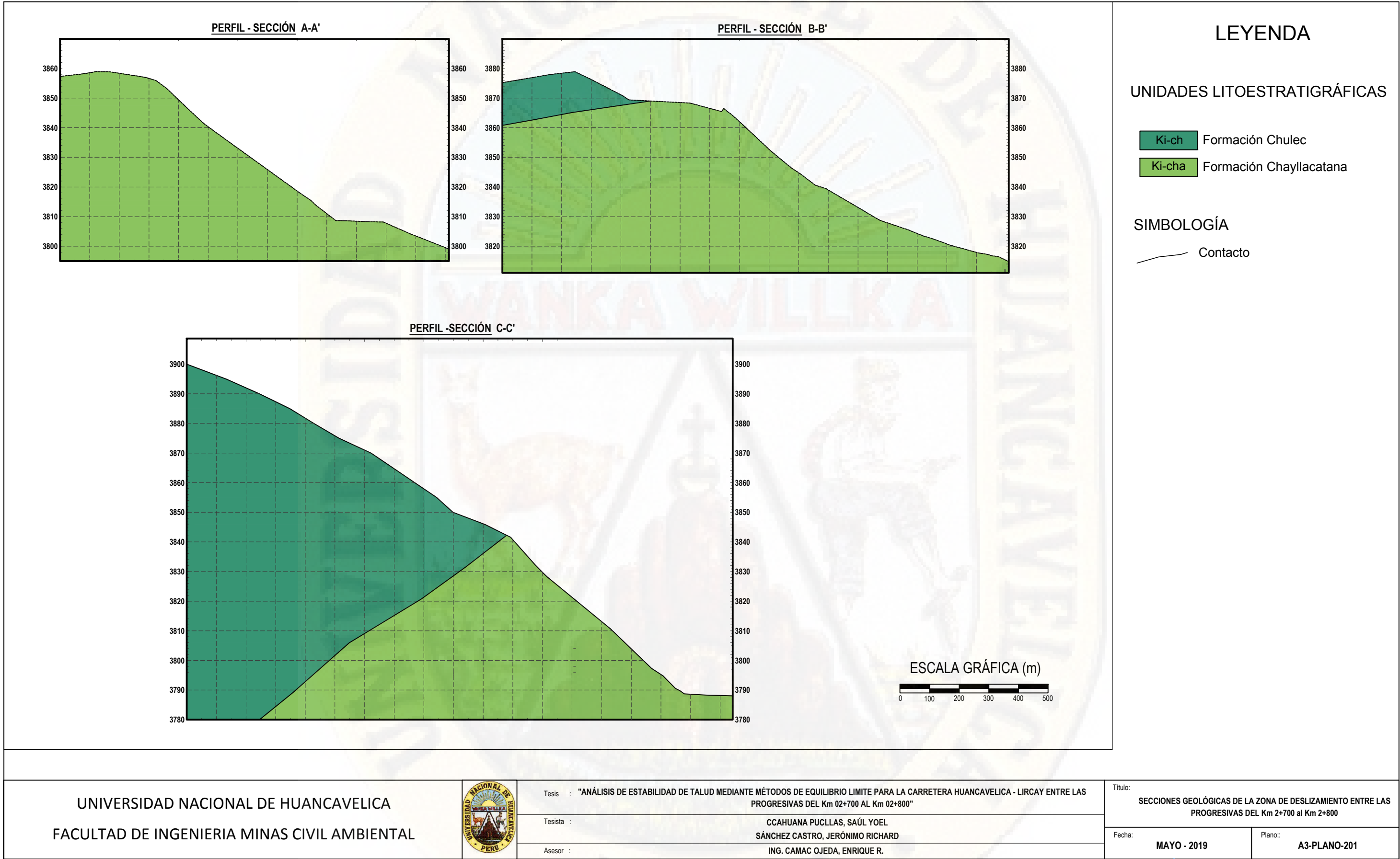
- Qh-al Depósito Aluvial
- Qp-fg Depósito fluvio-glaciár
- Nm-sb Formación Santa Bárbara
- Kp-c Formación Casapalca
- Ki-ch Formación Chulec
- Ki-cha Formación Chayllacatana
- Ki-g Grupo Goyllarisquizga
- JTr-p Grupo Pucará

SIMBOLOGÍA

- Contacto
- Falla
- Carretera Huancavelica - Lircay
- Zona de Deslizamiento



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA FACULTAD DE INGENIERIA MINAS CIVIL AMBIENTAL		Tesis : "ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD MEDIANTE MÉTODOS DE EQUILIBRIO LIMITE PARA LA CARRETERA HUANCAMELICA - LIRCAY ENTRE LAS PROGRESIVAS DEL Km 02+700 AL Km 02+800"		Título: PLANO GEOLÓGICO LOCAL DE LA CARRETERA HUANCAMELICA - LIRCAY Km 2+700 al Km 2+800	
		Tesisista : CCAHUANA PUCLLAS, SAÚL YOEL SÁNCHEZ CASTRO, JERÓNIMO RICHARD		Fecha: MAYO - 2019	
		Asesor : ING. CAMAC OJEDA, ENRIQUE R.		Plano:: A3-PLANO-200	



