



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y ESTABILIDAD DE TALUDES EN
LADERAS DE ALTO RIESGO PARA EL PROYECTO MINERO
MUCUMAYO – UPINA**

TESIS

PRESENTADA POR:

JULIO CESAR MAMANI TAQUILA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO – PERÚ

2024



NOMBRE DEL TRABAJO

EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y ESTABILIDAD DE TALUDES EN LADERAS DE ALTO RIESGO PARA EL PROYECTO MINERO MUC

AUTOR

JULIO CESAR MAMANI TAQUILA

RECuento de palabras

19552 Words

RECuento de caracteres

111539 Characters

RECuento de páginas

138 Pages

Tamaño del archivo

13.0MB

Fecha de entrega

Sep 22, 2024 10:43 AM GMT-5

Fecha del informe

Sep 22, 2024 10:54 AM GMT-5

● **12% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 11% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)

Lucio Queá Gutiérrez
INGENIERO DE MINAS
CIP-126622
DOCENTE UNAP

Dr. Americo Arizaca Avalos
Director de la Unidad de Investigación
Facultad de Ingeniería de Minas

Resumen



DEDICATORIA

A mis queridos padres Sr. Ismael Mamani Oscoco y la Sra. Francisca Taquila de Mamani, quienes han sido mi soporte y motivación durante mi vida estudiantil hasta cumplir con este objetivo.

Julio Cesar Mamani Taquila



AGRADECIMIENTOS

A Dios, y a la Universidad Nacional del Altiplano Puno, por brindarme conocimientos científicos en diferentes materias.

A mis docentes por brindarme sus conocimientos y consejos durante mi vida estudiantil.

A mis queridos padres Sr. Ismael Mamani Oscoco y la Sra. Francisca Taquila de Mamani, por sus consejos y paciencia durante mi formación profesional.

Julio Cesar Mamani Taquila



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	17
ABSTRACT.....	18
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.	19
1.2.1. Pregunta general.	19
1.2.2. Preguntas específicas.	20
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
1.3.1. Objetivo general.....	20
1.3.2. Objetivos específicos.	20
1.4. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.	21
1.4.1. Hipótesis general.....	21
1.4.2. Hipótesis específicas.....	21



1.5. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO 21

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN 23

2.2. MARCO TEORICO 29

2.2.1. Evaluación geotécnica 29

2.2.2. Propiedades físico mecánica de los suelos 29

2.2.2.1. Granulometría 29

2.2.3. Límites de consistencia 31

2.2.3.1. Sistemas de clasificación de suelos 32

2.2.3.2. Propiedades físico mecánica de los suelos 35

2.2.3.3. Textura 35

2.2.3.4. Estructura 35

2.2.3.5. Tamaño 35

2.2.3.6. Color 36

2.2.3.7. Porosidad 36

2.2.3.8. Contenido de agua 36

2.2.3.9. Peso unitario del suelo 37

2.2.4. Método de evaluación geotécnica 37

2.2.5. Análisis e interpretación de datos 38

2.2.5.1. Modelización geotécnica 38

2.2.6. Talud o ladera 38

2.2.6.1. Partes de un talud 39

2.2.7. Deslizamientos 39



2.2.7.1. Falla por deslizamiento superficial	40
2.2.7.2. Movimiento del cuerpo de un talud	40
2.2.7.3. Falla por deslizamiento rotacional	41
2.2.7.4. Falla por traslación.....	41
2.2.7.5. Falla por flujo.....	42
2.2.8. Los movimientos en masa.....	42
2.2.8.1. Factores condicionantes y desencadenantes	42
2.2.9. Alternativas de estabilización de taludes	43
2.2.9.1. Modificación de la geometría	43
2.2.9.2. Zanja de coronación	44
2.2.9.3. Muros o elementos de contención.....	45
2.2.9.4. Hormigón proyectado en taludes	45
2.2.9.5. Pernos De Anclaje	46
2.2.9.6. Revegetación.....	46
2.2.10. Análisis de la estabilidad de taludes.....	46
2.2.11. Método de equilibrio límite.....	46
2.2.12. Factor de seguridad	47
2.2.13. Posibilidad de ocurrencia de eventos extremos.....	48
2.2.14. Métodos para el cálculo del FS	49
2.2.14.1. Análisis del talud infinito.....	49
2.2.14.2. Métodos de la masa total.....	50
2.2.14.3. Métodos de las rebanadas	51
2.2.14.4. Método ordinario o de Fellenius (Fellenius 1927).....	51
2.2.14.5. Método Bishop simplificado.....	52



2.2.14.6. Método Janbu generalizado (1968).....	53
2.2.14.7. Método de Spencer 1967.....	54
2.2.14.8. Procedimiento de Morgenstern y Price.....	55
2.2.15. Parámetros necesarios en el cálculo del equilibrio	56
2.2.15.1. Cohesión (c)	56
2.2.15.2. Ángulo de fricción interna (ϕ).....	57
2.2.15.3. Resistencias (σ , t).....	57
2.2.16. Teoría de Mohr Coulomb.....	58
2.2.17. Consideraciones dinámicas método pseudoestático-sismicidad	60
2.2.18. Análisis pseudoestático de taludes	60

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE ESTUDIO.....	62
3.1.1. Ubicación geográfica del estudio.....	62
3.1.2. Accesibilidad	62
3.2. DISEÑO METODOLOGICO.....	63
3.2.1. Enfoque de investigación.....	63
3.2.2. Nivel de la investigación.....	63
3.2.3. Método de la investigación.....	63
3.2.4. Diseño de investigación	64
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO	65
3.3.1. Población	65
3.3.2. Muestra	65



3.3.2.1. Método de muestreo.....	65
3.3.2.2. Criterio de muestreo.....	66
3.3.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	66
3.3.1.1. Técnica de recolección de datos.....	66
3.3.1.2. Instrumentos de recolección de datos	67
3.3.2. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	67
3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	67
3.4.1. Variable independiente	67
3.4.2. Variable dependiente	68
3.4.3. Etapas de investigación.....	68
3.4.3.1. Búsqueda de información.....	69
3.4.3.2. Verificación y muestreos en situ	69
3.4.3.3. Descripción geométrica del talud.....	70
3.4.3.4. Ensayos de muestras en laboratorio	70
3.4.4. Procesamiento de datos en gabinete	70
3.5. MATERIALES Y EQUIPOS DE INVESTIGACIÓN	71
3.5.1. Instrumentos y herramientas	71

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS	73
4.1.1. Parámetros geotécnicos.....	73
4.1.2. Excavación de calicatas	73
4.1.3. Ensayo de propiedades físicas	74



4.1.4. Ensayo de clasificación de suelos	75
4.1.5. Ensayos de corte directo	79
4.1.6. Hidrología	80
4.1.7. Determinación del (FS).....	81
4.1.7.1. Determinación de los FS	81
4.1.7.2. Análisis estático	82
4.1.7.3. Análisis pseudoestático	89
4.1.7.4. Zonificación Sísmica.....	89
4.1.8. Resumen general.....	96
4.1.9. Propuesta al talud inestable.....	96
4.1.9.1. Propuesta de estabilización para la sección del talud inestable	96
4.2. DISCUSIÓN	101
V. CONCLUSIONES.....	103
VI. RECOMENDACIONES.....	105
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106
ANEXOS.....	111

Área: Ingeniería de Minas

Tema: Mecánica de rocas, geomecánica y geotécnia

Fecha de sustentación: 03 de octubre de 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Orden de tamices de malla cuadrada.	30
Tabla 2 Características plásticas.	31
Tabla 3 Símbolos de identificación del sistema unificado.....	33
Tabla 4 Factores inherentes a la estabilidad de taludes.	43
Tabla 5 Coeficientes de seguridad a emplear en el análisis de estabilidad de taludes.	48
Tabla 6 FS.	49
Tabla 7 Valores de coeficiente k recomendados en el análisis pseudoestático.	61
Tabla 8 Coordenadas geográficas DATUM UTM WGS 84 ZONA 19.....	62
Tabla 9 Acceso al proyecto Mucumayo.....	62
Tabla 10 Operacionalización de variables.	68
Tabla 11 Especificaciones geotécnicas.	73
Tabla 12 Puntos de muestreo.	74
Tabla 13 Propiedades de índice calicata 01.	74
Tabla 14 Propiedades de índice calicata 02	75
Tabla 15 Análisis granulométrico de calicata 01.	76
Tabla 16 Clasificación calicata 01.	77
Tabla 17 Análisis granulométrico de calicata 02.	78
Tabla 18 Clasificación calicata 02	79
Tabla 19 Resultados de corte directo, calicata 01 y 02.	80
Tabla 20 Parámetros de simulación en el perfil 01.	82
Tabla 21 FS para el talud 01 en condiciones estáticas.	85
Tabla 22 Parámetros de simulación para el talud 02.	86



Tabla 23	FS para el talud 02 en condiciones estáticas.....	88
Tabla 24	Valores de coeficiente k recomendados en el análisis pseudoestático.	90
Tabla 25	FS para el perfil 01 en condiciones pseudoestáticas.....	93
Tabla 26	FS para el perfil 02 en condiciones pseudoestáticas.....	95
Tabla 27	Resumen de las condiciones de estabilidad del talud 01 y 02.	96
Tabla 28	Medidas planteadas para los cortes de sección.....	98
Tabla 29	Comparación de FS talud 01.....	101



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Carta de plasticidad de Casa Grande.	32
Figura 2 Sistema de clasificación de suelos de la AASHTO.	34
Figura 3 Nomenclatura de taludes.	38
Figura 4 Nomenclatura de laderas.	39
Figura 5 Indicadores de la presencia de un movimiento superficial (creep).	40
Figura 6 Nomenclatura de un deslizamiento.	41
Figura 7 Tipos de falla traslacional.	42
Figura 8 Métodos de estabilización.	44
Figura 9 Medidas de drenaje.	45
Figura 10 Muro de gaviones.	45
Figura 11 Diagrama de análisis, método del talud infinito.	50
Figura 12 Fuerzas que actúan en una superficie de rotura curva.	50
Figura 13 División en rebanadas de la masa de terreno.	51
Figura 14 Diagrama del método ordinario.	52
Figura 15 Esquema y diagrama de fuerzas.	53
Figura 16 Diagrama del factor f_0 utilizado en el método de Janbú.	53
Figura 17 Representación de las fuerzas.	55
Figura 18 Envolvente de Mohr Coulomb.	59
Figura 19 Envolvente de falla - criterio de rotura en suelos de Mohr Coulomb.	59
Figura 20 Análisis pseudoestático de una falla curva.	61
Figura 21 Etapas del desarrollo de la investigación.	69
Figura 22 Curva granulométrica calicata 01.	77
Figura 23 Curva granulométrica calicata 02.	79



Figura 24	Análisis estático del perfil 01 – Bishop Simplificado.	83
Figura 25	Análisis estático del perfil 01 – Método Morgensternprice.	83
Figura 26	Análisis estático del perfil 01 – Método Spencer.	84
Figura 27	Análisis estático del perfil 02 – Bishop Simplificado.	86
Figura 28	Análisis estático del perfil 02 – Método Morgensternprice.	87
Figura 29	Análisis estático del perfil 02 – Método Spencer.	88
Figura 30.	Mapa sísmico del Perú.	89
Figura 31	Análisis pseudoestatico perfil 01 – Bishop Simplificado.	91
Figura 32	Análisis pseudoestatico perfil 01 – Morgenstern-Price.	92
Figura 33	Análisis pseudoestatico perfil 01 – Spencer.	92
Figura 34	Análisis pseudoestatico perfil 02 – Bishop Simplificado.	93
Figura 35	Análisis pseudoestatico perfil 02 – Morgenstern-Price.	94
Figura 36	Análisis pseudoestatico perfil 02 – Spencer.	95
Figura 37	Forma natural del talud 01.	97
Figura 38	Forma modificada del talud 01.	98
Figura 39	Análisis estático del perfil 01 (Modificado) – Bishop Simplificado.	99
Figura 40	Análisis pseudoestático del perfil 01 (Modificado) – Bishop simplificado.	99
Figura 41	Análisis estático de los bancos generados, Bishop simplificado.	100



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1. Muestreo en calicata N° 01.....	111
ANEXO 2. Calicata N° 01.....	111
ANEXO 3. Perfil de talud N° 01	112
ANEXO 4. Muestreo en calicata N°02.....	112
ANEXO 5. Calicata N° 02.....	113
ANEXO 6. Perfil de talud N° 02	113
ANEXO 7. Muestras de suelo para contenido de humedad	114
ANEXO 8. Muestras de suelo parafinado	114
ANEXO 9. Ensayo de granulometría	114
ANEXO 10. Ensayo de limite liquido	115
ANEXO 11. Ensayo de limite plástico.....	115
ANEXO 12. Ensayo de corte directo.....	115
ANEXO 13. Ficha para determinar propiedades de índice	116
ANEXO 14. Ficha para determinar límites de consistencia.....	116
ANEXO 15. Ficha para determinar densidad in situ	117
ANEXO 16. Ficha para determinar la granulometría.....	118
ANEXO 17. Ficha para determinar permeabilidad	118
ANEXO 18. Mapa de ubicación.....	119
ANEXO 19. Plano topográfico.....	120
ANEXO 20. Mapa sísmico espectro de diseño NTE E.030	121
ANEXO 21. Sistema SUCS	122
ANEXO 22. Ensayos de laboratorio.....	123



ACRÓNIMOS

FS:	Factor de seguridad
NTP:	Norma técnica peruana
ASTM:	<i>American Society for Testing and Materials</i>
AASHTO:	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
SUCS:	<i>Unified Soil Classification System</i>
GPS:	<i>Global Position System</i>
WGS84:	Sistema geodésico mundial 1984
UTM:	<i>Universal Transversal de Mercator</i>
LL:	Límite líquido
LP:	Limite plástico
IP:	Índice de plasticidad
DG:	Diseño geométrico
MTC:	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
DS:	Decreto Supremo
UNA:	Universidad Nacional del Altiplano
m:	Metros
”:	Pulgadas



RESUMEN

El presente estudio se realizó dentro del proyecto minero Mucumayo, donde se tienen taludes y vías inseguras, dichas características generan problemas de inestabilidad con posibles deslizamientos. El objetivo principal de este estudio fue evaluar geotécnicamente los taludes para determinar su estabilidad. Por lo tanto, se realizó la caracterización geotécnica considerando las propiedades físicas y mecánicas del suelo, datos que nos permitieron conocer las condiciones de estabilidad de los taludes. El método de investigación tuvo un enfoque cuantitativo, y un diseño descriptivo no experimental. Para el estudio se realizó la toma de datos en campo y muestreos para posteriormente realizar los ensayos en laboratorio, y a partir de los resultados obtenidos, estos se procesaron mediante el método de equilibrio límite. Se tomaron dos taludes críticos a nivel observacional para su análisis, se utilizó el método de Bishop Simplificado, Morgenstern Price y Spencer, con los cuales se logró obtener en el talud 01 un FS mayor a 1.5 en condición estática, y también mayor a 1 en condición pseudoestática, donde dicho talud presenta una altura de 53.9 m y un ángulo de 37° . En el talud 02 se obtuvo un FS mayor a 1.5 en condición estática y 1.25, en condición pseudoestática dicho talud presenta una altura de 62 m y un ángulo de 32° . Al obtener estos resultados se concluye que el talud 01 y el talud 02 son estables y seguros. Por lo tanto, se logró determinar las condiciones de estabilidad del talud 01 y del talud 02.

Palabras Clave: Evaluación, Estabilidad de talud, FS, Riesgo, Suelo.



ABSTRACT

This study was conducted within the Mucumayo mining project, where there are unsafe slopes and roads. These characteristics lead to instability issues with potential landslides. The primary objective of this study was to geotechnically evaluate the slopes to determine their stability. Therefore, a geotechnical characterization was performed, considering the physical and mechanical properties of the soil. This data allowed us to assess the stability conditions of the slopes. The research method had a quantitative approach and a non-experimental descriptive design. Data collection was carried out in the field, along with sampling for subsequent laboratory testing. Based on the results obtained, these were processed using the limit equilibrium method. Two critical slopes were selected for observational analysis: Slope 01 and Slope 02. The Simplified Bishop method, Morgenstern-Price method, and Spencer method were used for the analysis. For Slope 01, a Factor of Safety (FS) greater than 1.5 was achieved under static conditions, and greater than 1 under pseudo-static conditions, where this slope has a height of 53.9 m and an angle of 37°. For Slope 02, an FS greater than 1.5 was obtained under static conditions and 1.25 under pseudo-static conditions; this slope has a height of 62 m and an angle of 32°. Based on these results, it is concluded that both Slope 01 and Slope 02 are stable and safe. Thus, the stability conditions of Slope 01 and Slope 02 were successfully determined.

Keywords: Evaluation, Slope stability, FS (Factor of Safety), Risk, Soil.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En diversas regiones del Perú la estabilidad de taludes es un factor crítico para la seguridad de estructuras y para la prevención de desastres naturales. La evaluación de taludes es indispensable para la mitigación de riesgos y garantizar la seguridad del personal y estructuras. El principal problema radica en la necesidad de conocer la condición de estabilidad de los taludes, para así comprender el comportamiento de los mismos, y prever posibles fallas.

El proyecto minero requiere el diseño de taludes bajo condiciones de seguridad óptimas, para la ampliación de sus componentes, para lo cual se requería información de parámetros geotécnicos, los cuales son esenciales para un estudio de estabilidad de taludes.

Para proponer un diseño de estabilidad de taludes fue necesario conocer y tener en cuenta las diversas características del talud como es la geometría del talud, ángulo de inclinación, altura, el tipo de material, ángulo de fricción interna, densidad y cohesión, a partir de estos datos se logró conocer el FS.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

1.2.1. Pregunta general.

- ¿Cómo se determina la condición de estabilidad de los taludes en laderas de alto riesgo para el proyecto minero Mucumayo - Upina?



1.2.2. Preguntas específicas.

- ¿Cuál es la caracterización de los taludes del proyecto minero Mucumayo - Upina?
- ¿Cuál es el FS de los taludes en el proyecto minero Mucumayo - Upina?
- ¿Cuál es la propuesta de estabilización adecuada para los taludes en el proyecto minero Mucumayo - Upina?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

1.3.1. Objetivo general.

- Realizar una evaluación geotécnica para la estabilidad de taludes en laderas de alto riesgo para el proyecto minero Mucumayo - Upina.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Determinar las características geotécnicas del suelo, para la estabilidad de taludes en laderas de alto riesgo para el proyecto minero Mucumayo – Upina.
- Determinar el FS de los taludes a través de los parámetros geotécnicos del suelo para el proyecto minero Mucumayo – Upina.
- Proponer una alternativa de estabilización para los taludes inestables en el proyecto minero Mucumayo – Upina.



1.4. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

1.4.1. Hipótesis general

- Mediante la evaluación geotécnica se determina las condiciones de estabilidad de los taludes en laderas de alto riesgo para el proyecto minero Mucumayo – Upina.

1.4.2. Hipótesis específicas

- Las características geotécnicas son favorables para lograr las condiciones de estabilidad de los taludes en el proyecto minero Mucumayo.
- Los FS son aceptables para garantizar la estabilidad de los taludes del proyecto minero Mucumayo.
- El cambio geométrico del talud es el más viable para la estabilización de los taludes en el proyecto minero Mucumayo.