GEOMANTO			
N°	MATERIAL	AREA	UND
1	GEOMANTO	15,110.00	M2
1	BASTONES	15,200.00	UND

ESPECIFICACIONES TECNICAS

BASTONES

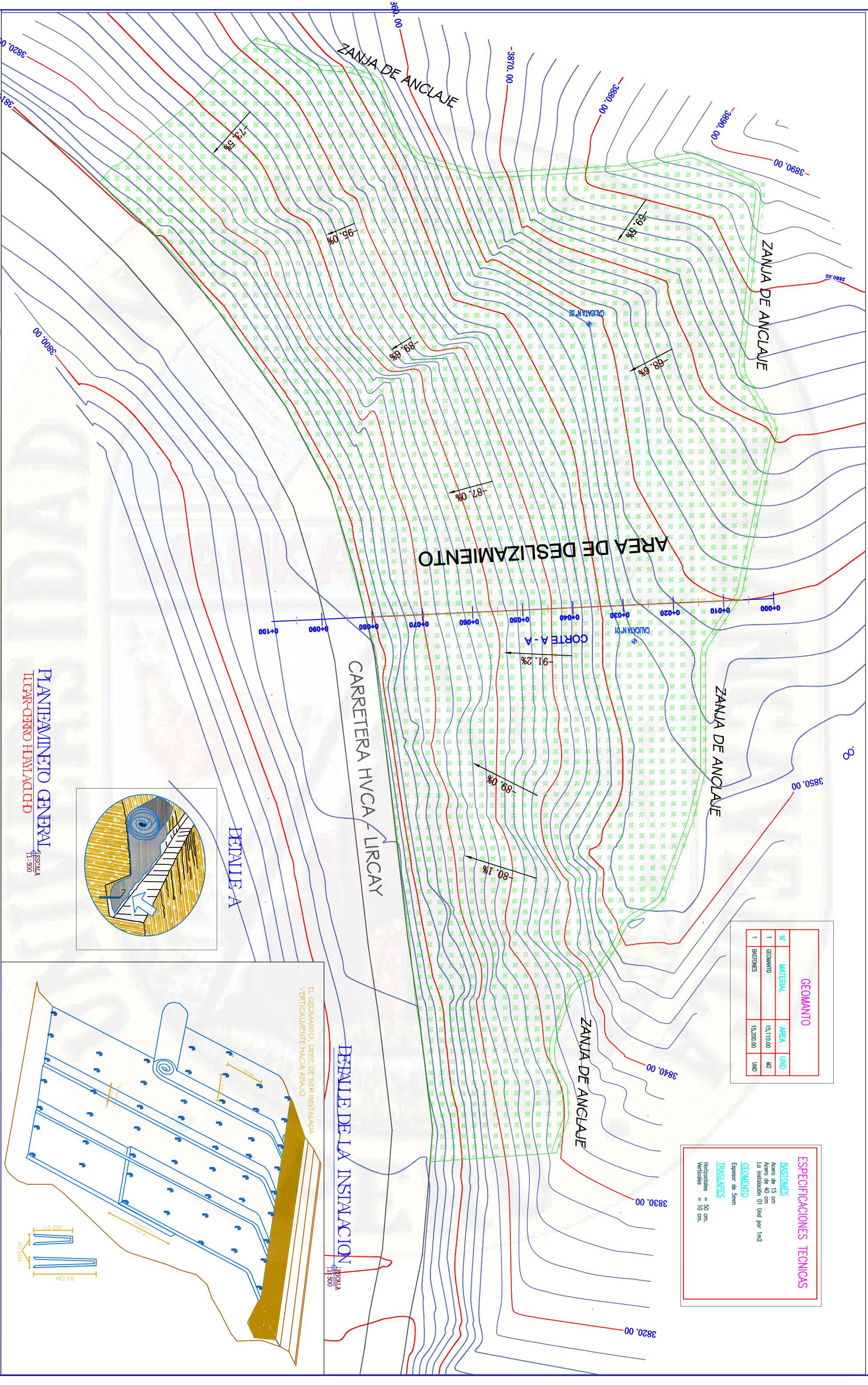
Acero de 15 cm
Acero de 40 cm
La Inclinación 01 Und por 1m2

GEOMANTO

Espeor de 5mm

TRASLAPES

Horizontales = 50 cm.
Verticales = 10 cm.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

ASESOR: ING. CAMAC OJEDA ENRIQUE R.

TESISTAS: SANCHEZ CASTRO JERONIMO RICHARD
OCAHUANA A PUCLAS SAUL YOEL

Datum: WGS84
Zona UTM: 18L SUR
Cuadrícula: L

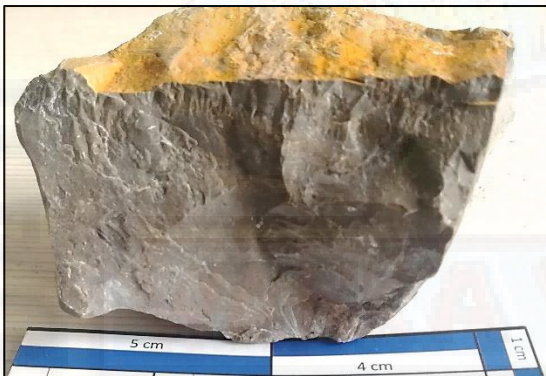
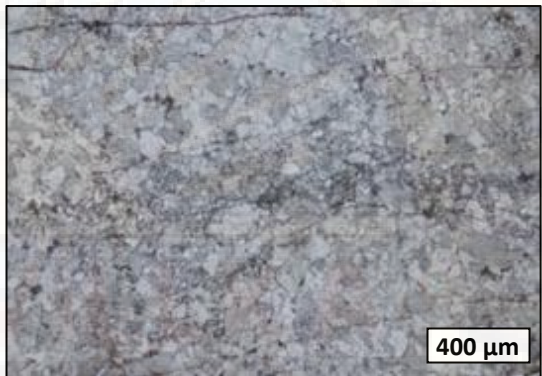
TESIS : "ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD MEDIANTE MÉTODOS DE EQUILIBRIO LÍMITE PARA LA CARRETERA HUANCAMELICA - LIRCAY ENTRE LAS PROGRESIVAS DEL km 02+700 AL km 02+800"

LAMINA : PLANTEAMIENTO GENERAL

ESCALA : INDICADA
FECHA : OCTUBRE - 2019

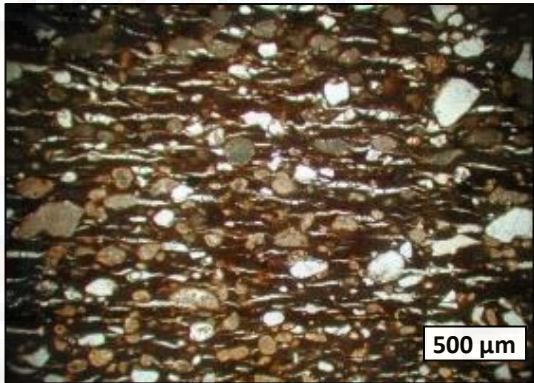
CODIGO : PG-01

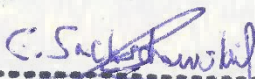
ESTUDIO PETROGRÁFICO	
PROYECTO: "ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD MEDIANTE MÉTODOS DE EQUILIBRIO LIMITE PARA LA CARRETERA HUANCAMELICA – LIRCAY ENTRE LAS PROGRESIVAS DEL Km 02+700 AL Km 02+800"	
REALIZADO POR: CARLOS SACKSCHEWSKI FECHA: 15/08/19	MUESTRA ENTREGADA POR: SAUL CCAHUANA PUCCLAS

1) CALIZA DOLOMÍTICA (TIPO MUDSTONE)	
Vista Macroscópica	Vista Microscópica
	
Caliza de color gris a gris claro de textura Mudstone, con pequeños cristales de calcita. Reacción fuerte con el ácido clorhídrico.	
ESTRUCTURA:	Laminar compacta, marcada por la alternancia de niveles arenosos y micríticos, con orientación preferente de los granos, de origen sedimentario.
TEXTURA:	Mudstone, micrítica, cristales subhedrales con contactos subangulosos compactos por proceso de dolomitización (reemplazo parcial de dolomita por calcita). La matriz es micrítica, de naturaleza calcárea, con porosidad baja.


 CARLOS ENRIQUE
 SACKSCHEWSKI CHAPMAN
 INGENIERO GEOLOGO
 Reg. CIP N° 205742

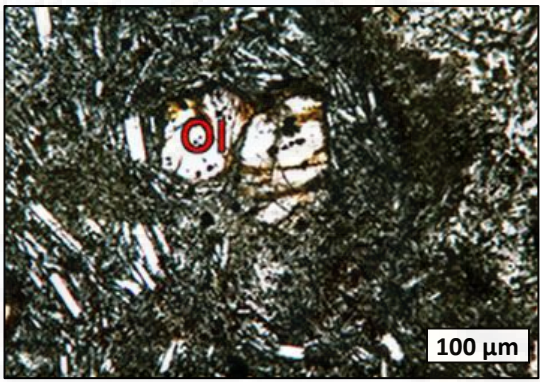
ESTUDIO PETROGRÁFICO	
PROYECTO: "ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD MEDIANTE MÉTODOS DE EQUILIBRIO LIMITE PARA LA CARRETERA HUANCAMELICA – LIRCAY ENTRE LAS PROGRESIVAS DEL Km 02+700 AL Km 02+800"	
REALIZADO POR: CARLOS SACKSCHEWSKI FECHA: 15/08/19	MUESTRA ENTREGADA POR: SAUL CCAHUANA PUCCLAS

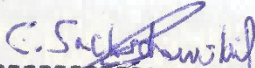
2) MARGA	
Vista Macroscópica	Vista Microscópica
	
Marga de color gris a gris amarillento, suave al tacto, con reacción fuerte al ácido clorhídrico. Se pueden apreciar venillas de calcita con espesores de 1 mm.	
Roca compuesta esencialmente por cristales de calcita (blanco) y dolomita, intercalados con estructuras laminares de filosilicatos (arcillas).	
ESTRUCTURA:	Laminar bien marcada por cambios texturales a muy pequeña escala, con variaciones en la relación carbonatos/filosilicatos.
TEXTURA:	Micrítica – arcillosa, cristales subhedrales de calcita y dolomita con láminas de filosilicatos. La matriz consiste de una fracción fina inferior a los 0.005 mm, compuesta por carbonatos mezclados con filosilicatos, granos de cuarzo subangulosos, y ocasionales láminas de micas con orientación preferente en sentido de la sedimentación.