1.5. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El presente proyecto de investigación se fundamenta en la necesidad activa de ahondar en la evaluación geotécnica de taludes, abarcando tanto los aspectos teóricos como prácticos que influyen en su estabilidad. La importancia de este estudio radica en la contribución al desarrollo de metodologías para la evaluación y gestión del riesgo geotécnico asociado a taludes.

En este contexto, el presente trabajo de investigación se orienta hacia la generación de conocimiento científico aplicable, mediante la compilación y análisis de datos geotécnicos adecuados, la aplicación de modelos numéricos y la validación con casos de estudio reales.



Además, es relevante ya que nos permite entender de mejor forma el comportamiento de los taludes en base a los rasgos geométricos, y geotécnicos del sitio de estudio. A la vez, la obtención de resultados del presente estudio, podrán utilizar como guía y base para próximas investigaciones referidas al tema.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Monrroy (2023), en su estudio menciona que, en proyectos de ingeniería civil y minera, el diseño de taludes es fundamental ya que estos sufren procesos de erosión natural o artificial los cuales afectan a la seguridad y estabilidad de los mismos, en su metodología de estudio emplea la revisión de estudios recientes con el fin de comprender los principios de la evaluación de taludes, para ello también recolecta muestras del suelo para poder analizar las características mecánicas que este posee mediante ensayos de corte en laboratorio. Con los datos obtenidos llevó a cabo simulaciones, considerando todas las variables usando modelos numéricos, como el ángulo, altura, cargas distribuidas entre otros, con el fin de lograr comprender el comportamiento del talud. Con el propósito de cumplir con los objetivos planteados, los análisis que se realizan son mediante el análisis de equilibrio límite y la modelación 2d utilizando el software Slide V6.005 cuyo programa se usa para el estudio de estabilidad de taludes en 2D, y el programa RS2 8.0 la cual está enfocado en el análisis de esfuerzo-deformación, soporte y estabilidad en excavaciones 2D. En sus resultados menciona que es fundamental reforzar la posición central de cada talud para lograr un FS de 1.5 % en promedio y un máximo de 3.7 %. En sus conclusiones menciona que es fundamental conocer las características del área del estudio para comprender mejor la estabilidad de los taludes.

Blas (2023), en su investigación sobre la caracterización geotécnica, para determinar el modelo de estabilización de talud, desarrolla como primer eje la descripción de los materiales del talud a través de la caracterización geotécnica. La finalidad es obtener el FS del talud natural y el talud estabilizado a escala reducida. Por otro lado,



desarrolla ensayos en laboratorio (análisis granulométrico, índices de plasticidad, contenido de humedad, pesos específicos) y especiales (corte directo para lograr obtener el ángulo de fricción interna de los materiales y la cohesión), de tal forma logra obtener las características geotécnicas de los taludes del tramo crítico, además desarrolla un análisis comparativo de los taludes para determinar la variación de los FS. Como resultados obtuvo un peso específico de 16.9, ángulo de fricción interna de 32.31° y una cohesión de 17.65 KN/m^2 , respecto al talud natural en el tramo menos crítico se determinó un $FS=1.077$ y para el tramo crítico un $FS=0.86$. En el talud estabilizado respecto al talud natural en el tramo más crítico se obtuvo un $FS=1.20$.

López (2023), en su investigación de la evaluación geotécnica de sostenimiento de taludes en suelos gravosos del proyecto Midtown, presenta el reto de lograr sostener taludes ante excavaciones masivas verticales con linderos que colindan con edificaciones. En su trabajo de investigación, tiene como objetivo evaluar geotécnicamente el comportamiento del talud y realizar una evaluación a la estabilidad del mismo, mediante el método de equilibrio límite y el método de elementos finitos. Se inicia con la descripción del proyecto para posteriormente dimensionarlo, además calcula las longitudes y cantidades guiándose con la norma E.050, posterior a ello realiza el modelamiento con el software Slide para lograr determinar la estabilidad global del talud y calcular el FS. Finalmente analiza los resultados obtenidos, de tal forma logra calcular el $FS=1.59$ en condición estática mediante el método de equilibrio límite.

Durand (2022), presenta el problema de derrumbes y zonas altamente riesgosas asociada a deslizamientos en el sector Lomo de Corvina. La investigación se realizó de manera determinística y probabilística. Se utilizó el software Slide para evaluar el talud en estudio, y como instrumento la norma E.050 de suelos y cimentaciones. Se realizó una investigación descriptiva, explicativa y correlacional con nivel descriptivo y un diseño



experimental. Por otro lado, se consideraron aspectos como la unidad de observación (taludes) y la unidad de análisis (análisis probabilístico y determinístico), se evaluó el talud considerando las características geotécnicas del suelo: Angulo de fricción, cohesión, y peso específico. Los métodos empleados fueron Bishop Simplificado, Janbu Simplificado, Janbu corregido y Spencer de manera estática obteniendo como resultados 0.623, 0.613, 0.627 y 0.629 y en condición pseudoestática, valores de 0.423, 0.415, 0.424 y 0.42, como resultado se obtuvo un FS menor a 1, por lo tanto, se concluye que el talud es inestable.

Alpaca & Cahuana (2022), en su investigación busca realizar la evaluación geotécnica de los taludes ya que presenta problemas de inestabilidad y deslizamientos, por lo tanto, busca analizar la estabilidad de talud y proponer una forma de estabilización que garantice un FS adecuado. Para lograr sus objetivos realiza el reconocimiento de campo e identificación de los taludes críticos, posteriormente realiza los sondajes verticales y la excavación de calicatas para extraer muestras de suelo, con los que se realiza ensayos de laboratorio para así conocer las propiedades físico mecánicas de los materiales presentes. Para la obtención del FS y análisis de estabilidad se empleó el método de equilibrio limite, obteniendo un FS máximo de 1.35, concluyendo que el talud es inestable basándonos en la norma CE020 “estabilización de suelos y taludes”. Por lo tanto, plantea la estabilización mediante la modificación de la geometría incluyendo muros de contención (gaviones) y un sistema de drenaje, de esta forma logrando obtener un FS de 1.50.

Hospinal (2020), evalúa el talud del tramo km 27+000 km 29+000 de la carretera Mollepata – Pallasca con el objetivo de dar solución de estabilidad de talud, para tal estudio considera parámetros de suelo, sismo, clima y accesibilidad a la zona. Se realiza un modelado en el Software Slide 6.0 para analizar el talud natural y el talud con el



sistema *Soil Nailing* en condiciones estáticas y pseudo estáticas, se consideró 3 m de profundidad para el muestreo. Como conclusión se observa que el talud natural es inestable con un FS menor a 1.5 en condición estática y menor a 1.25 en condición sísmica por lo tanto se tomó como solución el *soil nailing*.

Carpio (2020), en el distrito de Llusco Chumvibilcas Cusco se presenta zonas muy inestables donde se ha materializado diversos tipos de remoción de taludes, por lo que se considera un sector vulnerable. El trabajo de investigación involucra la estabilidad de taludes naturales, para lo cual se realizó un mapeo geológico – geotécnico donde se identificó indicadores de posibles deslizamientos, además se realizó calicatas para ensayos *in situ* y laboratorio como el corte directo, límites de Atterberg, ensayo de DPL, ensayo de granulometría y el cono de arena. Se utilizó el método de Morgenstern Price ejecutado en el Software de rocscience 6.0, dicho análisis se realizó con el criterio de rotura de Mohr – Coulomb. El análisis se realizó en condiciones estáticas y pseudoestáticas considerando una aceleración de 0.11g y 0.17g. Se concluye que el principal problema de inestabilidad en la zona de estudio es debido a la sismicidad y sumado el nivel freático, y la solución es la modificación geométrica de los taludes construcción con banquetas y muros de contención.

Bustamante & García (2018), en el trabajo de investigación se evalúa el FS correspondiente al talud, tomando en cuenta la forma del relieve, estudios realizados sobre la infiltración y parámetros mecánicas del tipo de suelo. Para dicho estudio emplea el reconocimiento en campo y describe las propiedades de los suelos sin alteración alguna, donde para conocer el FS se tuvo que evaluar tres tramos de acuerdo a las superficies presentes del talud usando el método Bishop Simplificado, previa investigación se determinó que fue una falla circular, este trabajo de investigación se desarrolló con un enfoque del tipo Cuantitativo, de nivel descriptivo Correlacional, de diseño de



investigación no experimental y un método de investigación Hipotético deductivo. Se realizó el cálculo del FS mediante la aplicación del Método Bishop Simplificado, determinando finalmente que el talud era inestable. Por ende, para la estabilización se propuso el método de estabilización con gaviones. para el cálculo de la estabilidad de taludes se aplicó el método de Bishop Simplificado, pero nos recomienda usar nuevas metodologías para el cálculo del FS.

Torres (2019), menciona que debido a los constantes deslizamientos en la carretera Monteseco, distrito de Catache surge la necesidad de elaborar la investigación de inestabilidad basándose en las fallas, topografía y tipo de relieve para lograr obtener las características y propiedades del talud. La metodología empleada es descriptiva no experimental, para dicho estudio considera realizar los ensayos de muestras de suelo para lograr determinar las características, además considera que uno de los factores de inestabilidad son las precipitaciones pluviales, las mismas que fueron analizadas por 4 años por el SENAMHI, el análisis de estabilidad de talud se desarrolló por el método de equilibrio límite donde se considera las propiedades del suelo y la geometría del talud, obteniendo como resultado un $FS < 1.50$. lo cual según el reglamento nacional de edificaciones CE 0.20 “Estabilización de suelos y taludes” se concluye que el talud es inestable por lo que requiere un sistema de estabilización por gaviones en el pie del talud.

Sackschewski (2017), en su estudio de taludes del tramo Canta- Huayllay ubicado en la provincia de Lima presenta riesgo de inestabilidad, por lo cual plantea como hipótesis para el control de inestabilidad la reconfiguración de los taludes y por otro lado el control de las filtraciones de agua, para tal fin la metodología empleada es de tipo experimental, donde recopila información, realiza observaciones geológicas y geotécnicas, ensayos in situ de suelo y roca, a la vez ensayos en laboratorio y trabajo en gabinete. Se utiliza el método Bishop simplificado empleando la herramienta Slide 6.0 programa que también



se utilizó para el cálculo de FS del talud, los cálculos se realizan por los criterios de rotura de Mohr-Coulomb para suelos y para rocas el criterio Hoek & Brown generalizado, concluyendo que la inestabilidad surge a partir de la mala excavación y la infiltración de agua existente, además recomienda que la instalación de cunetas de coronación y la revegetación.

Mendoza (2016), en su trabajo de investigación menciona que en el análisis de estabilidad de taludes de suelo de gran altura en la mina Antapaccay, el problema son los taludes de gran altura. Desarrolla un trabajo descriptivo en mecánica de suelos, estabilidad de taludes y sismicidad. Uno de sus principales objetivos es hallar el FS y por lo tanto determinar los parámetros en razón a diseños en taludes de 100 m de altura. Desarrolla el análisis en bancos y globalmente, para así determinar el FS. Concluye que para el análisis se debe considerar todos los estratos por otro lado obtuvo como resultado un FS de 1.002. Los estudios ejecutados son realizados por equilibrio límite y se usa el software Slide v6.0. además, en una de sus conclusiones menciona que la condición de estabilidad será de acuerdo a las características geotécnicas que presentan los materiales, a la vez se menciona que podría existir el riesgo de licuefacción, debido a los estratos de arena dentro del talud y la presencia de agua.

Lopez (2016), en el estudio geotécnico y diseño del talud final de una mina a cielo abierto aplicando modelos numéricos, el principal problema que aborda es la concepción y diseño de minas a cielo abierto. La metodología empleada es no experimental ya que describe las características de los materiales. Se tiene como objetivo general diseñar y analizar la estabilidad del talud final este de la mina, y propone que con un ángulo correcto se lograra la estabilidad del talud, a la vez menciona que, para el análisis de estabilidad de superficies deslizantes se utilizó el criterio del segmento vertical (dovelas). Para su análisis emplea el método de equilibrio límite la cual es un análisis numérico lo cual



consiste en la división del terreno en elementos finitos con el objetivo de analizar el talud, además nos señala que las formas de prevención y corrección de inestabilidades es por el sistema de revegetación, anclaje y sistemas basados en mallas de alambre. Para tal estudio se emplea el método de equilibrio limite, además el tipo de suelo identificado permitió determinar los parámetros para verificar la estabilidad del talud con la finalidad de establecer medidas de control, posteriormente se realiza el análisis numérico entre la interacción del terreno y el esfuerzo, finalmente se analiza el talud con y sin esfuerzos sometidos en distintos grados de erosión.

2.2. MARCO TEORICO

2.2.1. Evaluación geotécnica

La evaluación geotécnica en suelos se centra en determinar las propiedades físicas, mecánicas y geológicas del suelo para evaluar su comportamiento frente a cargas, movimientos y otras condiciones ambientales. El objetivo principal es proporcionar información crucial para el diseño seguro y eficiente de estructuras geotécnicas como cimientos, terraplenes, excavaciones, entre otros (Suarez, 1998).

2.2.2. Propiedades físico mecánica de los suelos

2.2.2.1. Granulometría

El análisis granulométrico es la clasificación del suelo para uso técnico y se toma universalmente. El objetivo principal es distribuir las partículas de la muestra (suelo) en un orden de acuerdo a su tamaño, para luego ser clasificados por los sistemas SUCS O AASHTO (Bowles, 1982).

- **Coefficiente de uniformidad.** Nos indica el rango de los tamaños de los granos presentes, los cuales se calculan numéricamente para la curva de tamaños de los granos, para la fracción mayor que la malla N°. 200, el parámetro C_u indica que los diámetros D_{60} y D_{10} varían en tamaños apreciables (Bowles, 1982).

$$C_u = D_{60}/D_{10} \quad (1)$$

D_{60} es el tamaño donde el 60% del peso del suelo sea igual o menor
 D_{10} es el tamaño que es superior o igual que el 10% en peso.

Para los suelos con C_u que son < 3 se consideran muy uniformes e inclusive las arenas naturales demasiado uniformes presentan un $C_u < 2$ (Bowles, 1982)

- **Coefficiente de concavidad.** Indica la medida de la forma de la curva entre el D_{60} y el D_{10} .

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}} \quad (2)$$

Tabla 1

Orden de tamices de malla cuadrada.

Tamices	Abertura (mm)
3"	75,000
2"	50,800
1 1/2"	38,100
1"	25,400
3/4"	19,000
3/8"	9,500
N°4	4,760
N°10	2,000
N°20	0,840
N°40	0,425
N°60	0,260
N°140	0,106
N°200	0,075

Nota. Orden de tamices (MTC, 2016)

2.2.3. Límites de consistencia

- **Límite de líquido (LL)**

Se define como el límite arbitrario de contenido de humedad donde el suelo está a punto de pasar de un estado plástico a un estado líquido, en este límite, el suelo tiene un pequeño valor de resistencia al corte, perdiendo su propiedad de fluir como líquido (Venkataramaiah, 2006).

- **Límite de plástico (PL)**

Es el límite arbitrario de contenido de agua por el cual el suelo tiende a pasar del estado plástico al estado de consistencia semisólida. Por lo tanto, es el mínimo contenido de agua que cambia de forma el suelo (Venkataramaiah, 2006).

- **Índice plástico (IP)**

La diferencia de los valores entre el límite líquido y límite plástico (Tabla 2) (Bustamante & García, 2018).

$$IP = LL - LP \quad (3)$$

Tabla 2

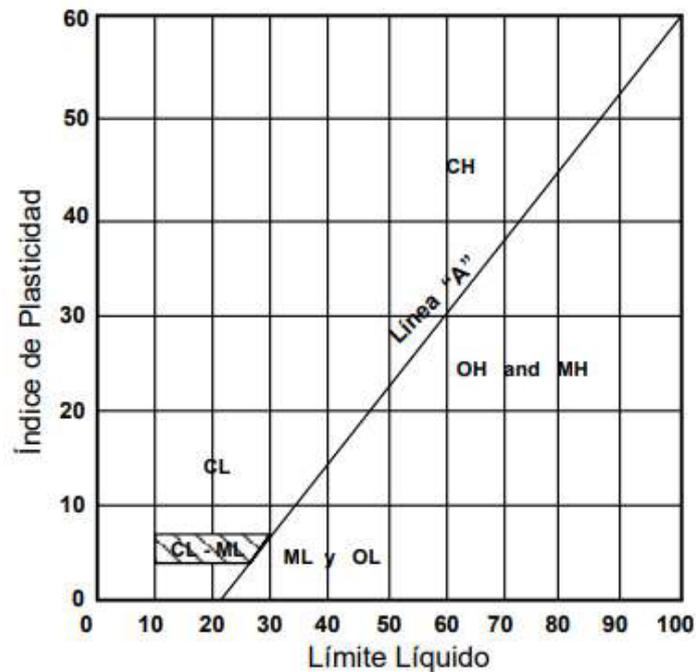
Características plásticas.

Índice de Plasticidad	Plasticidad
0	No plástico
1 a 5	Leve
5 a 10	Bajo
10 a 20	Medio
20 a 40	Alto
>40	Muy alto

Nota. Descripción de plasticidad (Venkataramaiah, 2006).

Figura 1

Carta de plasticidad de Casa Grande.



Nota. Índice de plasticidad vs limite liquido (MTC, 2017).

2.2.3.1. Sistemas de clasificación de suelos

Para conocer el comportamiento, tamaño y composición, los suelos podemos clasificar basándonos en agrupaciones y correlaciones utilizando un sistema, metodología de clasificación que defina y analice las propiedades del suelo. Hay dos sistemas de clasificación de suelos de uso común para propósitos de ingeniería (Borselli, 2017).

A. Sistema SUCS

Este sistema de clasificación reconoce tres divisiones principales de suelo: suelo con grano grueso, suelo de grano fino y suelo altamente orgánico. Actualmente estandarizado por la norma (Borselli, 2017).

Los suelos de un sistema unificado se designan por un símbolo de dos letras: la primera, considera el principal componente de tiene la tierra, y el segunda indica informaciones de la curva granulométrica o características de plasticidad (Tabla 3) (Borselli, 2017).

Tabla 3

Símbolos de identificación del sistema unificado.

Símbolo	Nombre
G	Grava
S	Arena
M	Limo
C	Arcilla
O	Orgánico
P	Turba
H	Alta plasticidad
L	Baja plasticidad
W	Bien graduado
P	Mal graduado

Nota. Simbología para la nomenclatura de cada material (Borselli, 2017).

Las normas específicas para la clasificación se describen detalladamente en la norma ASTM D2487.

B. Sistema de la AASHTO

En el sistema de clasificación AASHTO, el suelo se logra clasificar en 7 principales grupos: A-1 a A-7. Los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares, donde el 35% de las partículas o menos pasan a través del tamiz # 200 (DAS, 2013).



$$GI = (F200 - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F200 - 35)(IP - 10) \quad (4)$$

Dónde:

F200= % que pasa la malla N°200.

LL= Límite Líquido

IP= Índice de plasticidad

Figura 2

Sistema de clasificación de suelos de la AASHTO.

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)						
	A-1			A-2			
Grupo de clasificación	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10	50 máx.						
Núm. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
Núm. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción de paso núm. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Limo o grava arcillosa y arena			
Clasificación general de la subrasante	Excelente a bueno						

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6†
Grupo de clasificación				
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)				
Núm. 10				
Núm. 40				
Núm. 200	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción de paso núm. 40				
Límite líquido		40 máx.	41 mín.	40 máx.
Índice de plasticidad		10 máx.	10 máx.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Clasificación general de la subrasante	Regular a malo			

*Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$

†Para A-7-6, $PI > LL - 30$

Nota. Clasificación de materiales (Das, 2013).



2.2.3.2. Propiedades físico mecánica de los suelos

Las propiedades físicas del suelo están determinadas en gran medida por los minerales que lo componen las partículas del suelo, como estructura, textura, tamaño, color, consistencia y porosidad (Suarez, 1998).

2.2.3.3. Textura

Son las cantidades de partículas de diversos tamaños que contiene el suelo y estas se clasifican de acuerdo con su tamaño en cuatro grupos denominados en orden descendente como grava, arena, limo y arcilla (Suarez, 1998).

- Arenoso. Partículas visibles y se sienten al tacto al tomar un poco en las manos se observa que no existe cohesión por lo tanto tiende a desmoronarse.
- Arcilloso. Son moldeables y se pueden formar bolillas.
- Limoso. Se presenta características intermedias entre arcilloso y arenoso.

2.2.3.4. Estructura

Las partículas del suelo tienden a agruparse en conglomerados de diferente forma y tamaño que se conocen como agregados y determinan la estructura del suelo (Suarez, 1998).

2.2.3.5. Tamaño

Los suelos tienen diferentes proporciones de sus elementos constituyentes, por lo que se hace necesaria su clasificación mediante una



granulometría la cual consiste en hacer pasar los diferentes tamaños de partículas a través de una serie de mallas que van de mayor a menor luz (Suarez, 1998).

2.2.3.6. Color

Es la característica base para el diagnóstico de otras características que influyen en la manera de cómo se utilizara y manejara el suelo en estudio, por lo general los suelos muestran diversas tonalidades y este se aclara a mayor profundidad (Suarez, 1998).

2.2.3.7. Porosidad

Es la relación del volumen de vacíos entre el volumen de la muestra de suelo (Das, 2013).

$$n = \frac{V_v}{V} * 100 \quad (5)$$

Donde:

V_v = Volumen de vacíos

V = Volumen total de la muestra

2.2.3.8. Contenido de agua

El contenido de humedad de una masa de suelo se define como la relación entre el peso del agua y el peso de los sólidos (Peso seco) de la masa del suelo, se representa por el símbolo de la letra w y se expresa comúnmente como un porcentaje, definida por la formula (Das, 2013):



$$n = \frac{V_w}{V_s} * 100 \quad (6)$$

Donde:

W_w = peso del agua

W_s = peso del suelo seco

2.2.3.9. Peso unitario del suelo

Está definido como el peso por unidad de volumen de la masa de suelo, que se indica por el símbolo de la letra γ (Das, 2013).

$$Y_s = \frac{W_s}{V_s} * 100 \quad (7)$$

Donde:

W_s = Peso del suelo seco

V_s = volumen del suelo

2.2.4. Método de evaluación geotécnica

- **Sondeo y muestreo:** toma de muestras para análisis de laboratorio.
- **Ensayos In Situ:** determinación de propiedades geotécnicas directamente en el terreno (penetración estándar, presión de poros, etc.).
- **Ensayos en laboratorio:** determinación de límites de consistencia, granulometría, ensayos de corte directo que se usan para determinar los parámetros de resistencia al corte.

2.2.5. Análisis e interpretación de datos

2.2.5.1. Modelización geotécnica

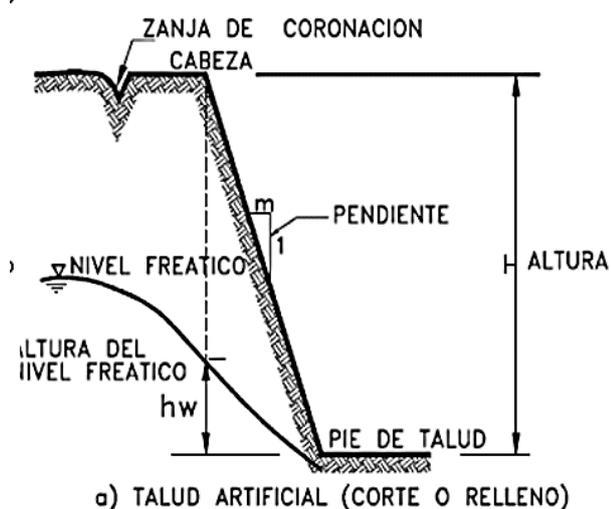
Consta en evaluar el talud ante diferentes condiciones y posteriormente interpretar los resultados.

2.2.6. Talud o ladera

Es un volumen de tierra que tiene pendiente o variaciones en sus alturas significativas. Se define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y se denomina talud cuando se conformó artificialmente. Toda ladera que se ha mantenido estable durante años estos pueden fallar en forma imprevista debido a la alteración topográfica, sismicidad, o cambios en la resistencia del suelo, por flujos de agua subterránea, meteorización superficial o factores de tipo antrópico o natural (Suarez, 1998).

Figura 3

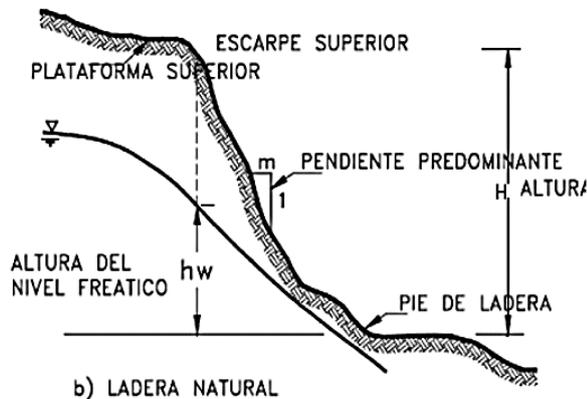
Nomenclatura de taludes.



Nota. Partes de un talud (Suarez, 1998).

Figura 4

Nomenclatura de laderas.



Nota. Partes de un talud (Suarez, 1998).

2.2.6.1. Partes de un talud

- **Pendiente.** Es la distancia de la inclinación de un talud. Estos son medidos en grados o porcentajes.
- **Altura.** Es la distancia vertical desde el pie del talud hasta la cabeza.
- **Altura del nivel freático.** Es la distancia vertical desde el pie del talud hasta el nivel de agua medida por debajo de la cima del talud.
- **Pie.** Es la parte inferior del talud.
- **Cabeza o escarpe.** Se refiere al área de cambio de la pendiente en la fracción superior de un talud.

2.2.7. Deslizamientos

Se refiere al movimiento cuesta abajo y rotura del suelo, lo que hace que toda la masa conjunta se mueva (Matteis, 2003).

Los tipos más comunes de fallas de taludes son:

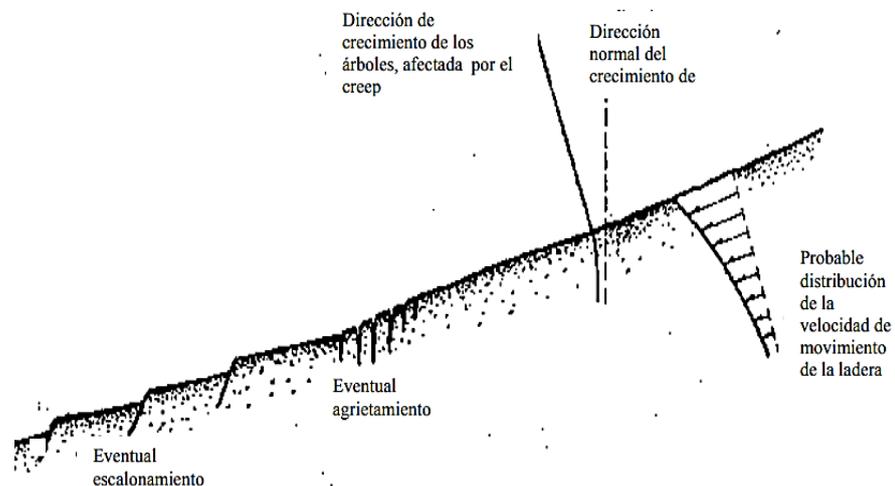
- Deslizamientos superficiales (creep)
- Movimiento del cuerpo del talud
- Flujos

2.2.7.1. Falla por deslizamiento superficial

La falla es un proceso regularmente continuo y generalmente lento. Los deslizamientos de tierra que ocurren en algunas zonas superficiales con pendientes naturales. El creep suele cubrir grandes áreas e implica movimiento de superficie, sin una transición brusca entre la superficie en movimiento y las masas estacionarias más profundas (Figura 5). (Matteis, 2003)

Figura 5

Indicadores de la presencia de un movimiento superficial (creep).



Nota. Comportamiento de una falla (Matteis, 2003)

2.2.7.2. Movimiento del cuerpo de un talud

Los taludes experimentan movimientos bruscos donde una falla penetra profundamente en su cuerpo. La falla se forma cuando actúan

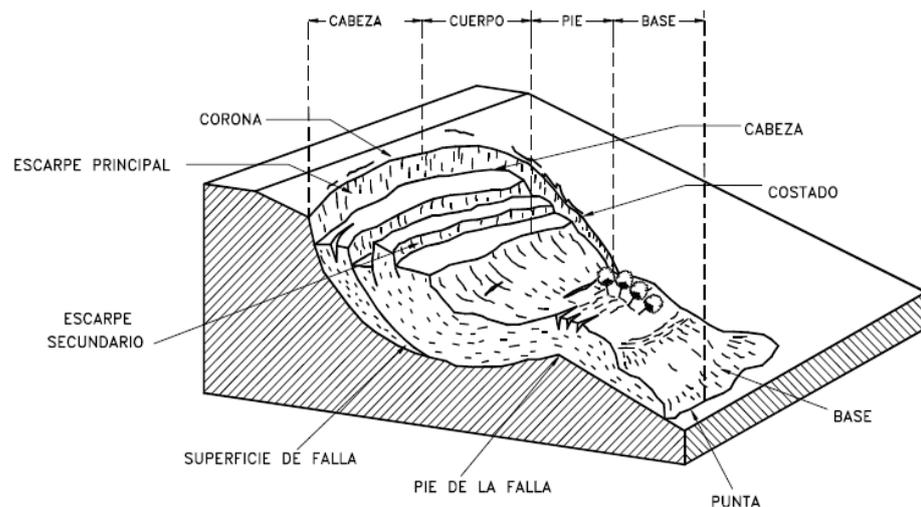
fuerzas cortantes que exceden la resistencia al corte del material; por lo tanto, se produce la falla, creando en la superficie un deslizamiento de tierras. Son de dos tipos (Matteis, 2003).

2.2.7.3. Falla por deslizamiento rotacional

Esta falla se presenta mediante una falla curva en la superficie, a lo largo de la cual se origina el deslizamiento del talud (Figura 6) (Rico, 2005).

Figura 6

Nomenclatura de un deslizamiento.



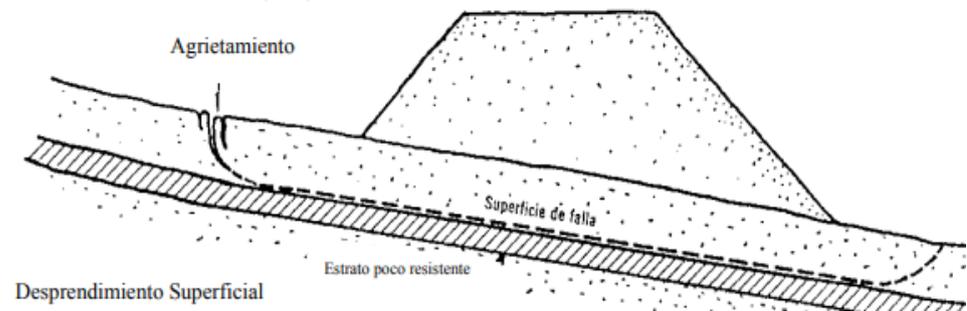
Nota. Partes de un deslizamiento (Suarez, 1998).

2.2.7.4. Falla por traslación.

Consiste en un desplazamiento traslacional paralela de una masa sobre la superficie de falla generalmente plana, con presencia de estratos con baja resistencia, situados próximos a la superficie del talud (Figura 7) (Matteis, 2003).

Figura 7

Tipos de falla traslacional.



Nota. Traslación de un talud (Matteis, 2003).

2.2.7.5. Falla por flujo

Esta falla se produce principalmente en taludes formados por materiales débilmente cementados, y el proceso comienza cuando el contenido de agua aumenta significativamente. La superficie de deslizamiento se forma en un tiempo relativamente corto, por lo que la velocidad y el movimiento son similares a los de un fluido viscoso (Rico, 2005).

2.2.8. Los movimientos en masa

Son procesos de movimiento lento a rápido de un considerable volumen de suelo, roca, o pueden ser ambos, en diversas cantidades, desatados por una serie de factores, corresponden a procesos gravitacionales (Matteis, 2003)

2.2.8.1. Factores condicionantes y desencadenantes

Cualquier suelo que forme un talud natural, terraplén o corte tiende a caerse por el peso que este posee. Si la resistencia de corte que posee el

suelo resiste esta deflexión, la pendiente será estable; caso contrario, surgirá un deslizamiento de talud (Tabla 4).

Tabla 4

Factores inherentes a la estabilidad de taludes.

Factores internos	Geológicos Geomorfológicos Geotécnicos Vegetación
Factores externos	Climatológicos Sísmicos Antropogénicos

Nota. Factores internos y externos (Rodríguez, 2019)

2.2.9. Alternativas de estabilización de taludes

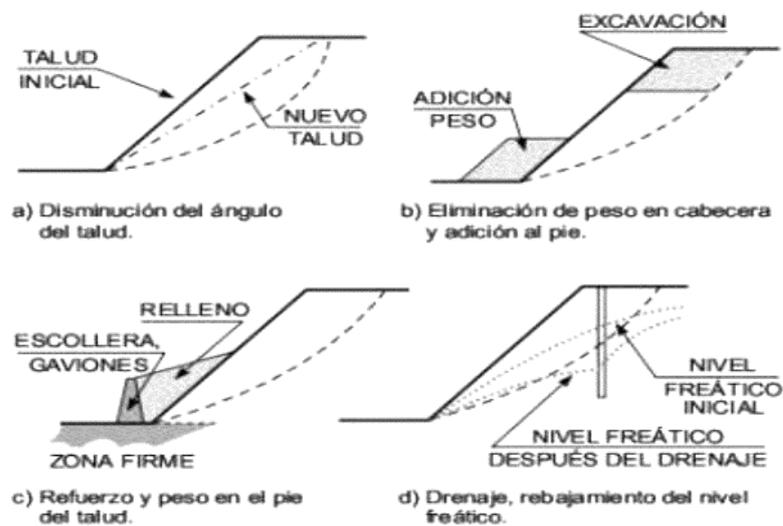
2.2.9.1. Modificación de la geometría

La nueva configuración buscara reducir el peso y aumentar la resistencia al corte de la ladera (Escobar & Duque 2017).

- Eliminar las masas del material posiblemente inestable.
- Construcción de soportes de tierra en la base del talud.
- Perfilado de laderas la cual permita generar una superficie regular para crear pendientes o alturas que sean favorables para la estabilidad del talud.
- Sucesión de bermas y taludes (Escobar & Duque 2017).

Figura 8

Métodos de estabilización.



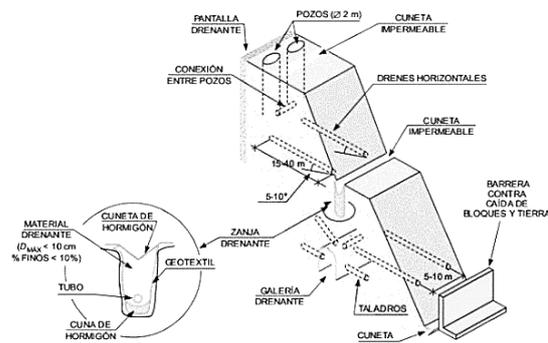
Nota. Formas de estabilización (Gonzalez, 2002)

2.2.9.2. Zanja de coronación

Son canales de coronación excavadas en el área superior de un talud de corte, con el propósito de reunir los flujos de agua que se acumula en la superficie y redireccionarla hacia una estructura de drenaje. Los canales de coronación cumplen propósitos importantes, como evitar la erosión en la superficie del talud antes de que el agua se filtre y provoque inestabilidad. Además, ayudan a reducir la presión hidrostática, lo que puede mejorar su estabilidad (Figura 9). Es importante diseñar correctamente los canales de coronación en función de las características hidrológicas de la zona, el suelo y la pendiente del talud (Ponce, 2018).

Figura 9

Medidas de drenaje.



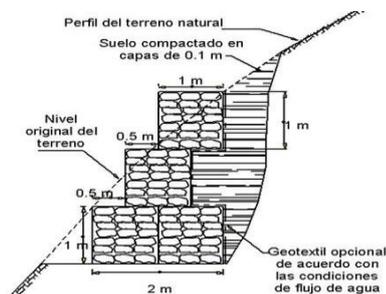
Nota. Canales de coronación (Gonzalez, 2002)

2.2.9.3. Muros o elementos de contención

Son estructuras de gran tamaño en donde su peso es un importante factor y usualmente son anclados mediante cables o varillas de acero, el problema de los muros es que se debe excavar y remover gran parte del material del pie del talud para el emplazamiento lo que favorece a la estabilidad del talud (Figura 10) (Gonzalez, 2002).

Figura 10

Muro de gaviones.



Nota. Estabilización por Gaviones (Gonzalez, 2002)

2.2.9.4. Hormigón proyectado en taludes

Este método de estabilización se adapta bien a la superficie del talud y se coloca de forma neumática, proporcionando un sellado



inmediato que rellena irregularidades y grietas provocadas por la erosión u otros factores (Rey, 2006).

2.2.9.5. Pernos De Anclaje

Consiste en fijar el elemento de forma firme y segura al suelo. En cuanto a los anclajes utilizados en túneles y taludes, suelen ser elementos metálicos diseñados para transferir fuerzas de tracción desde el exterior del terreno (Cerquera, 2023).

2.2.9.6. Revegetación

La vegetación es una interrelación entre factores mecánicos e hidrológicos de compleja cuantificación. Para la aplicación deben realizarse consideraciones especiales para su diseño, sin embargo, se debe considerar la vegetación como el sistema básico de estabilización para los taludes en suelo o roca meteorizada (Suarez, 1998)

2.2.10. Análisis de la estabilidad de taludes

Los análisis de estabilidad se aplican al diseñar taludes o cuando estos tienden a tener problemas de inestabilidad. Dependiendo del objetivo de los trabajos de excavación y del carácter temporal o permanente del talud, se debe elegir un FS adecuado, combinando consideraciones de seguridad, costos de ejecución, consecuencias de fallos demás riesgos, etc.(Gonzalez, 2002)

2.2.11. Método de equilibrio límite

Consiste en determinar el equilibrio de la masa terrestre activa que puede estar limitada por una superficie de ruptura circular, plana o poligonal; en el

método se supone que la falla ocurre en un plano donde todos los elementos de la superficie alcanzan simultáneamente el $FS=1$, en el momento de la falla, la fuerza cortante se moviliza a lo largo de la superficie; cuando la Tierra está en equilibrio estático, actualmente este método es muy utilizado debido a su sencillez ya que los FS obtenidos son similares a los reales (Gerscovich, 2013).