 CARLOS ENRIQUE
 SACKSCHEWSKI CHAPMAN
 INGENIERO GEOLOGO
 Reg. CIP N° 205742

ESTUDIO PETROGRÁFICO	
PROYECTO: "ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD MEDIANTE MÉTODOS DE EQUILIBRIO LIMITE PARA LA CARRETERA HUANCAMELICA – LIRCAY ENTRE LAS PROGRESIVAS DEL Km 02+700 AL Km 02+800"	
REALIZADO POR: CARLOS SACKSCHEWSKI FECHA: 15/08/19	MUESTRA ENTREGADA POR: SAUL CCAHUANA PUCCLAS

3) BASALTO OFIOLÍTICO CON OLIVINO	
Vista Macroscópica	Vista Microscópica
	
Lavas basálticas con olivino de colores gris verdoso a violáceo y de textura porfirítica. No reacciona al ácido clorhídrico y se encuentra alterado (por meteorización) superficialmente.	
Cristales aplanados de plagioclasa (blanca), en cuyos intersticios se encuentra piroxeno monoclinico (negro). Presencia de cristales subhedrales de olivino.	
ESTRUCTURA:	Heterogénea
TEXTURA:	Ofiolítica - porfirítica, cristales prismáticos de plagioclasa calco-sódica con piroxeno y olivino, en una matriz de grano fino (afanítica) compuesta por minerales máficos, filosilicatos (arcilla) y vidrio volcánico.
ALTERACIÓN:	Tanto la plagioclasa como los minerales máficos se presentan débilmente alterados. En los espacios intercristalinos se ubican minerales de alteración que se generan a través de la degradación del vidrio volcánico.


 CARLOS ENRIQUE
 SACKSCHEWSKI CHAPMAN
 INGENIERO GEOLOGO
 Reg. CIP N° 205742

ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO (NORMA MTC E-117)			
Proyecto: "Análisis De Estabilidad De Talud Mediante Métodos De Equilibrio Limite Para La Carretera Huancavelica – Lircay Entre Las Progresivas Del Km 02+700 Al Km 02+800"			
	Universidad Nacional de Huancavelica	Ubicación:	Huancavelica, Perú
		Lugar:	Carretera Huancavelica – Lircay
	Sistema de Coordenadas: WGS84	Progresiva:	Km 2+700 – Km 2+800
CALICATA		CA-02	CA-01
Muestra		-	M-01
Fecha		26/11/2018	26/11/2018
Profundidad (m)		0.15	0.30
Determinación de la densidad húmeda del suelo			
Densidad Arena Normalizada de ensayo (g/cm ³)		1.37	1.37
Masa de Suelo Húmedo + Bolsa (g)		4613	3494
Masa de Suelo Húmedo (g)		4606	3487
Masa inicial de Arena (g)		5758	5708
Masa de arena remanente (g)		1910	1265
Masa de Arena en Cono Basal (g)		1620	1620
Volumen del hueco de ensayo (cm ³)		2808.54	2060.87
Densidad Húmeda (g/cm ³)		1.64	1.692
Determinación de la densidad seca del suelo			
Contenido de Humedad Natural (%)		-	12.5
Densidad Seca (g/cm ³)		-	1.504


PAVEL DANY NAHUI VELASQUEZ
 GERENTE GENERAL

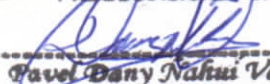
Proyecto: "Análisis De Estabilidad De Talud Mediante Métodos De Equilibrio Limite Para La Carretera Huancavelica – Lircay Entre Las Progresivas Del Km 02+700 Al Km 02+800"						CA-01	
	Universidad Nacional de Huancavelica		Ubicación:	Huancavelica, Perú			
			Lugar:	Carretera Huancavelica – Lircay			
	Sistema de Coordenadas: WGS84		Progresiva:	Km 2+700 – Km 2+800			
Fecha: 26/11/18		Método: Manual	Este: 505 717	Norte: 8 585 771			
Registrado por: SC		Dimensiones: 0.70 x 0.50 m	Profundidad: 0.30 m	N. Freático: N.S.O.			
PROF. (m)	GRÁFICO	S.U.C.S.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA	MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	COMENTARIOS
		CL	(0.00 – 0.50 m) Arcilla limosa, beige grisáceo, olor térreo, húmedo, plasticidad media, resistencia seca media, consistencia firme, homogéneo. Se encontró roca a los 0.50 m	Suelo Residual	M-1	CA-01-M1	Muestra para Ensayo de Corte Directo, SUCS y Contenido de Humedad
1.00							
2.00							
3.00							

ENK GEOTECNIA CONSTRUCCIONES
Y NEGOCIACIONES S.A.C.