2.2.12. Factor de seguridad

El FS es la relación existente entre la resistencia de un suelo y la carga o esfuerzo aplicado en el mismo (Das, 2013).

$$FS_s = \frac{T_f}{T_d} \quad (8)$$

Donde:

FS_s = factor de seguridad

T_f = resistencia media del suelo al corte

T_d = esfuerzo cortante promedio desarrollado a lo largo de la faceta de falla.

La resistencia al corte de un determinado suelo consiste de dos componentes, la fricción y la cohesión, las cuales se expresan como:

$$T_f = C' + \sigma' * \tan\phi' \quad (9)$$

Donde:

C = cohesión

ϕ = ángulo de fricción de drenado

σ = esfuerzo normal efectivo en la superficie potencial a fallar

Si en el caso que se obtenga un FS menor a 1 se entiende que existe la posibilidad de movimiento a lo largo de la superficie, se calcula el ángulo máximo que puede tener un talud para ser estable, con tal de obtener un margen de seguridad, el ángulo de un talud tendría que venir definido por valor del FS mayores y superiores a la unidad, como ejemplo de orden de magnitud, los valores del FS para el cálculo de taludes son de FS =1.3, para el caso de taludes que serán temporales, y de FS =1.5 para el caso de que los taludes sean definitivos (Tabla 5) (Duncan & Christophe, 2004).

Tabla 5

Coefficientes de seguridad a emplear en el análisis de estabilidad de taludes.

NORMATIVA	TALUD TEMPORAL		TALUD	
	Estática	Sísmica	Estática	Sísmica
AASHTOLRFD	1,33-1.53	1,1	1.33-1.53	1.1
NAVFAC-DM7	1.3 '1.25	1.2-1,15	1.5	1.2-1.15
FHWA-NH1-11-032	-	1.1	-	1.1
CE.020	-	-	1.5	1.25

Nota. En la tabla se indica los valores numéricos de FS (Suarez, 1998)

2.2.13. Posibilidad de ocurrencia de eventos extremos

Si en el análisis no se tuvieron en cuenta los eventos extremos, se deben incluir FS mayores ante la ocurrencia de estos fenómenos, en algunas ciudades, los códigos geotécnicos especifican FS mínimos, los cuales se deben cumplir por ley, estos factores generalmente varían desde 1.15 a 1.5 y es común especificar FS de 1.3 para las cargas estáticas, ver (Tabla 6) (Diaz, 1998).

Tabla 6

FS.

Valor	Descripción
=1	Equilibrio
<1	Seguridad cuestionable
1-1.25	Inestable
1.25-1.40	Seguridad Relativa
=1.50	Satisfactorio para taludes
=1.50	Satisfactorio para taludes de presas de tierra o enrocamiento
	El factor de seguridad para la superficie de falla, se compone con un FS min =1.5
- FS=1:	Equilibrio, tiende a la falla
- FS>1:	Relativamente estable
- FS<1:	Inestable

Nota. Cuadro de FS (Suarez, 1998)

2.2.14. Métodos para el cálculo del FS

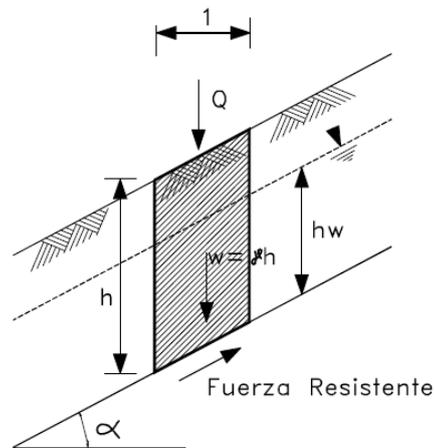
La forma de estudiar la masa desplazada se clasifica en tres tipos de análisis: análisis de fractura superficies lisas con pendiente infinita, el método de masa total y finalmente el método rebanadas.

2.2.14.1. Análisis del talud infinito

El método es particularmente adecuado para movimientos de traslación donde la superficie de deslizamiento generada es paralela a la superficie topográfica y anchura considerable con el eje perpendicular al deslizamiento. En estos métodos se considera que la pendiente proporciona continuidad lateral infinita, lo cual conlleva no contemplar los efectos de las paredes laterales sobre la Estabilidad general del talud. En estos casos se supone que el deslizamiento se produce sobre una superficie paralela a la superficie topográfica con un ángulo constante (Figura 11) (Ágreda, 2005).

Figura 11

Diagrama de análisis, método del talud infinito.



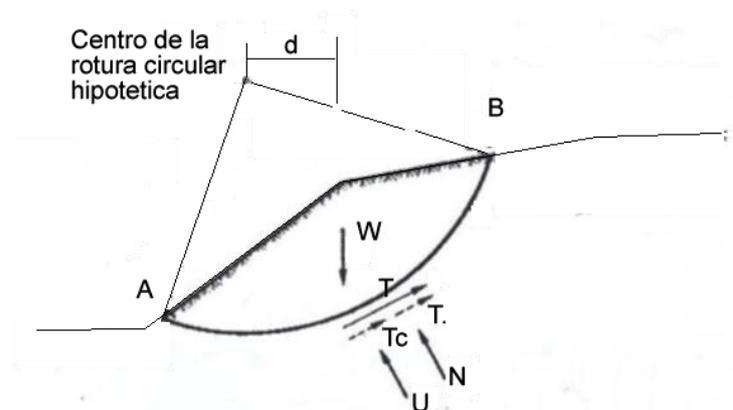
Nota. Sección de análisis del talud (Ágreda, 2005).

2.2.14.2. Métodos de la masa total

La utilización de superficies de rotura circulares en dos dimensiones es una hipótesis muy utilizada en el caso de taludes de altura finita en los que no existe ninguna zona que pueda definir la superficie de rotura (Figura 12) (Ágreda, 2005).

Figura 12

Fuerzas que actúan en una superficie de rotura curva.



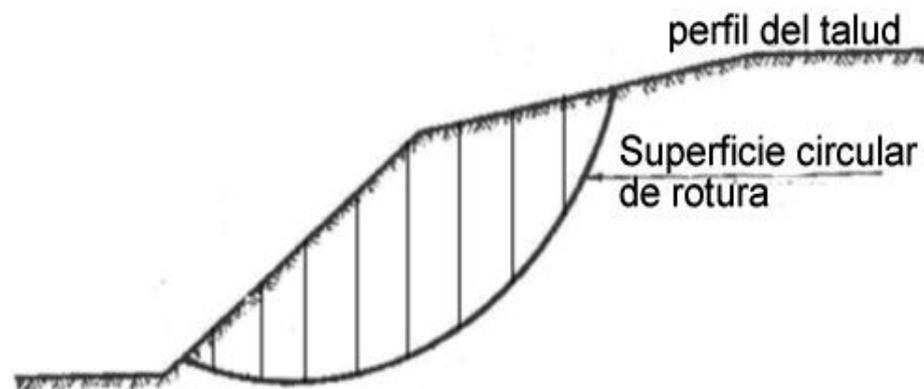
Nota. Falla en curva y fuerzas actuantes (Ágreda, 2005).

2.2.14.3. Métodos de las rebanadas

Se divide la masa desplazada en distintas rebanadas que pasan a considerarse un sólido rígido, de esta forma la masa desplazada queda subdividida, y en cada subdivisión se imponen las condiciones de equilibrio, este método fue desarrollado con el objetivo de tener mayor precisión en cálculo del FS; (Figura 13) (Pérez, 2005).

Figura 13

División en rebanadas de la masa de terreno.



Nota. Secciones de un talud (Pérez, 2005).

2.2.14.4. Método ordinario o de Fellenius (Fellenius 1927)

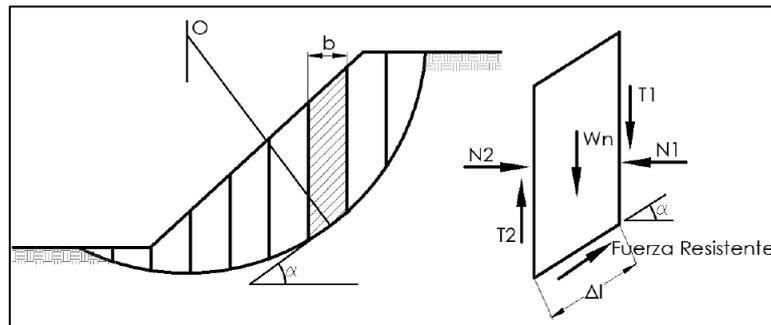
Se basa en la suposición de que la resultante de las fuerzas laterales en las caras de las rebanadas actúa paralelamente a la base de las mismas. Análogamente solo tiene aplicación a superficies de rotura circulares (IGME, 1986).

- No se consideran las fuerzas entre dovelas
- No satisface equilibrio entre masas deslizadas como para dovelas individuales
- El procedimiento simple

- No es preciso para taludes planos con alta presión de poros
- Se tiene FS bajos

Figura 14

Diagrama del método ordinario.



Nota. Análisis de una dovela (Suarez, 1998).

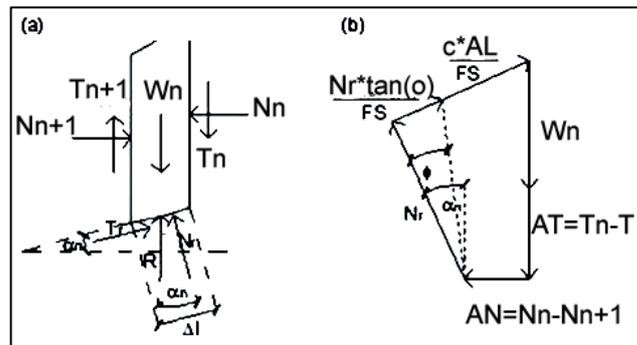
2.2.14.5. Método Bishop simplificado

En el procedimiento de Bishop simplificado, se supone que las fuerzas en los lados de la rebanada son horizontales (es decir, no hay tensiones de corte entre las rebanadas) las fuerzas se suman en la dirección vertical para satisfacer el equilibrio en esta dirección, y para obtener una expresión para la tensión normal en la base de cada rebanada, refiriéndose a la división que se muestra en la figura 15 y resolviendo fuerzas en la dirección vertical (Duncan & Christopher, 2004).

Este método es probablemente el método más utilizado, cuando se incorpora en los programas de computadora, produce resultados satisfactorios en la mayoría de los casos (Das, 2013).

Figura 15

Esquema y diagrama de fuerzas.



Nota. Diagrama de fuerzas actuantes (Rodríguez, 2013).

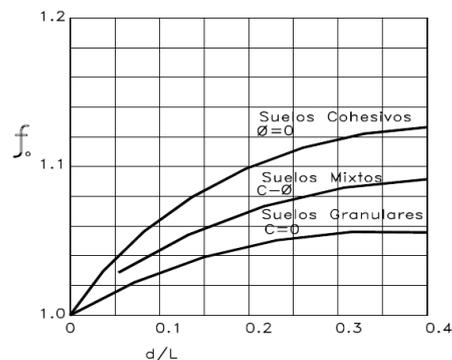
2.2.14.6. Método Janbu generalizado (1968)

La posición de la fuerza normal entre rebanadas se define con la línea de empuje y se puede variar, es decir cambiar la posición de las fuerzas resultantes entre rebanadas, para cualquier superficie de deslizamiento (Pérez, 2005).

La principal consideración de este método es que las fuerzas entre dovelas son solo horizontales, no tomando en cuenta las fuerzas cortantes, (Figura 16) (Rodríguez, 2013).

Figura 16

Diagrama del factor f_0 utilizado en el método de Janbú.



Nota. Gráfico para el análisis de suelos cohesivos, mixtos y granulares (Suarez, 1998).



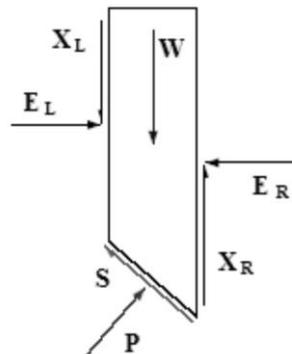
2.2.14.7. Método de Spencer 1967

Es un método que satisface totalmente el equilibrio tanto de esfuerzos y momentos como. Rigurosamente satisface el equilibrio estático considerando que la fuerza resultante entre tajadas tiene una inclinación constante, pero es conocida. Spencer (1967) la suposición se basa en las fuerzas entre dovelas, considera que son paralelas consecutivamente, o sea, que tienen el mismo ángulo de inclinación. Inicialmente este método se propuso para superficies circulares posteriormente se consideró para no circulares. Spencer propuso dos ecuaciones para el equilibrio de momentos y una para el equilibrio de fuerzas, que se resuelven para calcular los ángulos de los FS de pendiente F y los ángulos de fuerzas entre segmentos θ (Diaz, 1998).

Representación de las fuerzas actuantes en una rebanada consideradas en el método de Spencer y Morgenstein-Price, W cargas verticales externas, E_L y E_R las fuerzas normales izquierda y derecha entre rebanadas; X_L y X_R fuerzas verticales entre rebanadas a izquierda y derecha; P y S son la fuerza normal y tangencial a la base de la rebanada (Figura 17) (Diaz, 1998).

Figura 17

Representación de las fuerzas.



Nota. Fuerzas actuantes (Diaz, 1998).

2.2.14.8. Procedimiento de Morgenstern y Price

Este método se basa en la fuerza entre cortes, aunque es posible el uso de la función arbitraria y se utiliza ocasionalmente, si se utiliza la función de fuerza entre cortes de tipo 1, método se reducirá al método Spencer, el método Morgenstern-Price satisface el equilibrio de la fuerza y el momento global, desde el local la ecuación de equilibrio de momento no se utiliza en la formulación, la interna las fuerzas de una rebanada individual pueden no ser aceptables, es un método capaz de cubrir las ecuaciones de equilibrio, este método asume que la componente tangencial (T) es una pequeña fracción de la componente horizontal (E), $f(x)$ representa una función que se define por el profesional dependiendo del tipo de talud y terreno, que posee como variable independiente a la abscisa horizontal "x", λ se define como un factor de corrección en todas las dovelas para poder cumplir el equilibrio (Cheng & Lau, 2008).

$$T = \lambda \cdot f(x) \cdot E \quad (10)$$



De esta forma las ecuaciones verticales y horizontales permiten calcular el FS en función de los valores de T, Morgenstern basándose en criterios ingenieriles fijó la forma de inclinación de las fuerzas entre las dovelas $f(x)$ y de esta manera resolver la función, la altura de acción de los empujes es una parte de la solución para tener equilibrio, de esta manera si la solución es lógica se puede asentar como resuelto el problema de lo contrario se debe recalcular para adaptar el valor de $f(x)$ (Cheng & Lau, 2008).

2.2.15. Parámetros necesarios en el cálculo del equilibrio

Es necesario conocer las propiedades del talud para el análisis del comportamiento mecánico, con estas se determinará cómo reaccionan las cargas aplicadas. Se pueden determinar valores personalizados con pruebas de laboratorio y de las muestras *in situ*. A continuación, se lista las características mínimas requeridas para un estudio de talud.

2.2.15.1. Cohesión (c)

La cohesión (c) es la propiedad de cierto material por medio de la cual se mantiene unido a nivel molecular debido a fuerzas internas e independientemente del esfuerzo normal (Bowles, 1982).

La cohesión es la capacidad de adherencia entre partículas de suelo, donde se usa para representar la resistencia a la corte producida por la adherencia ya que esta, representa una resistencia a la tensión, dicho valor de la cohesión puede valer 0, cuando los suelos sean granulares en los

cuales no haya adherencia y por lo tanto son llamados como suelos friccionante no cohesivos (Bustamante & García, 2018).

2.2.15.2. Ángulo de fricción interna (ϕ)

Es el parámetro que correlaciona la fuerza de fricción y la fuerza normal de un material, el ángulo de fricción interna es el ángulo que limita el ángulo de pendiente, y por lo tanto es el criterio principal para la ocurrencia de un deslizamiento de tierra considerado falla en un nivel dado varía considerablemente en arenas con un índice de densidad porque se sabe que el grado de bloqueo depende directamente de la densidad, sin embargo, el ángulo de fricción interna se considera mayoritariamente constante porque lo es casi para una arena determinada con cierta densidad (Das, 2013).

$$\phi = \tan^{-1} \frac{F_r}{F_N} \quad (11)$$

Donde:

Fr = Fuerza de fricción

Fn= Fuerza normal

2.2.15.3. Resistencias (σ , t)

Se considera a la resistencia como la propiedad de los materiales mediante la cual sus partículas intentan mantenerse unidas en su estado inicial antes de cambiar de condición de falla, la propiedad describe el comportamiento mecánico, que está ligado a la cohesión y al ángulo de fricción interna y, por tanto, también juega un rol importante en la

estabilidad de un cuerpo, en suelos se pueden determinar las resistencias por medio de ensayos que varían en sus condiciones de encontrarse confinados (C) y /o drenados (D), los cuales consisten en someter cargas en una muestra, tanto axial como cortante, para determinar los parámetros de cohesión y ángulo interno de fricción (Bowles, 1982).

2.2.16. Teoría de Mohr Coulomb

La teoría de Mohr-Coulomb es la relación funcional entre el esfuerzo normal en cualquier plano y la resistencia al corte disponible en ese plano. Coulomb supuso que era lineal; por lo tanto, lo siguiente suele conocerse como ley de Coulomb (Venkataramaiah, 2006).

Según la teoría de Mohr, los materiales se rompen debido a una combinación de esfuerzos cortantes y la normal, utilizando esta teoría, Coulomb propuso un criterio de rotura para suelos que relaciona tensiones efectivas y normales, actuando en cualquier plano del suelo (Gonzalez, 2002).

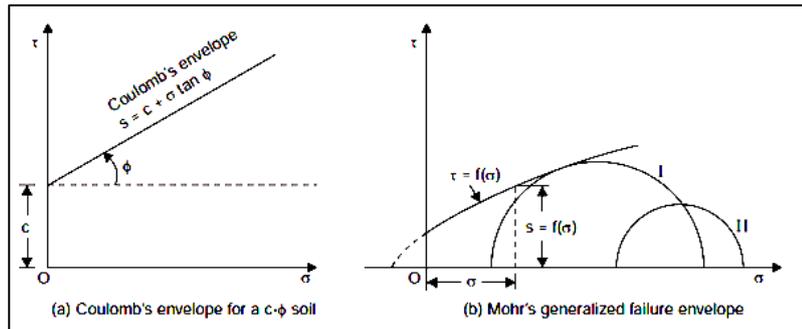
$$t = C + \theta * \tan\phi \quad (12)$$

donde c y ϕ son parámetros empíricos, conocidos como "cohesión aparente" y "ángulo de corte". Resistencia (o ángulo de fricción interna), respectivamente. Estos se visualizan mejor como "parámetros" y no como propiedades absolutas de un suelo, ya que se sabe que varían con el agua. Si los componentes de tensión normal y cortante en un gráfico plano sobre la envolvente de falla, se supone que la falla es incipiente y si las tensiones se trazan debajo de la envolvente, la condición representa estabilidad, y es imposible que estos se trazan por encima del sobre, ya que la falla debería haber ocurrido previamente, la ley de Coulomb es simplemente una ecuación matemática de la envolvente de

falla que se muestra en la figura (a); La generalización de Mohr de la envolvente de falla como una curva que se vuelve más plana al aumentar la tensión normal se muestra en la figura (b) (Figura 18) (Venkataramaiah, 2006).

Figura 18

Envolvente de Mohr Coulomb.

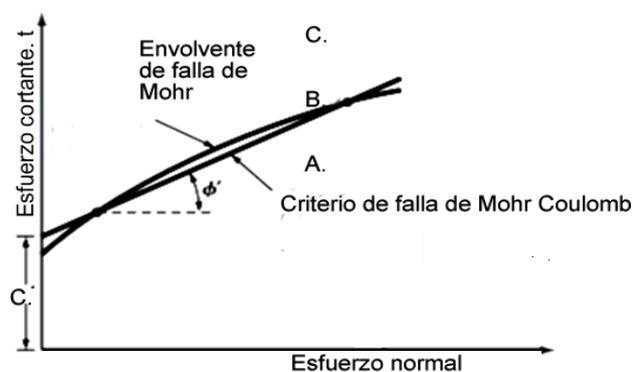


Nota. Gráfico de esfuerzos (Venkataramaiah, 2006)

En la (Figura 19), el punto (A) indica un estado con un grado de seguridad aceptable, ya que para cierto esfuerzo normal el esfuerzo tangencial es considerablemente menor que el máximo esfuerzo tangencial. Y el punto (B) representa un estado de rotura. Por otro lado, el punto (C) es un estado imposible, debido a que el esfuerzo tangencial excede el máximo valor de este.

Figura 19

Envolvente de falla - criterio de rotura en suelos de Mohr Coulomb.



Nota. En el grafico se aprecia el criterio de rotura de Mohr (Das, 2013).



2.2.17. Consideraciones dinámicas método pseudoestático-sismicidad

La propagación de ondas sísmicas origina aceleraciones, tensiones locales y deformaciones de intensa magnitud en los taludes o masa de suelo (Troncoso, 1997).

2.2.18. Análisis pseudoestático de taludes

En el análisis pseudoestático, se añade sobre todos los elementos en análisis una fuerza horizontal igual a K por el peso del elemento, Terzaghi propuso que la aplicación de esta fuerza debería ser al medio de cada rebanada; sin embargo, existen otros autores que recomiendan aplicar la fuerza por encima del centro de las rebanadas basándose en que la aceleración aumenta de abajo hacia arriba, este método es igual que el resto de métodos de equilibrio límite, con la diferencia de que se aumentan fuerzas horizontal y vertical debido al sismo (Mendoza, 2016).

El coeficiente sísmico se puede leer como una aceleración (considerada como fracción de la aceleración, g , pro gravedad) que causa un terremoto. Pero el poder pseudoestático se trata como una fuerza estática que actúa en una sola dirección. que las aceleraciones sísmicas tienen un efecto a corto plazo y cambian dirección, tiende a estabilizarse en lugar de desestabilizarse en algunos casos (Tabla 7) (Duncan & Christopher 2004).

Tabla 7

Valores de coeficiente k recomendados en el análisis pseudoestático.

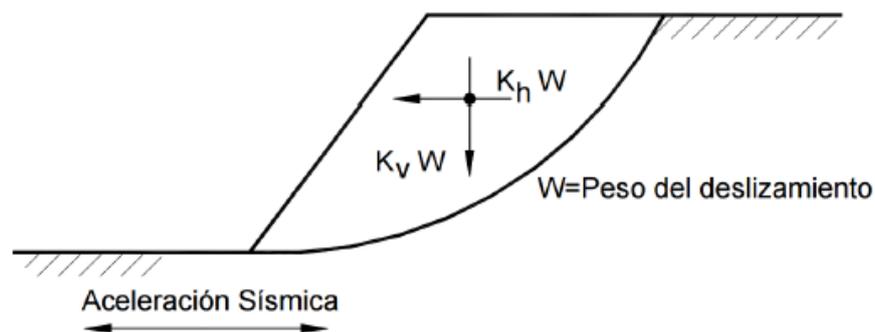
Coeficiente Sísmico k	Observaciones
0,10	Sismo importante, $FS > 1,0$
0,15	Sismo de gran magnitud, $FS > 1,0$
0,15 a 0,25	Japón $FS > 1,0$
0,05 a 0,15	Estado de California
0,10 para $\mu = 6,5$	(Seed, 1979) con $FS > 1,15$
0,15 para $\mu = 8,5$	(Marcuson y Franklin, 1983)
1/3 a 1/2 de la aceleración pico superficial	$FS > 1,0$
1/2 de la aceleración pico superficial	(Hynes, Griffin y Franklin, 1984) $FS > 1,0$ y un 20% de reducción de resistencia

Nota. Comportamiento sísmico de taludes (Suarez, 1998).

Generalmente, el coeficiente sísmico pseudoestático corresponde a una aceleración horizontal y usualmente no se tienen en cuenta las aceleraciones verticales y el coeficiente sísmico se representa como una fuerza horizontal, se recomienda utilizar valores entre 1/3 y 1/2 de la aceleración máxima esperada con las respectivas amplificaciones (Figura 20) (Marcuson & Franklin, 1983).

Figura 20

Análisis pseudoestático de una falla curva.



Nota. En el gráfico se observa el comportamiento de una falla curva (Suarez, 1998)



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE ESTUDIO

3.1.1. Ubicación geográfica del estudio

El presente trabajo de investigación se desarrolló dentro del proyecto minero Mucumayo, que se ubica en el distrito de Ituata, provincia Carabaya y región Puno.

Tabla 8

Coordenadas geográficas DATUM UTM WGS 84 ZONA 19.

Proyecto	Vértice	Coordenadas UTM		Cuadrángulo
		Este	Norte	
Proyecto minero Mucumayo	1	382,356.61	8,488,871.6	28-v
	2	382,380.26	8,483,871.5	
	3	380,380.24	8,483,862.1	
	4	380,356.59	8,488,862.1	

Nota. (IGAFOM,2018).

3.1.2. Accesibilidad

Tabla 9

Acceso al proyecto Mucumayo.

Acceso vía terrestre al proyecto minero Mucumayo			
Tramo	(Km)	Horas	Tipo de vía
Puno - Juliaca	45	1	Asfaltada
Juliaca - Macusani	251	3	Asfaltada
Macusani - Ituata	55	2	Trocha carrozable
Ituata - Uyunaje	30	2	Trocha carrozable
Uyunaje- Proyecto	35	1	Camino herradura
TOTAL		9	

Nota. Vías de acceso para llegar a la unidad minera.



3.2. DISEÑO METODOLOGICO

3.2.1. Enfoque de investigación

la presente investigación se desarrolló con un enfoque cuantitativo no experimental. Asimismo, se considera cuantitativo no experimental porque se realiza la medición y análisis de datos numéricos cuantitativos (muestreos, ensayos de laboratorio, análisis de datos y modelado matemático) en este caso se observa y analiza los ensayos de laboratorio cuyos datos son inalterables y posteriormente son modelados en software. Lo que se examinó son unidades de análisis detectadas en las unidades de muestreo.

3.2.2. Nivel de la investigación

El trabajo realizado es de nivel descriptivo, ya que el objetivo es evaluar geotécnicamente y especificar las características y las propiedades del suelo tal como se presentan en realidad, sin alteración alguna, además se recoge información verídica para el posterior análisis de estabilidad de taludes.

3.2.3. Método de la investigación

El método de investigación es la forma en cómo se busca la solución a un determinado problema. El método primordial durante la etapa de investigación fue del tipo descriptivo porque se tuvo como propósito describir las características geotécnicas de los materiales.

Se empleó el método científico, ya que se aplicó un tipo de lógica deductiva en base a criterios y juicios que planteamos como son: Determinación del área de investigación, excavación de calicatas, muestreos para luego



determinar las características geotécnicas usando los procedimientos de las normas ASTM Y NTP.

3.2.4. Diseño de investigación

El presente trabajo de investigación tiene un diseño metodológico descriptivo no experimental, considerando las variables que se desarrolla en la investigación. No se realizó ninguna manipulación intencional de las variables, esencialmente se basó en observar los taludes en su contexto natural y luego se analizaron, nos enfocamos en recopilar, analizar y sintetizar información existente de estudios similares al nuestro, no se realizaron experimentos en campo ni se manipularon las propiedades de los suelos que se obtuvieron al momento de realizar los ensayos en laboratorio y campo.

- **Recopilación de información:** se buscó información sobre tipos de suelos, condiciones, y estudios previos sobre estabilidad de taludes.
- **Análisis de datos:** se realizó un análisis de la información recopilada.
- **Síntesis y evaluación:** se integraron los hallazgos para evaluar la estabilidad actual de los taludes, además se identificaron factores de riesgo potenciales.
- **Elaboración de conclusiones y recomendaciones:** se elaboraron conclusiones basadas en el análisis de la información obtenida, y se propuso recomendaciones prácticas para mejorar la estabilidad de taludes en el área de estudio.



3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO

3.3.1. Población

La población considerada para este estudio está constituida por los taludes presentes que se ubican dentro del proyecto minero Mucumayo.

3.3.2. Muestra

Como muestra se toma en consideración las secciones de los taludes T-01 y T-02 de donde se obtiene información de las características del suelo.

3.3.2.1. Método de muestreo

El método de muestreo es no probabilístico ya que la elección de elementos no dependió de la probabilidad, más bien se hizo de forma intencional o de conveniencia

- Se identificaron los taludes de interés en el área de estudio, además se seleccionó sitios representativos con las condiciones geotécnicas requeridas.
- Se dividió cada talud en secciones discretas para apreciar la geometría de los taludes.
- Se realizó la excavación de calicatas con una profundidad de 3 m de donde se decidió tomar muestras representativas.
- De las calicatas se extrajeron cubos con dimensiones de 30 cm de lado, los cuales fueron parafinados y etiquetados para su traslado y ensayo en laboratorio.



3.3.2.2. Criterio de muestreo

La evaluación de la muestra se dio en función de la norma CE 0.20 estabilización de suelos y taludes que se basa en la norma técnica peruana. Se realizaron calicatas con una profundidad de 3 m donde se realizó el muestreo y se extrajo el material para los ensayos en laboratorio.

3.3.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.3.1.1. Técnica de recolección de datos

- Se realizó la observación directa y la ubicación de los puntos de interés con un GPS para obtener muestras representativas del suelo. Lo cual implica la extracción de muestras en distintos puntos para analizar sus propiedades físicas y geotécnicas.
- Se realizó perfiles detallados del suelo a lo largo del talud para obtener datos geométricos.
- Se realizó la observación directa del talud para identificar las características visibles que puedan indicar problemas de estabilidad.
- Se utilizó la brújula para determinar la forma de los relieves.
- Se realizó el ensayo en campo para determinar la densidad.
- Se realizaron los ensayos en laboratorio para el análisis de muestras de suelo para así determinar propiedades geotécnicas como la cohesión, el ángulo de fricción, cohesión, entre otros.
- Se realizó la modelación para obtener los FS.



3.3.1.2. Instrumentos de recolección de datos

- Se utilizo el GPS para ubicar coordenadas.
- Se uso el distanciómetro para determinar medidas.
- Se utilizó la brújula para determinar la inclinación y para la ubicación del norte.
- Se utilizo el cono de arena para obtener la densidad de campo.
- Se utilizaron fichas para la recolección de datos.
- Se utilizo programas de modelación.

3.3.2. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

En nuestro estudio de estabilidad de taludes, las técnicas de procesamiento y análisis de datos incluye el uso de software Microsoft Excel para el almacenamiento de datos de las características de los materiales, por otro lado para modelar la geometría del talud, se utilizó el software AutoCAD, teniendo los datos numéricos y geométricos estos se insertaron al software Slide 6.0 donde se obtuvo datos numéricos de las fuerzas y tensiones, y así se evaluó los diferentes parámetros con el fin de realizar el análisis de estabilidad global y local, de los taludes. Además, se utilizó técnicas de visualización de datos para interpretar los resultados.

3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.4.1. Variable independiente

Características geotécnicas del suelo como: Granulometría, contenido de humedad, densidad, límites, peso específico, tipo de suelo, límites de consistencia, ángulo de fricción interna y cohesión.

3.4.2. Variable dependiente

Se considera el FS para la estabilidad de los taludes del proyecto minero Mucumayo.

Tabla 10

Operacionalización de variables.

Variab	Indicadores	Escala de medición
Variable independiente: Características geotécnicas del suelo	Densidad	gr/cm ³
	Granulometría	%
	Peso específico	KN/m ³
	Tipo de suelo	AASHTO, SUCS
	Altura	Metros
	Angulo de talud	Grados
	Angulo de fricción interna	Grados
	Cohesión	KPa
Variable dependiente: Estabilidad de taludes del proyecto minero Mucumayo.	FS	FS>1.5: Estable FS=1: Equilibrio FS<1: Inestable

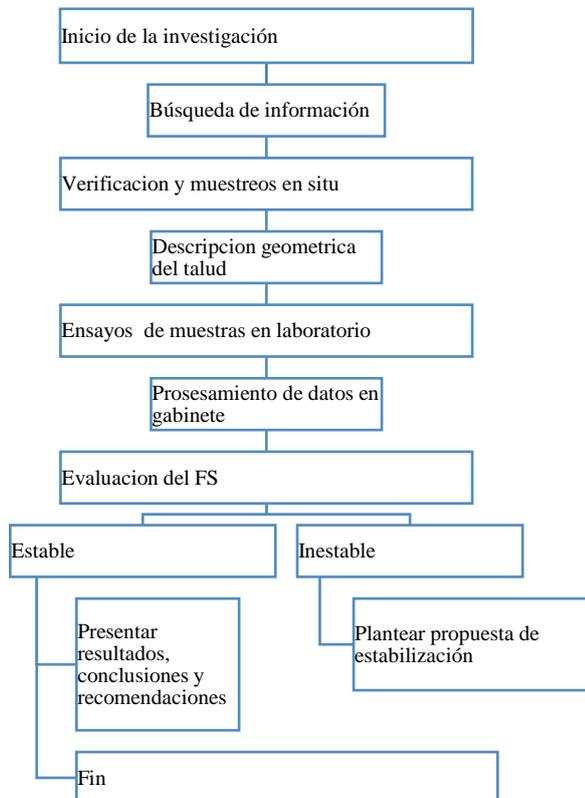
Nota. Cuadro de variables.

3.4.3. Etapas de investigación

Para el presente trabajo de investigación se realizó la obtención de datos en un determinado momento para describir las características en ese instante, a la vez se realizó los ensayos de laboratorio para poder conocer los parámetros del suelo, posteriormente al obtener los datos necesarios se procedió a realizar el trabajo en gabinete ingresando los datos al software Slide 6.0, para poder determinar las condiciones de estabilidad de cada talud, las etapas se observan en la (Figura 21).

Figura 21

Etapas del desarrollo de la investigación.



Nota. Puntos desarrollados para determinar la condición de estabilidad de taludes

3.4.3.1. Búsqueda de información

Se recolecta información previa para iniciar el estudio tales como la ubicación,

3.4.3.2. Verificación y muestreos en situ

Se verifica el área de interés y se identifica los taludes para proceder con la excavación de calicatas y así extraer muestras para realizar los ensayos de granulometría, límites de consistencia, ensayo de corte directo, y así obtener los parámetros de del suelo. Para los ensayos se recomienda trabajar con muestras inalteradas, las muestras deben ser



suficiente para poder enviarlas al laboratorio de mecánica de suelos, y así determinar las propiedades físico-mecánicas del mismo.

El método de muestreo es no probabilístico, lo que significa que la muestra es intencional o de conveniencia a criterio del investigador, esto se hizo de acuerdo a los requerimientos mínimos de investigación para obtener las características requeridas para suelo, estas a partir de muestras representativas según la norma (NTP 050, 1997) de suelos y cimentaciones.

3.4.3.3. Descripción geométrica del talud

Se observa y registra la forma de los taludes a estudiar considerando la altura, distancia, inclinación, y todas sus características.

3.4.3.4. Ensayos de muestras en laboratorio

En esta etapa se procesaron muestras tomadas de campo y se realizaron ensayos en el laboratorio de mecánica de suelos. Las pruebas de laboratorio se realizaron de acuerdo con los estándares nacionales e internacionales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y de la Asociación Americana de Administración de Carreteras.

Los criterios de evaluación se dieron en función a la Norma Técnica Peruana CE 0.20 Estabilización de suelos y taludes.

3.4.4. Procesamiento de datos en gabinete

En esta etapa ya se tienen los datos de campo y los resultados obtenidos de laboratorio con las cuales se realiza la evaluación y modelamiento del talud.



- Preparación de datos para AutoCAD: ingresamos los datos obtenidos en campo al software AutoCAD para poder obtener los perfiles de cada talud.
- Exportación de perfiles: guardamos el archivo AutoCAD con la extensión dxf y lo importamos en el software Slide6.0.
- Ingreso de datos a Slide: ingresamos los perfiles y datos obtenidos en laboratorio al software Slide, en dicho software asignamos los parámetros geotécnicos a cada material, computamos y finalmente lo interpretamos.
- Análisis e interpretación: analizamos el FS resultante de cada talud para definir la condición de estabilidad.

3.5. MATERIALES Y EQUIPOS DE INVESTIGACIÓN

Para poder desarrollar el presente trabajo de investigación se recurrió al uso de los siguientes equipos, materiales y herramientas de trabajo.

3.5.1. Instrumentos y herramientas

A. Equipo de campo:

- Brújula: es un instrumento que nos permite ubicar el norte magnético.
- GPS: es un instrumento que permite conocer las coordenadas de la superficie terrestre.
- Libreta de campo: es un instrumento que nos ayuda a tomar apuntes del área de estudio.
- Flexómetro: instrumento que nos ayuda a medir distancias.
- Fichas de registro: son formatos y tablas donde registramos datos de interés.
- Herramientas de excavación: consideramos pico, pala y barreta.



- Bolsas: son contenedores herméticos de fácil uso y manejables.
- Cámara de fotos: es un instrumento que nos ayuda a registrar evidencias.

B. Equipo de laboratorio:

- Horno para secado: equipo de laboratorio que nos ayuda a determinar el contenido de humedad.
- Balanza: es un equipo de laboratorio que nos ayuda a la medición del peso en gramos.
- Juego de tamices y tamizador electrónico: equipo de laboratorio que determina la granulometría.
- Equipo de corte directo: equipo de laboratorio que nos ayuda a obtener el ángulo de fricción y la cohesión.
- Equipo para determinar los límites de consistencia: se considera el equipo de (Casa Grande) y el conjunto de límite plástico.

C. Equipo de gabinete:

- Laptop: herramienta de trabajo para el procesamiento y modelación de datos.
- Útiles de escritorio: son herramientas y accesorios que nos ayudan a realizar tareas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1.1. Parámetros geotécnicos

La caracterización geotécnica se desarrolló en los taludes T-01 y T-02 del proyecto minero Mucumayo, los cuales se consideró como inseguros. Para el estudio de los taludes esta se dividió en perfiles, y para conocer los parámetros geotécnicos del suelo se desarrollaron los ensayos de laboratorio según las normas estándar, siguiendo los procedimientos ASTM Y MTC 2016 (Tabla 11).