Pavel Dany Nahui Velasque
GERENTE GENERAL

Proyecto: "Análisis De Estabilidad De Talud Mediante Métodos De Equilibrio Limite Para La Carretera Huancavelica – Lircay Entre Las Progresivas Del Km 02+700 Al Km 02+800"						CA-02	
		Universidad Nacional de Huancavelica		Ubicación:	Huancavelica, Perú		
				Lugar:	Carretera Huancavelica – Lircay		
		Sistema de Coordenadas: WGS84		Progresiva:	Km 2+700 – Km 2+800		
Fecha: 26/11/18		Método: Manual		Este: 505696	Norte: 8 585 809		
Registrado por: SC		Dimensiones: 0.70 x 0.50 m		Profundidad: 0.30 m	N. Freático: N.S.O.		
PROF. (m)	GRÁFICO	S.U.C.S.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA	MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	COMENTARIOS
		CL	(0.00 – 0.30 m) Arcilla limosa, beige grisáceo, olor terreo, húmedo, plasticidad media, resistencia seca media, consistencia firme, homogéneo. Se encontró roca a los 0.30 m	Suelo Residual	-	-	-
1.00							
2.00							
3.00							

BAK GEOTECNIA CONSTRUCCIONES
Y ASOCIACIONES S.A.C.


Pavel Dany Nahui Velasque
GERENTE GENERAL



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Nº 002044

Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S18 - 1015-1

SOLICITANTE : JERONIMO R. SANCHEZ CASTRO

PROYECTO : ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD MEDIANTE METODOS DE EQUILÍBRIO LIMITE
PARA LA CARRETERA HUANCAMELICA - LIRCAY

UBICACIÓN : HUANCAMELICA - LIRCAY PROGRESIVA 02+700 AL 02+800

FECHA : 17 DE DICIEMBRE 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : PT-M1-01

Prof. (m.) : 0.20 - 0.50

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

Tamiz	Abertura (mm)	(%) Parcial Retenido	(%) Acumulado Retenido	Pasa
3"	75.000	-	-	
2"	50.000	-	-	
1 1/2"	37.500	-	-	
1"	25.000	-	-	
3/4"	19.000	-	-	
1/2"	12.500	-	-	
3/8"	9.500	-	-	
1/4"	6.300	-	-	100.0
N°4	4.750	0.6	0.6	99.4
N°10	2.000	3.0	3.5	96.5
N°20	0.850	6.3	9.8	90.2
N°30	0.600	2.3	12.1	87.9
N°40	0.425	2.5	14.6	85.4
N°60	0.250	3.9	18.5	81.5
N°100	0.150	4.6	23.1	76.9
N°200	0.075	7.4	30.5	69.5
FONDO		69.5		

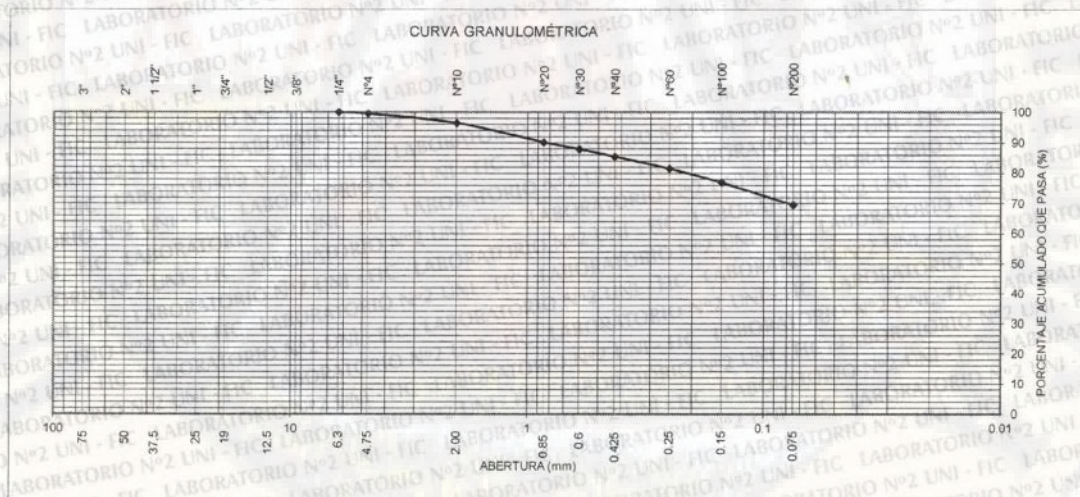
% Grava	0.6
% Arena	29.9
% Finos	69.5

LIMITES DE CONSISTENCIA
ASTM D4318

Límite Líquido (%)	47.3
Límite Plástico (%)	26.1
Índice Plástico (%)	21.2

Clasificación SUCS ASTM D2487

: CL



Nota: La muestra fue remitida e identificada por el Solicitante

Ejecutado por: Téc. G. Quico Z.

Revisado por: Ing. D. Basurto R. / B.R.P.



Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS
Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería Civil - UNI

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering
Technology
Accreditation
Commission

Av. Túpac Amaru 210, Lima 25 - Perú

Teléfono: (511) 381-3842

e-mail: lms.servicios@uni.edu.pe, lms_fic@uni.edu.pe, www.lms.uni.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Nº 002045

Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S18 - 1015-2

SOLICITANTE : JERONIMO R. SANCHEZ CASTRO
PROYECTO : ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD MEDIANTE METODOS DE EQUILIBRIO LIMITE
PARA LA CARRETERA HUANCAMELICA - LIRCAY
UBICACIÓN : HUANCAMELICA - LIRCAY PROGRESIVA 02+700 AL 02+800
FECHA : 17 DE DICIEMBRE 2018

REPORT DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : PT-M1-01
Prof. (m) : 0.20 - 0.50

ENSAYO CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D 2216

Contenido de Humedad (%) : 12.5

Nota. Muestra remitida e identificada por el Solicitante.