Tabla 11

Especificaciones geotécnicas.

Ensayo	Norma
Humedad	ASTM D 2216-2006
Granulometría	ASTM D 422-2007
Límite líquido	NTP 339.129 - MTC CE020
Límite plástico	NTP 339.129
Corte directo	ASTM D 3080- 2011

4.1.2. Excavación de calicatas

Para determinar el tipo del suelo se realizaron la excavación de calicatas de donde se extrajeron muestras representativas las cuales fueron etiquetadas y almacenadas en bolsas de muestreo, las cuales posteriormente fueron enviados al laboratorio de suelos de la facultad de Ingeniería de Minas UNA PUNO para realizar los ensayos (Tabla 12).

Tabla 12*Puntos de muestreo.*

Lugar	Calicata	Profundidad	Coordenadas	
			Este	Norte
Proyecto minero	C-1	3 m	381082.00	8486775.00
	C-2	3 m	380927.00	8486683.00

4.1.3. Ensayo de propiedades físicas

Las propiedades físicas del suelo son el peso específico, tamaño, forma, características mineralógicas y su rugosidad, en la tabla 13-14 se observa los datos de propiedades de índice.

Tabla 13*Propiedades de índice calicata 01.*

Tara	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Volumen muestra (cm ³)	Densidad seca (g/cm ³)	Peso específico aparente (KN/m ³)
T-1	608.30	539.70	410.04	1.32	12,91
T-2	228.40	205.60	171.07	1.20	11.79
T-3	207.60	185.60	157.92	1.18	11.53
T-4	198.20	175.70	137.10	1.28	12.57
T-5	227.60	203.60	155.95	1.31	12.80

Para la muestra 01 se realizó el ensayo en 05 taras para conocer los valores de propiedades de índice. Este ensayo se realizó considerando valores del peso húmedo y peso seco, además se determinó el valor promedio del peso específico de la muestra, obteniendo un valor de 12.31 KN/m³.

Tabla 14*Propiedades de índice calicata 02*

Tara	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Volumen muestra (cm³)	Densidad seca (g/cm³)	Peso específico aparente (KN/m³)
T-1	307.60	285.60	211.57	1.35	13.24
T-2	298.20	275.70	184.72	1.49	14.64
T-3	464.34	440.93	343.81	1.28	12.58
T-4	306.50	284.10	210.84	1.35	13.21
T-5	302.02	280.20	206.77	1.36	13.29

Para la muestra 02 se realizó el ensayo en 05 taras para conocer el valor promedio del peso específico de la muestra, obteniendo un valor de 13.48 KN/m³.

4.1.4. Ensayo de clasificación de suelos

La clasificación de suelos según la granulometría se realiza mediante el análisis de las fracciones de distintos tamaños de partículas presentes en una muestra de suelo. Esta clasificación se basa en los diámetros de las aberturas de tamices estándar, que permiten retener ciertas fracciones de partículas.

- Grava: Fracción de suelo retenida en el tamiz N° 4 y que pasa el tamiz N° 3.
- Arena: Fracción de suelo retenida entre los tamices N° 4 y N° 200.
- Finos: Fracción de suelo que pasa el tamiz N° 200.

El proceso implica tomar una muestra inicial de suelo y determinar el peso de las fracciones retenidas en cada tamiz utilizado. Con estos datos, se completa un formato de granulometría para generar una curva granulométrica, que muestra el porcentaje de peso que pasa a través de cada tamiz, expresado en porcentaje y asociado a las aberturas correspondientes de los tamices utilizados (Tabla 15).

Tabla 15*Análisis granulométrico de calicata 01.*

Tamiz	Tamiz	Pesos de muestra retenida	Pasa	Pasante	Retenido parcial	Retenido acumulado
”	mm	(g)	(%)	(%)	(%)	(%)
3	75	0.00	100.00%	100.00%	0.00%	0.00%
2 1/2	63.5	0.00	100.00%	100.00%	0.00%	0.00%
2	50.8	0.00	100.00%	100.00%	0.00%	0.00%
1 1/2	37.5	0.00	100.00%	100.00%	0.00%	0.00%
1	25	0.00	100.00%	100.00%	0.00%	0.00%
3/4	19	45.20	97.89%	97.89%	2.11%	2.11%
1/2	12.5	115.20	92.52%	92.52%	5.37%	7.48%
3/8	9.5	110.20	87.38%	87.38%	5.14%	12.62%
4	4.75	174.40	79.25%	79.25%	8.13%	20.75%
10	2	195.50	70.14%	70.14%	9.11%	29.86%
20	0.85	181.90	61.66%	61.66%	8.43%	38.34%
30	0.6	43.30	59.64%	59.64%	2.02%	40.36%
40	0.425	155.60	52.39%	52.39%	7.25%	47.61%
60	0.25	379.60	34.69%	34.69%	17.70%	65.31%
100	0.15	397.70	16.15%	16.15%	18.54%	83.85%
200	0.075	333.70	0.59%	0.59%	15.56%	99.41%
BASE		1270	0.00%	0.00%	0.59%	100.00%
TOTAL		2145			100.00%	

En el ensayo granulométrico para la muestra 01 se aprecia que el 100% del material pasa hasta el tamiz de 1 pulgada, y es a partir del tamiz de $\frac{3}{4}$ que se retiene el 2.11% del material, continuando en 1/2 (5.37%), 3/8 (5.14%), 4 (8.13%), 10 (9.11%), 20 (8.43%), 30 (2.02)%, 40 (7.25%), 60 (17.70%), 100 (18.54%), 200 (15.56%) y en la base (0.59%) donde dichos valores forman el 100%, a partir de dichos datos podemos entender que el material contiene partículas ligeramente granuladas.

orgánico y una clasificación tanto en el sistema SUCS como en el AASHTO que refleja su composición y características de granulación.

Tabla 17

Análisis granulométrico de calicata 02.

Tamiz	Tamiz	Pesos de muestra retenida	Pasa	Pasante	Retenido parcial	Retenido acumulado
"	mm	(g)	(%)	(%)	(%)	(%)
3	75	0.00	100.00	100.00	0.00	0.00
2 1/2	63.5	0.00	100.00	100.00	0.00	0.00
2	50.8	0.00	100.00	100.00	0.00	0.00
1 1/2	37.5	0.00	100.00	100.00	0.00	0.00
1	25	27.30	98.18	98.18	1.82	1.82
3/4	19	28.60	96.27	96.27	1.91	3.73
1/2	12.5	53.70	92.68	92.68	3.58	7.32
3/8	9.5	49.20	89.40	89.40	3.28	10.60
4	4.75	129.60	80.75	80.75	8.65	19.25
10	2	195.80	67.68	67.68	13.07	32.32
20	0.85	197.40	54.51	54.51	13.18	45.49
30	0.6	31.80	52.38	52.38	2.12	47.62
40	0.425	116.70	44.59	44.59	7.79	55.41
60	0.25	101.60	37.81	37.81	6.78	62.19
100	0.15	75.00	32.81	32.81	5.01	67.19
200	0.075	68.90	28.21	28.21	4.60	71.79
BASE		422.60	0.00	0.00	28.21	100.00
TOTAL		1498.20			100.00	

En el ensayo granulométrico para la muestra 02 se aprecia que el 100% del material pasa hasta el tamiz de 1 pulgada, y es a partir del tamiz de $\frac{3}{4}$ que se retiene el 1.91% del material, continuando en 1/2(3.58%), 3/8(3.28%), 4(8.65%), 10(13.07%), 20(13.18%), 30(2.12) %, 40(7.79%), 60(6.78%), 100(5.01%), 200(4.60%) y en la base (28.21%) donde dichos valores forman el 100%, a partir de dichos datos podemos entender que el material contiene partículas ligeramente granuladas.

Tabla 19

Resultados de corte directo, calicata 01 y 02.

Calicata	Muestra	Prof. (m)	SUCS	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de fricción (°)
01	M-1	3	OL-CL	0.1044	35.29
02	M-2	3	Sc-SM	0.1509	36.80

Los parámetros de resistencia al corte indican que la cohesión en la calicata 01 es 0.1044 Kg/cm² y el ángulo de fricción interna es 35.29°. Por otro lado, en la calicata 02 tenemos la cohesión 0.1509 Kg/cm², y su ángulo de fricción interna 36.80° respectivamente.

4.1.6. Hidrología

En el área de estudio se presentan ríos y riachuelos los cuales se mantiene durante todo el año, pero incrementan su caudal durante los meses de octubre a marzo ya que son épocas de lluvias y estas a la vez se infiltran por ende se generan deslizamientos en zonas vulnerables. El agua filtrada fluye a través del suelo que se compone de limos, arenas y partículas gruesas con porosidades variantes ya que existe la presencia de material orgánico y partículas granulares.

- **Temperaturas:** Las temperaturas en el área de estudio son generalmente variadas ya que es ceja. Las máximas diarias suelen estar entre 15°C y 20°C, mientras que las mínimas pueden descender por debajo de 0°C, especialmente en las noches.
- **Precipitaciones:** La mayor parte de las lluvias se concentra entre octubre y marzo, durante la temporada de verano. En esta época, las precipitaciones son más frecuentes e intensas. El resto del año, especialmente de mayo a octubre, la región experimenta un clima más seco.



- **Estaciones:** Se pueden identificar dos estaciones principales: una húmeda (verano) y otra seca (invierno). La estación húmeda trae lluvias que son cruciales para la agricultura local.
- **Altitud:** La altitud del área de estudio esta (alrededor de 2,200 metros sobre el nivel del mar) contribuye a las bajas temperaturas y a un ambiente menos denso, lo que afecta la sensación térmica y la respiración.
- **Viento:** En algunas épocas del año, se pueden presentar vientos fríos que acentúan la sensación de frío.

4.1.7. Determinación del (FS)

Se determino el FS de los taludes a través de los parámetros geotécnicos del suelo para el proyecto minero Mucumayo.

4.1.7.1. Determinación de los FS

Para poder determinar el FS de cada sección de talud, se recurrió al programa Slide 6.0 del paquete RocSciense, ya que esta utiliza los métodos de equilibrio límite para dichos cálculos.

- Para el análisis de estabilidad se inicia el programa Slide 6.0 donde se selecciona los métodos de análisis de equilibrio limite como son: Bishop simplificado, Morgenstern-Price y Spencer.
- Seguidamente importaremos la sección transversal del talud, esta se importará desde el software AutoCad con la extensión dxf.
- Teniendo lista la sección del talud ingresamos las propiedades y parámetros geotécnicos (cohesión, peso específico y ángulo de fricción interna).



- Se analiza la estabilidad del talud para así determinar el FS.

En el presente trabajo se evalúa el talud 01 y el talud 02 cada una con sus respectivas muestras.

4.1.7.2. Análisis estático

- **Análisis del talud 01**

Se procede a evaluar la sección del talud 01 con pendiente de 37° y una altura de 53.9 m, para lo cual ingresamos los datos obtenidos anteriormente en los ensayos de laboratorio (Tabla 20).

Tabla 20

Parámetros de simulación en el perfil 01.

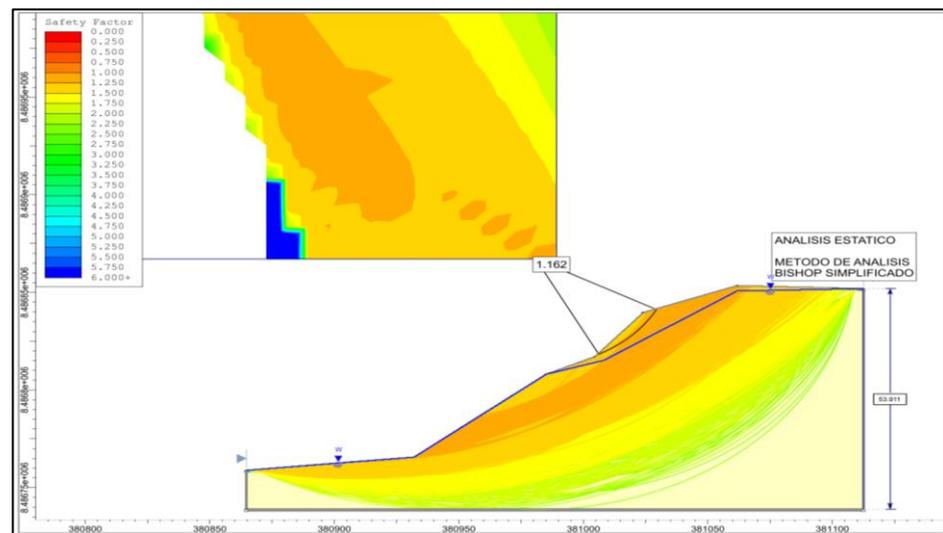
Parámetros	Valor
Peso específico (kN/m^3)	12.31
Cohesión (Kg/cm^2)	0.1044
Angulo de fricción ($^\circ$)	35.29

Teniendo el perfil del talud evaluamos el FS mediante el software Slide 6.00 usando los procedimientos de Bishop Simplificado, Morgenstern - Price y Spencer.

A continuación, se muestran los perfiles evaluados mediante los tres métodos anteriormente mencionados usando el software Slide 6.0 ya que dicho programa es práctico (Figura 24).

Figura 24

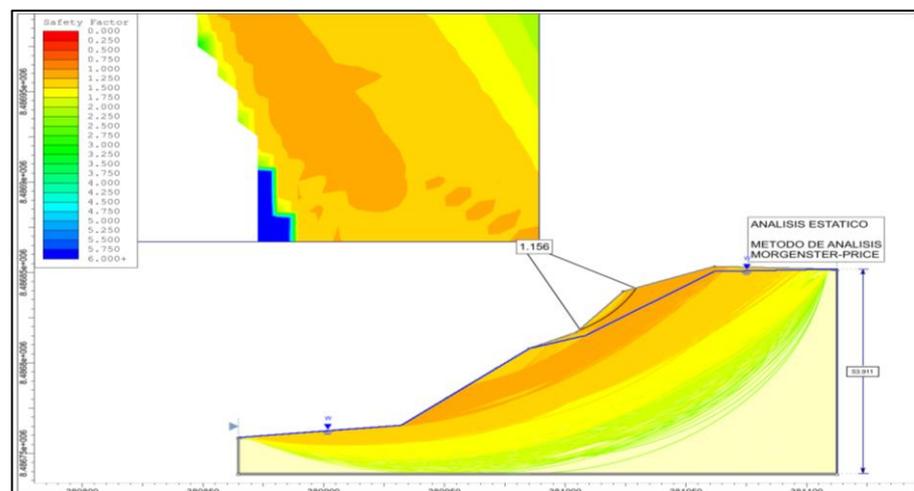
Análisis estático del perfil 01 – Bishop Simplificado.



En la figura 24 se muestra el análisis estático del talud 01 por el método de Bishop simplificado donde las fuerzas analizadas en las rebanadas son horizontales, lo cual indica que no existe tenciones de corte entre rebanadas, y gráficamente se aprecia que el FS es 1.162 según la norma CE 020 el talud es inestable por lo tanto requiere un método de estabilización de talud.

Figura 25

Análisis estático del perfil 01 – Método Morgensternprice.

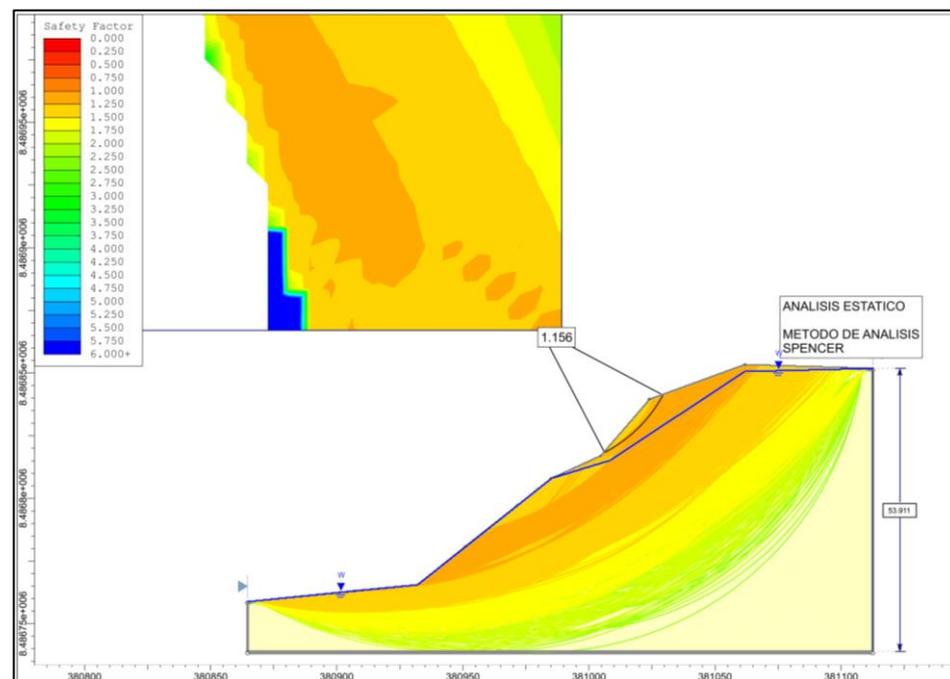


En la figura 25 se muestra el análisis estático del talud 01 por el método de Morgensternprice donde la dirección de las fuerzas que resultan se define mediante una función determinada mediante el equilibrio de fuerzas y momentos. Se aprecia que el FS es 1.156 valor que indica que el talud se encuentra en equilibrio.

Se asume que existe una función la cual relaciona las fuerzas cortantes y la fuerza normal entre las dovelas, la cual es constante, como en el caso del método de Spencer. La posibilidad de suponer una determinada función para determinar los valores de las fuerzas entre dovelas, lo hace un método más riguroso que el de Spencer (Morgenstern & Price, 1965).

Figura 26

Análisis estático del perfil 01 – Método Spencer.



En la figura 26 se muestra el análisis estático del talud 01 por el método de Spencer donde la dirección de las fuerzas entre dovelas es

paralela y tienen el mismo ángulo de inclinación. Se aprecia que el FS es 1.156 valor que indica que el talud se encuentra en equilibrio, pero según la norma CE 020 el talud es inestable por lo tanto requiere un método de estabilización de talud.

El método de Spencer es un método que satisface las fuerzas de equilibrio y de momentos. El método de Spencer (1967) se basa en el supuesto de que las fuerzas entre los segmentos son paralelas entre sí, es decir Tienen los mismos ángulos de pendiente (Spencer,1967).

Realizando el análisis del talud se observa una falla circular en los 3 métodos de análisis, y se observa que los FS son mayores a 1, posteriormente presentamos el resumen del análisis del talud 01 (Tabla 21).

Tabla 21

FS para el talud 01 en condiciones estáticas.

Método de Análisis	FS
Bishop Simplificado	1.16
Morgenstern-Price	1.15
Spencer	1.15

En el talud 01 mediante el método de Bishop simplificado se obtuvo un FS de 1.16 donde para estudiar las fuerzas, el análisis realizado fue mediante la división de la masa en dovelas verticales. Por otro lado, con el método de Morgenstern-Price se obtuvo un FS igual a 1.15. Finalmente se realiza el método de Spencer donde se obtuvo un FS igual a 1.15 donde se emplearon fuerzas paralelas entre los segmentos.