Ejecutado por : Téc. G. Quico Z.

Revisado por : Ing. D. Basurto R. / B.R.P.



[Handwritten signature]

Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS
Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería Civil - UNI

Av. Túpac Amaru 210, Lima 25 - Perú

Teléfono: (511) 381-3842

e-mail: lms.servicios@uni.edu.pe, lms_fic@uni.edu.pe, www.lms.uni.edu.pe



ABET

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por

Engineering
Technology
Accreditation
Commission



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Nº 002046

Facultad de Ingeniería Civil
Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME Nº S18 - 1015-1

SOLICITANTE : JERONIMO R. SANCHEZ CASTRO
PROYECTO : ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD MEDIANTE METODOS DE EQUILIBRIO LIMITE
PARA LA CARRETERA HUANCAMELICA - LIRCAY
UBICACIÓN : HUANCAMELICA - LIRCAY PROGRESIVA 02+700 AL 02+800
FECHA : 17 DE DICIEMBRE 2018

ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ASTM D3080

Estado : Remoldeado (material < Tamiz Nº 4)
Calicata : PT-M1-01
Prof. (m.) : 0.20 - 0.50

Especimen Nº	I	II	III
Diametro del anillo (cm.)	5.95	5.95	5.95
Altura Inicial de la muestra (cm.)	2.04	2.04	2.04
Densidad húmeda inicial (g/cm³.)	1.692	1.692	1.692
Densidad seca inicial (g/cm³.)	1.423	1.423	1.423
Cont. de humedad inicial (%)	18.9	18.9	18.9
Altura de la muestra antes de aplicar el esfuerzo de corte (cm.)	2.04	2.02	2.02
Altura final de la muestra (cm.)	2.03	2.02	2.00
Densidad húmeda final (gr/cm³.)	1.915	1.895	1.882
Densidad seca final (gr/cm³.)	1.436	1.441	1.452
Cont. de humedad final (%)	33.4	31.5	29.6
Esfuerzo normal (kg/cm².)	0.5	1.0	2.0
Esfuerzo de corte máximo (kg/cm².)	0.414	0.673	1.203
Angulo de fricción interna :	27.8 °		
Cohesión (kg/cm².) :	0.15		

Nota : Los especímenes se remoldearon con la densidad proporcionada por el cliente.
Muestra remitida e identificada por el solicitante.

Realizado por: Téc. G. Quico Z.

Revisado por: Ing. D. Basurto R. / B.R.P.



[Signature]

Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS
Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería Civil - UNI

Av. Túpac Amaru 210, Lima 25 - Perú

Teléfono: (511) 381-3842

e-mail: lms.servicios@uni.edu.pe, lms_fic@uni.edu.pe, www.lms.uni.edu.pe



Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por

Engineering
Technology
Accreditation
Commission



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Nº 002047

Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

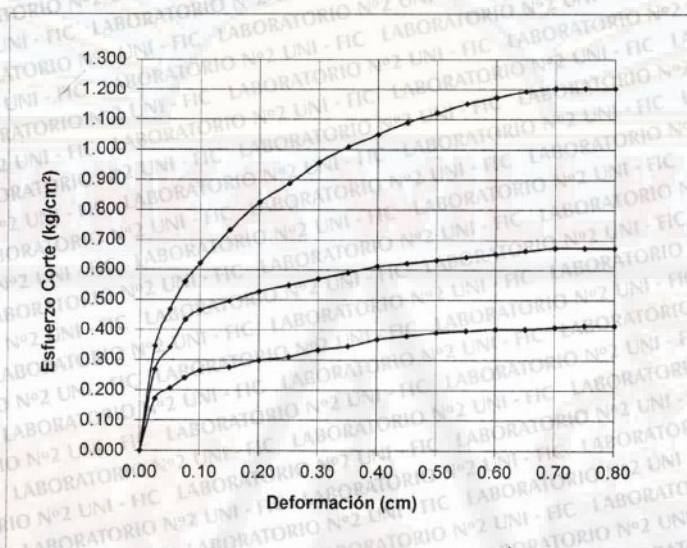
INFORME Nº S18 - 1015-1

SOLICITANTE : JERONIMO R. SANCHEZ CASTRO
PROYECTO : ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD MEDIANTE METODOS DE EQUILIBRIO LIMITE
PARA LA CARRETERA HUANCAMELICA - LIRCAY
UBICACIÓN : HUANCAMELICA - LIRCAY PROGRESIVA 02+700 AL 02+800
FECHA : 17 DE DICIEMBRE 2018

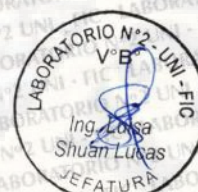
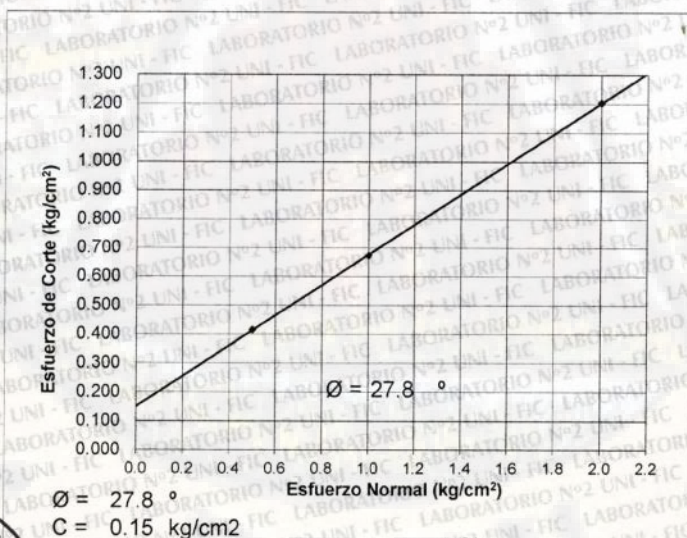
ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ASTM D3080

Estado : Remoldeado (material < Tamiz N° 4)
Calicata : PT-M1-01
Prof. (m.) : 0.20 - 0.50

DEFORMACIÓN TANGENCIAL vs. ESFUERZO DE CORTE



ESFUERZO NORMAL vs. ESFUERZO DE CORTE



Av. Túpac Amaru 210, Lima 25 - Perú
Teléfono: (511) 381-3842

e-mail: lms.servicios@uni.edu.pe, lms_fic@uni.edu.pe, www.lms.uni.edu.pe

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering
Technology
Accreditation
Commission

PANEL FOTOGRÁFICO

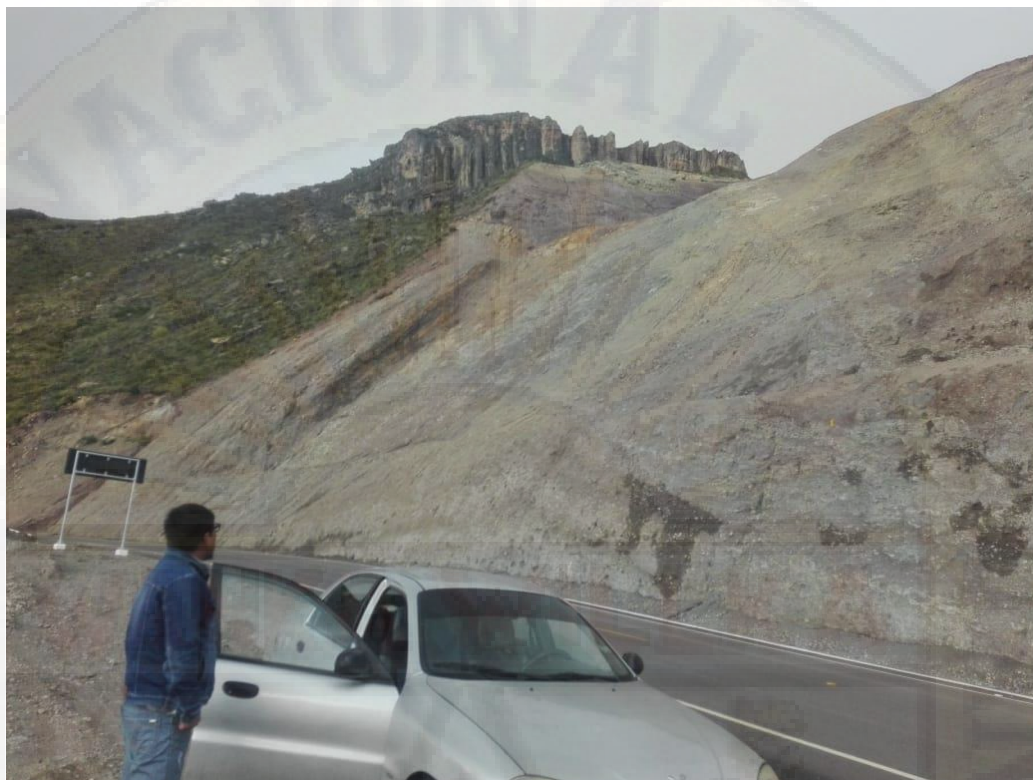


Foto N°1: Vista de la zona de estudio entre las progresivas Km 02+700 al Km 02+800