- **Análisis del talud 02**

Se procede a evaluar la sección del talud 02, donde se presenta una pendiente de 32° y una altura de 62 m, para lo cual ingresamos los datos obtenidos anteriormente de los ensayos de laboratorio al programa de análisis de taludes, los datos se observan en la (Tabla 22).

Tabla 22

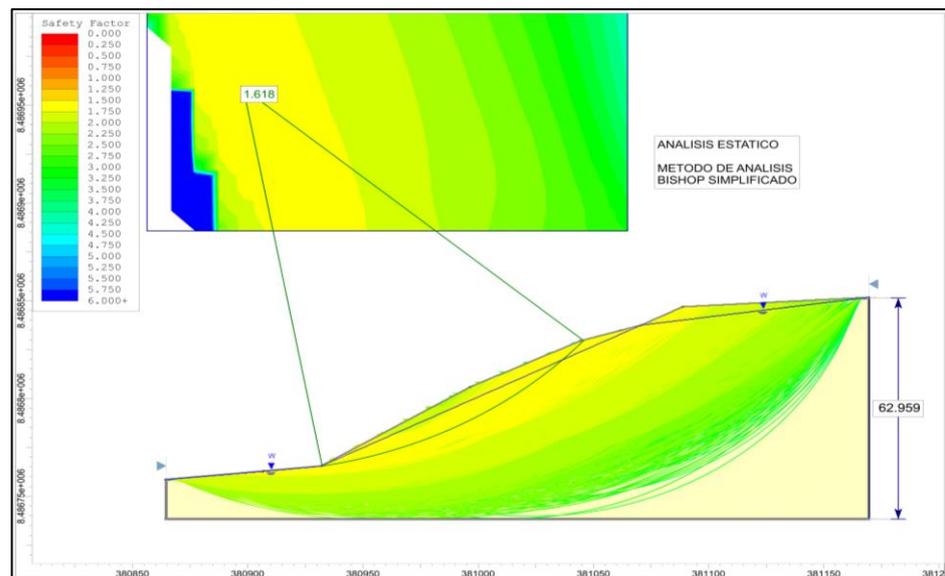
Parámetros de simulación para el talud 02.

Parámetros	Valor
Peso específico (kN/m^3)	13.48
Cohesión (Kg/cm^2)	0.1504
Angulo de fricción ($^\circ$)	36.80

Los datos que se presentan en la tabla 22 fueron obtenidos de laboratorio los cuales serán empleados para el análisis de estabilidad del talud 02. Teniendo el perfil del talud evaluamos el FS usando los procedimientos de Bishop Simplificado, Morgenstern - Price y Spencer. En el siguiente grafico se evalúa mediante el método de Bishop Simplificado (Figura 27).

Figura 27

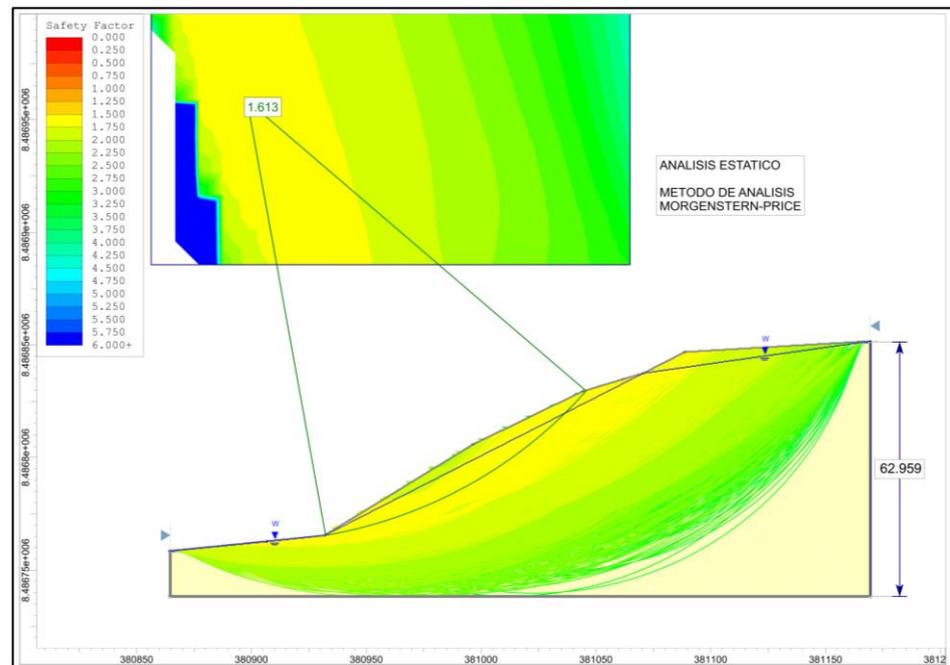
Análisis estático del perfil 02 – Bishop Simplificado.



En la figura 27 se muestra el análisis estático del talud 02 por el método de Bishop simplificado donde las fuerzas analizadas en las rebanadas son horizontales, lo cual indica que no existe tenciones de corte entre rebanadas, y gráficamente se aprecia que el FS es 1.618 valor que indica que el talud se encuentra estable según la norma CE 020 por lo tanto no requiere un método de estabilización de talud, en resumen, se considera un talud seguro con una condición de estabilidad aceptable.

Figura 28

Análisis estático del perfil 02 – Método Morgensternprice.

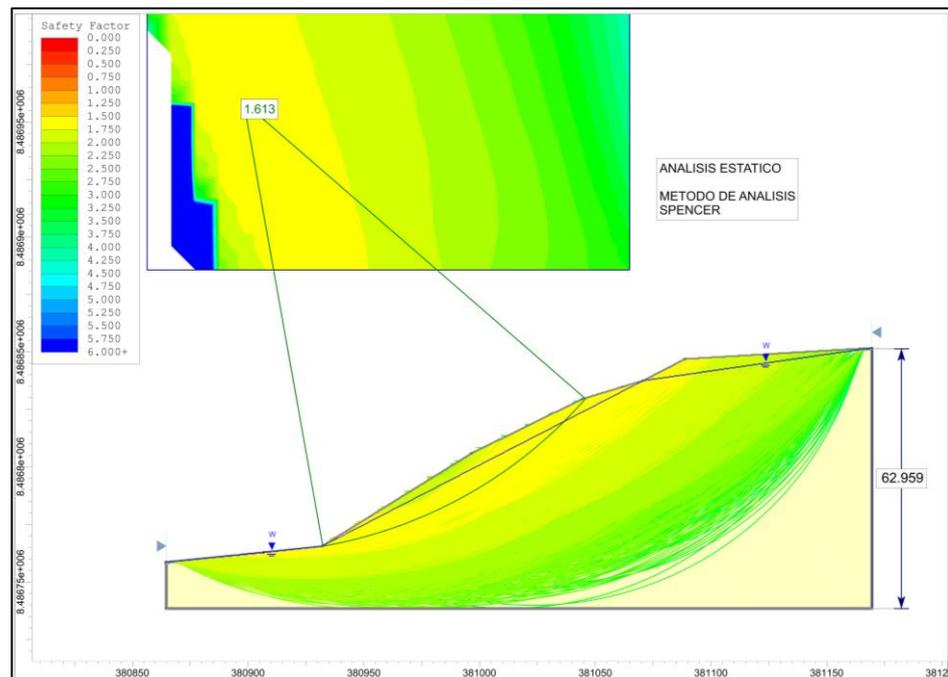


En la figura 28 se muestra el análisis estático del talud 02 por el método de Morgenstern Price donde la dirección de las fuerzas resultantes se define mediante una función determinada mediante el equilibrio de fuerzas y momentos. Se aprecia en el gráfico obtenido que el FS es 1.613 valor que indica que el talud se encuentra en estable y en buenas condiciones, según la norma CE 020 nos indica que se considera estable

cuando el FS es mayor a 1.5 por lo tanto en este caso no requiere un método de estabilización de talud. En resumen, se considera un talud seguro ya que el valor obtenido es mayor a 1.5 como FS.

Figura 29

Análisis estático del perfil 02 – Método Spencer.



En la figura 29 se muestra el análisis estático del talud 02 por el método de Spencer donde la dirección de las fuerzas entre dovelas es paralela y tienen el mismo ángulo de inclinación. Se aprecia que el FS es 1.613 valor que indica que el talud se encuentra estable según la norma CE 020 por lo tanto no requiere un método de estabilización de talud.

Tabla 23

FS para el talud 02 en condiciones estáticas.

Método de Análisis	FS
Bishop Simplificado	1.618
Morgenstern-Price	1.613
Spencer	1.613

Para el talud 02 mediante el método de Bishop simplificado se obtuvo un FS de 1.618 donde para estudiar las fuerzas, el análisis realizado fue mediante la división de la masa en dovelas verticales. por otro lado, con el método de Morgenstern-Price se obtuvo un FS igual a 1.613 y finalmente se realiza el método de Spencer, donde se obtuvo un FS igual a 1.613.

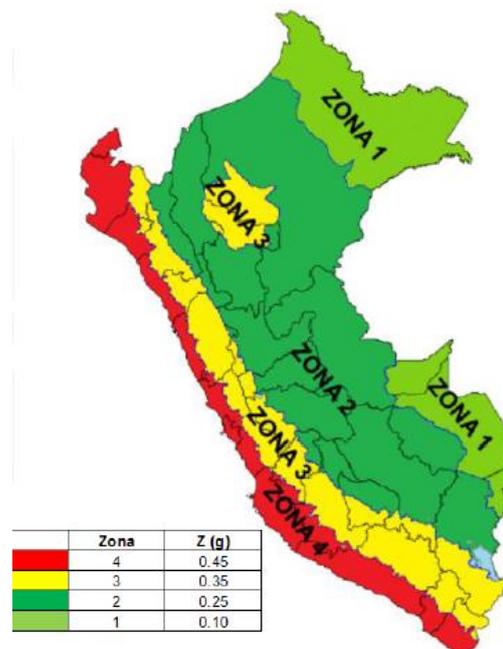
4.1.7.3. Análisis pseudoestático

4.1.7.4. Zonificación Sísmica

Considerando la norma E030 diseño sismo resistente (2016) del Reglamento Nacional de Edificaciones, nuestra zona de estudio se ubica en la zona 2 con valor de Z máximo de 0.25g, donde g es la aceleración de la gravedad

Figura 30.

Mapa sísmico del Perú.



Nota. DS N° 003-2016 Ministerio de Vivienda.

El coeficiente sísmico se puede leer como una aceleración (considerada como fracción de la aceleración g , pro gravedad) que causa un terremoto. Pero el poder pseudoestático se trata como una fuerza estática que actúa en una sola dirección. que las aceleraciones sísmicas tienen un efecto a corto plazo y cambian dirección, tiende a estabilizarse en lugar de desestabilizarse en algunos casos (Tabla 24) (Duncan & Christopher 2004).

Tabla 24

Valores de coeficiente k recomendados en el análisis pseudoestático.

Coeficiente Sísmico k	Observaciones
0,10	Sismo importante, FS > 1,0
0,15	Sismo de gran magnitud, FS > 1,0
0,15 a 0,25	Japón FS > 1,0
0,05 a 0,15	Estado de California
0,10 para $\mu = 6,5$	(Seed, 1979) con FS > 1,15)
0,15 para $\mu = 8,5$	
1/3 a 1/2 de la aceleración pico superficial	(Marcuson y Franklin, 1983) FS > 1,0
1/2 de la aceleración pico superficial	(Hynes, Griffin y Franklin, 1984) FS > 1,0 y un 20% de reducción de resistencia

Nota. Comportamiento sísmico de taludes (Suarez, 1998).

Generalmente, el coeficiente sísmico pseudoestático corresponde a una aceleración horizontal y usualmente no se tienen en cuenta las aceleraciones verticales y el coeficiente sísmico que se representa como una fuerza horizontal, además se recomienda utilizar valores entre 1/3 y 1/2 de la aceleración máxima esperada con las respectivas amplificaciones (Marcuson & Franklin, 1983)

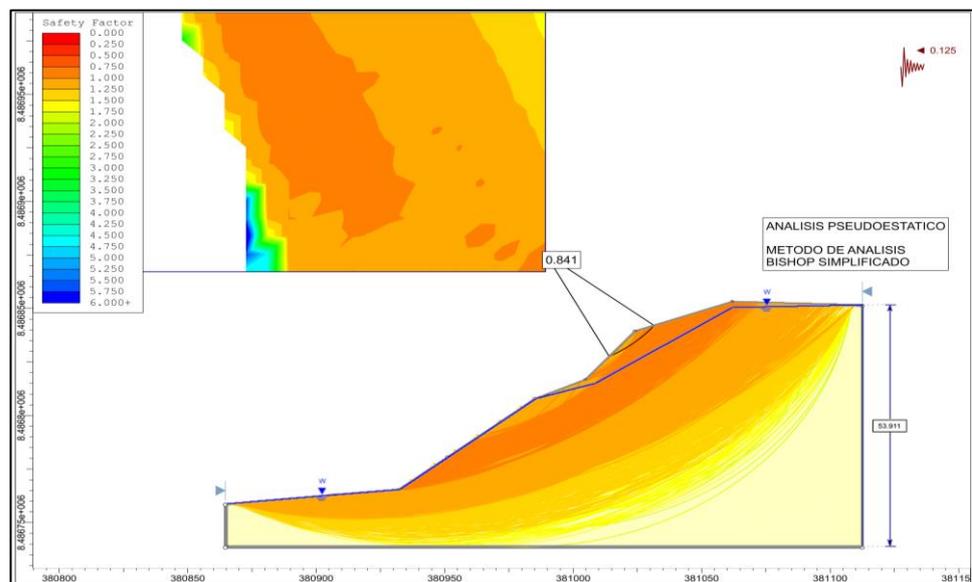
Para evaluar nuestro talud en condiciones pseudoestáticas consideramos $Z=0.25$, cuyo valor será multiplicado por $\frac{1}{2}$ de la aceleración máxima, así obtenemos un pico de aceleración igual a 0.125.

- **Análisis pseudoestático talud 01**

El análisis pseudoestático se observa en la (Figura 31)

Figura 31

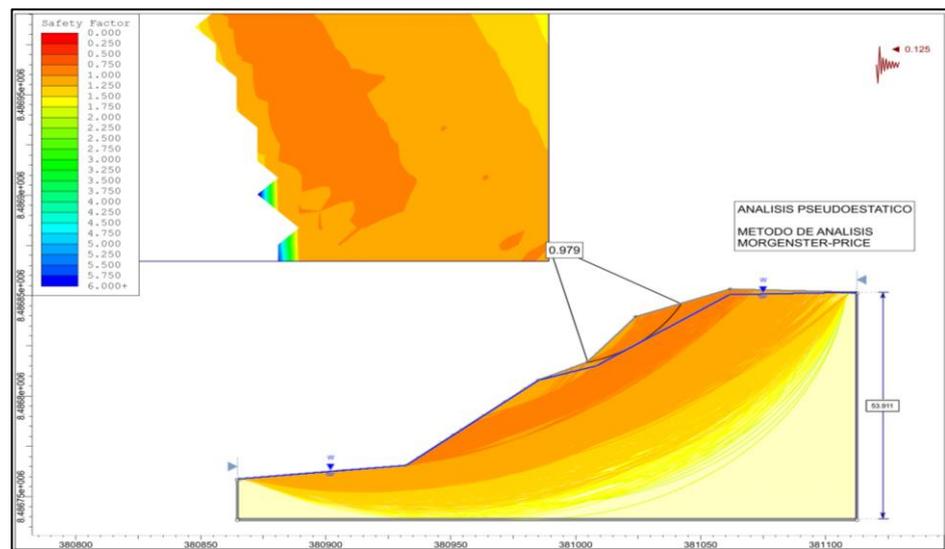
Análisis pseudoestático perfil 01 – Bishop Simplificado.



En la figura 31 se realizó el análisis pseudoestático por el método de Bishop Simplificado considerando una aceleración máxima de 0.125. en dicho gráfico se observa que el FS es de 0.841 cuyo valor es considerado inestable, ya que no supera el valor de 1.25 según la norma CE 020.

Figura 32

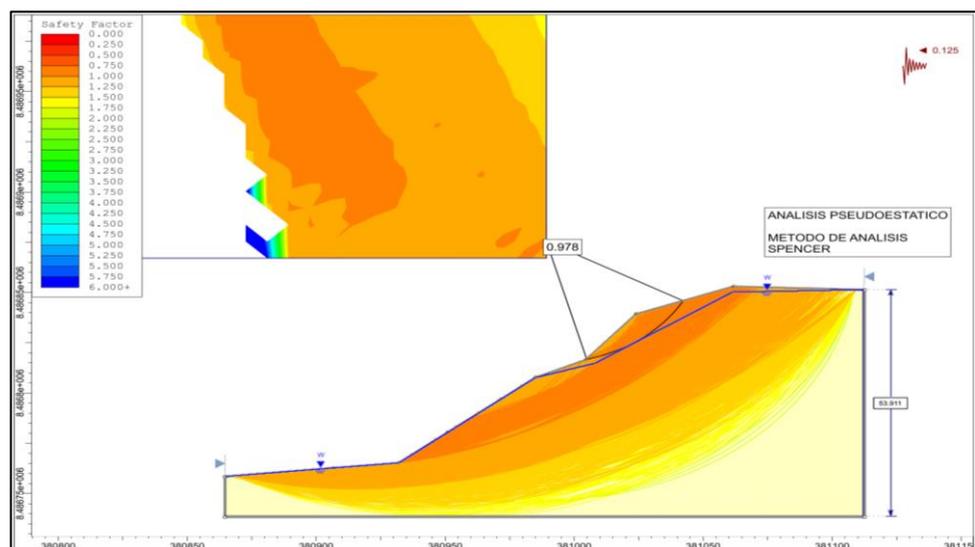
Análisis pseudoestático perfil 01 – Morgenstern-Price.



En la figura 32 se realizó el análisis pseudoestático por el método de Morgenstern Price considerando una aceleración máxima de 0.125. en dicho grafico se observa que el FS es de 0.979 cuyo valor es considerado inestable.

Figura 33

Análisis pseudoestático perfil 01 – Spencer.



En la figura 33 se realizó el análisis pseudoestático por el método de Spencer en dicho grafico se observa que el FS es de 0.978 cuyo valor es considerado inestable.