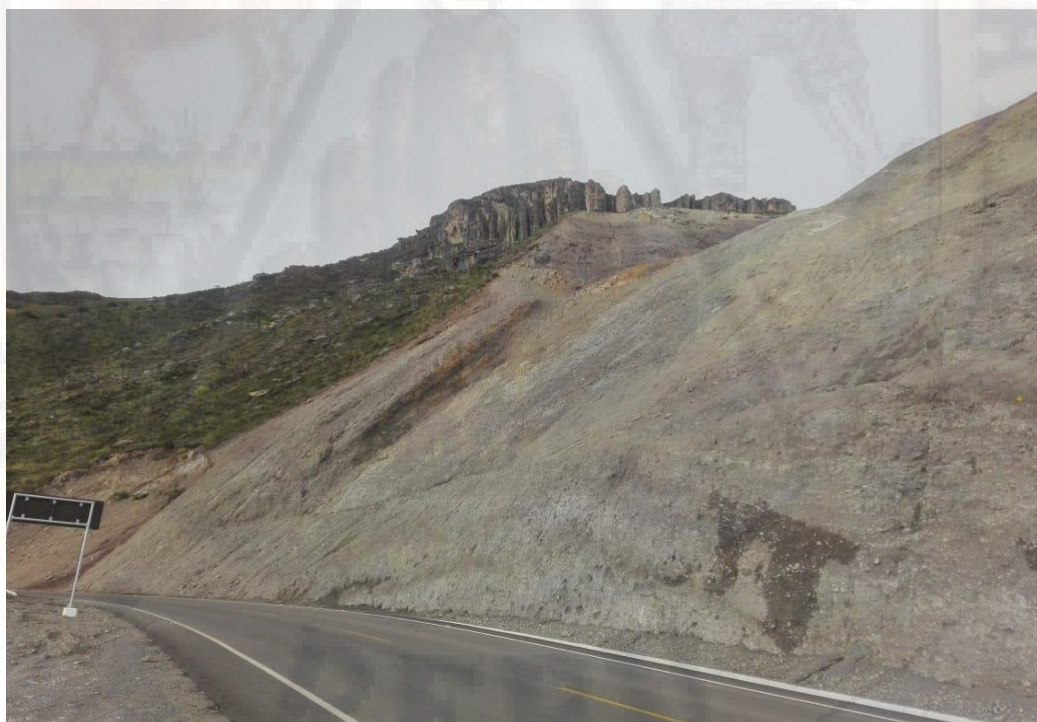


Foto N°2: Vista del talud de corte entre las progresivas Km 02+700 al Km 02+800



Foto N°3: Vista del talud de corte entre las progresivas Km 02+700 al Km 02+800

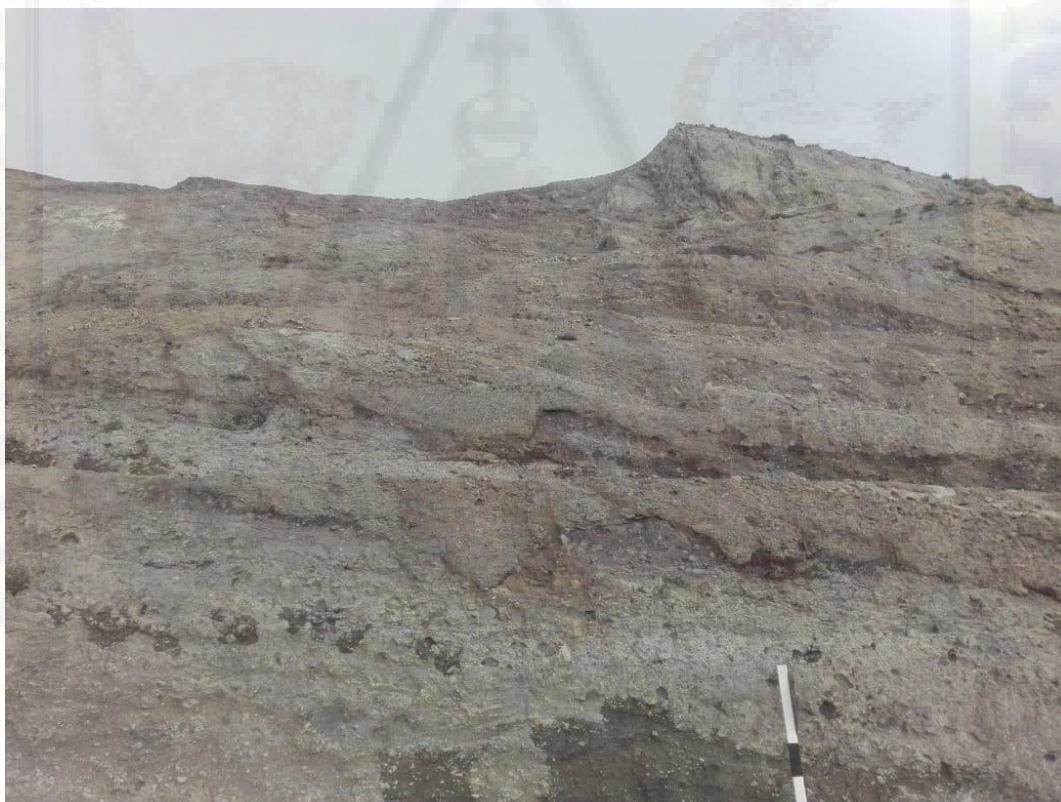


Foto N°4: Indicios de erosión y caída de materiales en el talud de corte



Foto N°5: Vista de las calizas de la Formación Chulec.



Foto N°6: Suelo arcillo-limoso a medio talud.



Foto N°7: ° Agrietamientos, roca en proceso de alteración a suelo residual por meteorización.



Foto N°8: Vista de la carrera desde el hombro del talud.



Foto N°9: Vista desde la ladera superior al talud.



Foto N°10: Vista desde la ladera superior al talud.



Foto N°11: Vista del Valle de Río Ichu