Tabla 25

FS para el perfil 01 en condiciones pseudoestáticas

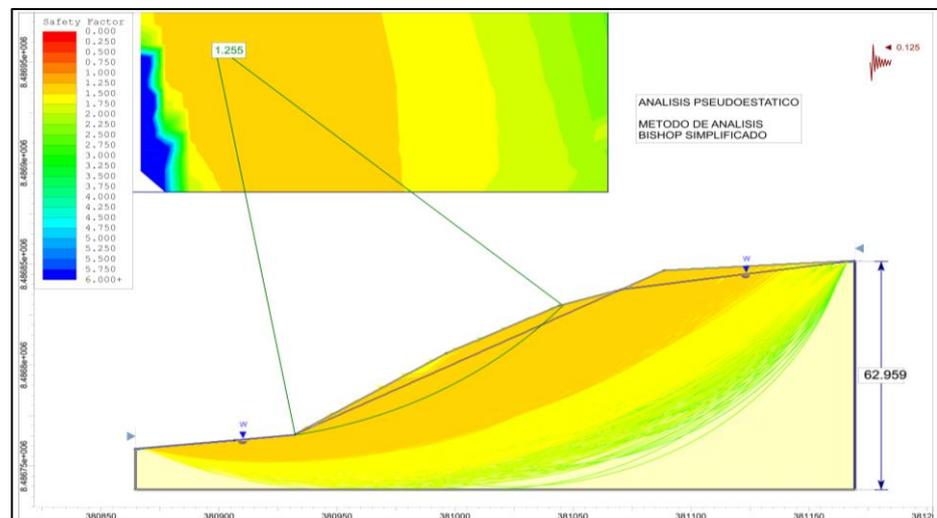
Método de Análisis	FS
Bishop Simplificado	0.841
Morgenstern-Price	0.979
Spencer	0.978

El talud 01 fue evaluado en condiciones pseudoestáticas por los métodos de análisis Bishop Simplificado, Morgenstern Price y Spencer, donde los FS son menores que 1 por ende, indica que el talud es inestable bajo condiciones pseudoestáticas, ya que los valores obtenidos se ubican por debajo de 1, valor mínimo de aceptabilidad sísmica (Marcuson & Franklin, 1983).

- **Análisis pseudoestático talud 02**

Figura 34

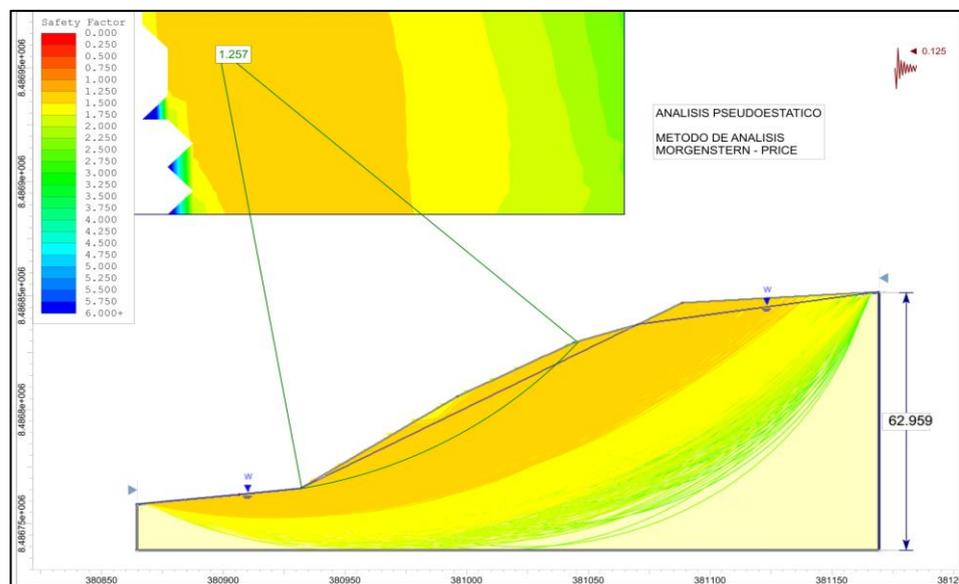
Análisis pseudoestático perfil 02 –Bishop Simplificado.



La figura 34 representa el análisis pseudoestático por el método de Bishop Simplificado, donde se considerando una aceleración máxima de 0.125. En dicho grafico se observa que el FS es de 1.255 cuyo valor es considerado estable, ya que supera el valor de 1.25 valor aceptable según la norma CE 020.

Figura 35

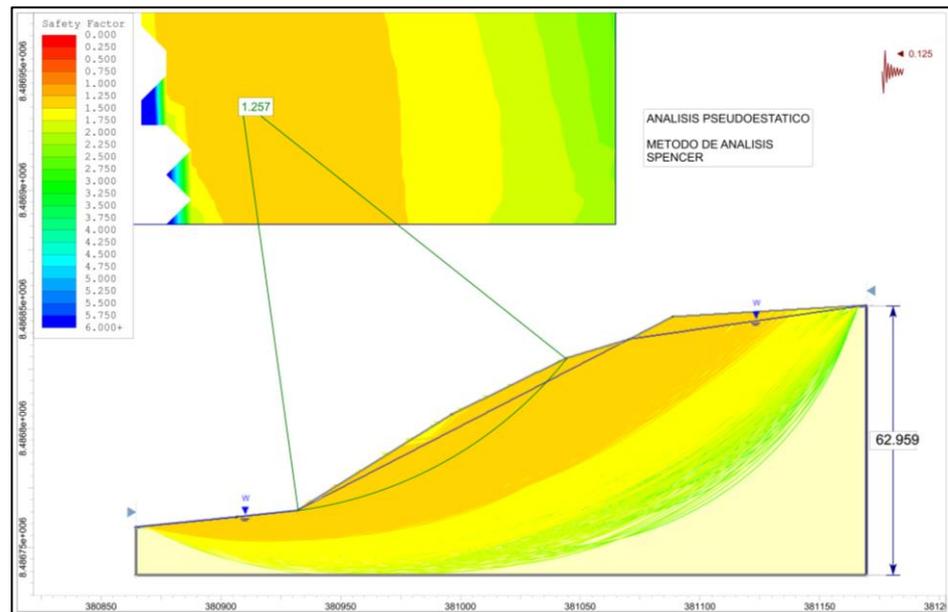
Análisis pseudoestático perfil 02 – Morgenstern-Price.



la figura 35 representa el análisis pseudoestático por el método de Morgenstern-Price donde se considerando una aceleración máxima de 0.125. en dicho grafico se observa que el talud evaluado tiene una altura de 62 m y un ángulo de 32°, y el FS obtenido mediante el análisis de estabilidad de talud es de 1.257 cuyo valor es considerado estable, ya que supera el valor de 1.25 valor mínimo que se debe considerar según la normativa peruana CE 020. Por lo tanto, se determina que el talud 02 es estable bajo las condiciones de sismicidad

Figura 36

Análisis pseudoestático perfil 02 – Spencer.



la figura 36 representa el análisis pseudoestático por el método de Spencer donde se considerando una aceleración máxima de 0.125. en dicho grafico se observa que el FS es de 1.257 cuyo valor es considerado estable, ya que supera el valor de 1.25 valor que indica la norma CE 020.

Tabla 26

FS para el perfil 02 en condiciones pseudoestáticas

Método de Análisis	FS
Bishop Simplificado	1.255
Morgenstern-Price	1.257
Spencer	1.257

El talud 02 fue evaluado en condiciones pseudoestáticas por los métodos de análisis Bishop Simplificado, Morgenstern Price y Spencer los cuales nos arroja los siguientes FS: 1.255, 1.257 y 1.257, los cuales indican que el talud es estable bajo condiciones pseudoestáticas, ya que los valores obtenidos se ubican por encima de 1, valor mínimo de aceptabilidad sísmica (Marcuson & Franklin, 1983), también se considera estable bajo

el criterio señalado por la norma CE.020 (2012) donde se señala que para un escenario pseudoestático el factor mínimo de seguridad es de 1,25.

4.1.8. Resumen general

Considerando todos los valores obtenidos, se resume las condiciones de los taludes en el siguiente cuadro (Tabla 27):

Tabla 27

Resumen de las condiciones de estabilidad del talud 01 y 02.

Perfil	Evaluación	FS	Promedio	Condición
Talud 01	Estático	1.162, 1.156 y 1.156	1.16	Equilibrio
	Pseudoestático	0.841, 0.979 y 0.978,	0.93	Inestable
Talud 02	Estático	1.618, 1.613 y 1.613	1.62	Estable
	Pseudoestático	1.255, 1.257 y 1.257	1.26	Estable

Teniendo los resultados generales en la tabla se deduce que el talud 01 se considera en equilibrio en condiciones estáticas debido a que el FS es 1.16 lo cual indica el talud es relativamente estable, pero en condiciones pseudoestáticas el FS es 0.93 valor que indica inestabilidad bajo condiciones sísmicas. Por otro lado, en talud 02 se aprecia que el FS es 1.62 y la condición que se encuentra es estable, por otro lado, en condiciones sísmicas el FS es 1.26 valor que está dentro del rango aceptable como estable, toda la evaluación se dio basándonos en la norma (CE.020, 2012).

4.1.9. Propuesta al talud inestable

4.1.9.1. Propuesta de estabilización para la sección del talud inestable

a) Procedimiento para el cálculo del FS.

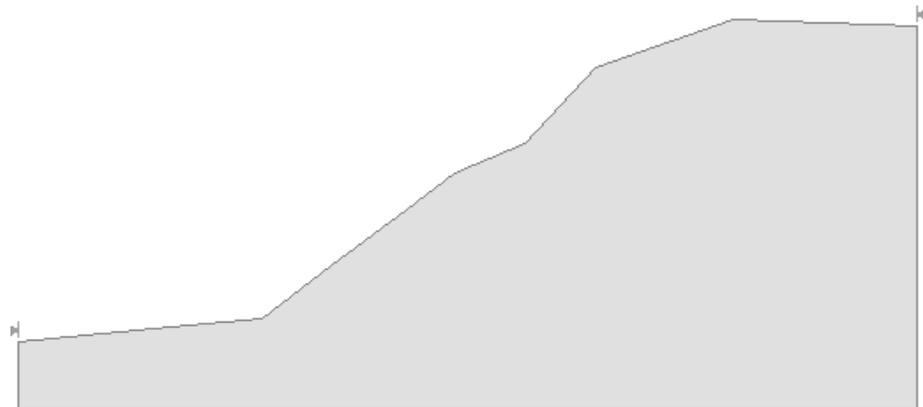
Según los resultados obtenidos se aprecia que el talud 01 está en condiciones de equilibrio, pero es inestable basándonos en la norma CE.020 (2012), para lo cual planteamos la modificación de la geometría del talud 01, realizando cortes en la sección además añadimos tramos horizontales generando bancos, de esta forma se libera la carga adicional que se poseía en el talud general (Figura 38). La modificación se hizo en función a criterio y a lo recomendado en la norma MTC CE020 y “Manual de Carreteras: Diseño geométrico DG-2018”, esta modificación se propuso debido a su práctico y menor costo de ejecución

- **Talud 01, geometría natural:**

Altura Natural = 53 m, longitud natural = 112 m y pendiente natural = 37°

Figura 37

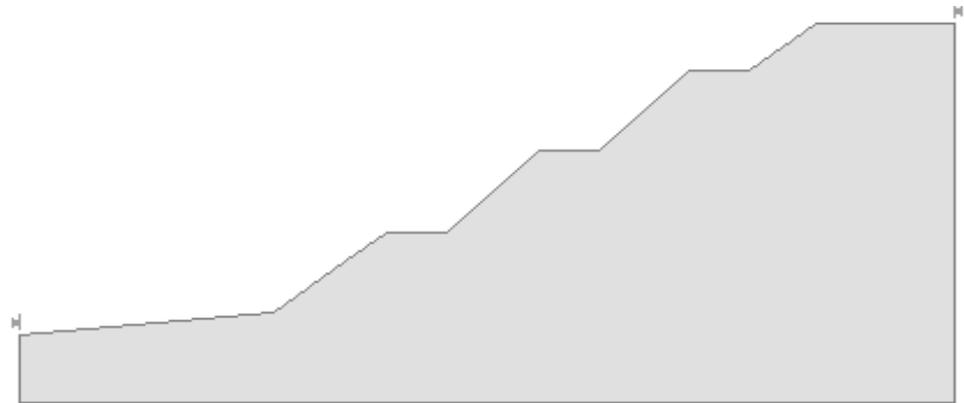
Forma natural del talud 01.



- **Talud 01, geometría modificada asumida:**

Figura 38

Forma modificada del talud 01.



Se realizan tres cortes horizontales en la sección del talud general, la primera a una altura de 15.00 m donde se genera una berma de 10.00 m de longitud a partir de este punto se genera otro corte horizontal a una altura de 15.00 m donde se genera otra berma de 10.00 m de longitud, y finalmente de esta cota se realiza otro corte a una altura de 15.00 m con una berma de 10.00 m realizado los cortes se obtendrá tres bancos con las siguientes medidas (Tabla 28).

Tabla 28

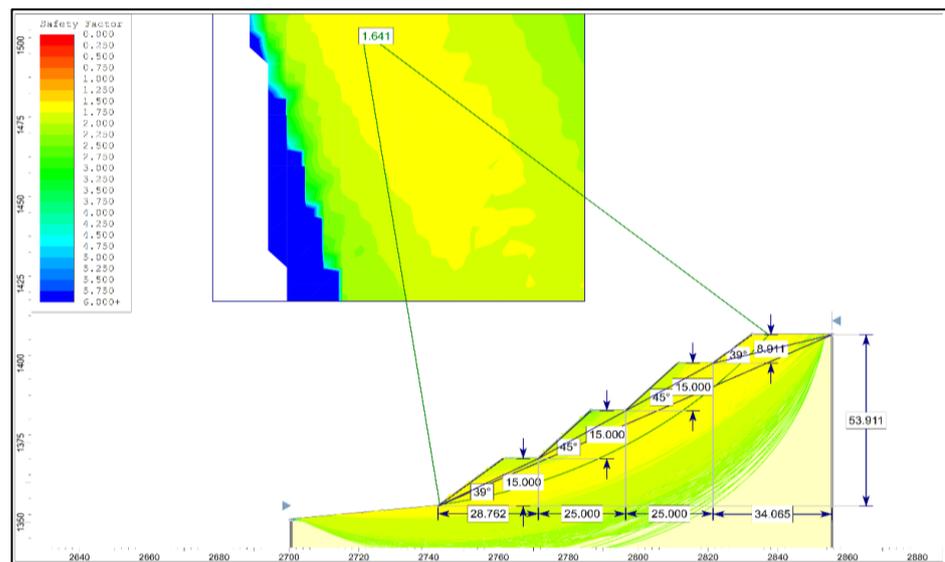
Medidas planteadas para los cortes de sección.

TALUD 01 MODIFICADO	TB-1	TB-2	TB-3	TB-4
Altura	15 m	15 m	15 m	8 m
Longitud	28.7 m	25 m	25 m	34 m
Angulo	39°	45°	45°	39°

Posteriormente se realizó el modelado con la nueva geometría diseñada en el software Slide 6.0 considerando las modificaciones planteadas. Donde se obtuvo un FS superior a 1.5, (Figura 39).

Figura 39

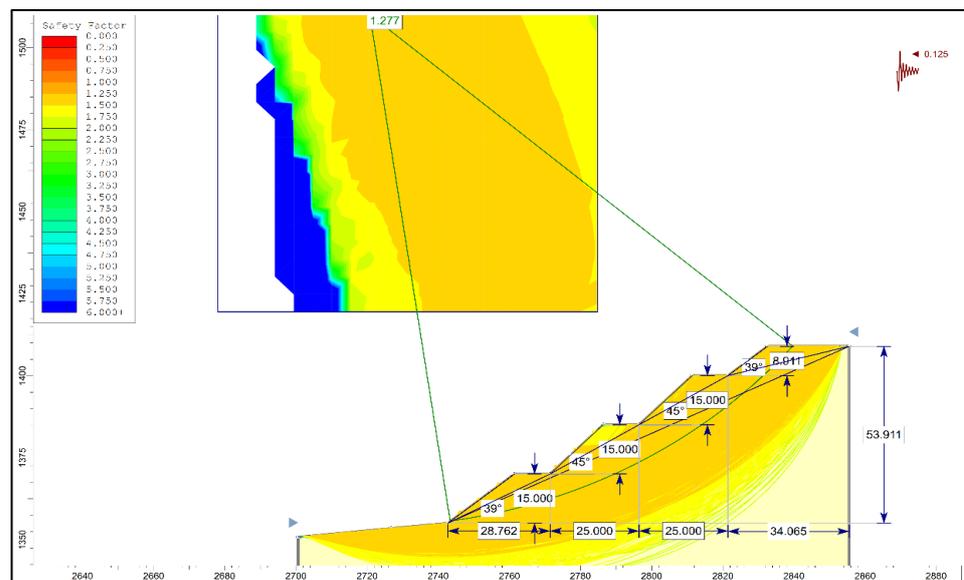
Análisis estático del perfil 01 (modificado) – Bishop Simplificado.



Se realizó el análisis con la nueva geometría considerando las modificaciones planteadas mediante el método de Bishop simplificado, donde se obtuvo un FS de 1.641, valor que es superior a 1.5, de esta forma se logró estabilizar el talud 01 en condición estática.

Figura 40

Análisis pseudoestático del perfil 01 (modificado) – Bishop simplificado.

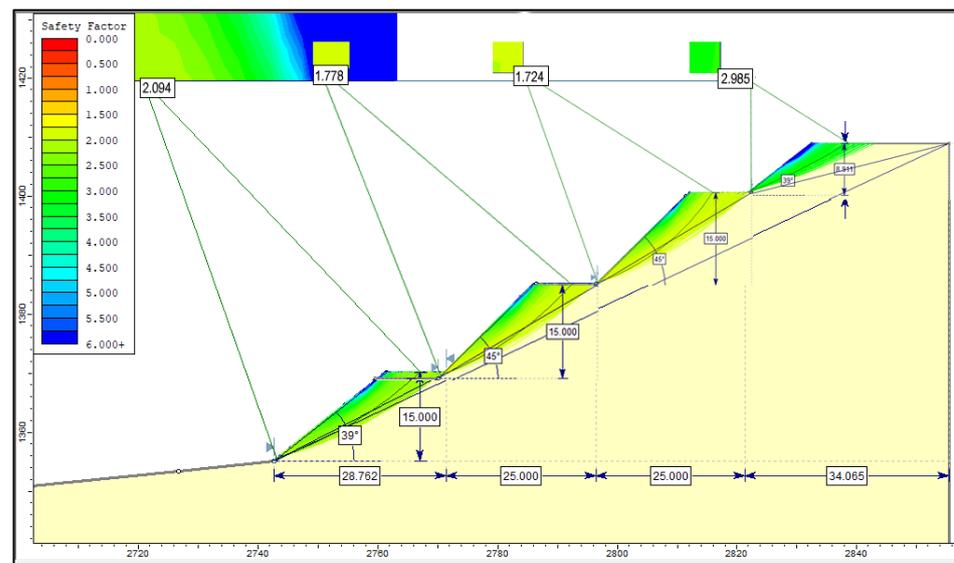


Considerando el análisis del talud 01 en condición pseudoestática con el método de Bishop simplificado, se obtuvo un FS de 1.277, valor que se considera estable según la norma CE 020 que nos indica que debe ser superior a 1.25, de esta forma también se logró estabilizar el talud 01 en condición pseudoestática.

Además, se realizó el análisis simple de cada banco generado, mediante el método de Bishop simplificado, logrando la estabilidad de cada uno de ellos (Figura 41).

Figura 41

Análisis estático de los bancos generados, Bishop simplificado.



b) Descripción del análisis de la prueba

A partir de los cambios generados en la geometría del talud, se logró obtener nuevos resultados, mediante el método de Bishop simplificado un FS global igual a 1.64 superando el valor mínimo establecido por la norma CE020 estabilización de suelos y taludes que indica como valor mínimo para la estabilidad 1.5 y por otro lado en

condiciones pseudoestáticas se logró obtener un FS igual a 1.27. Asimismo, en los bancos generados se obtuvieron 2.09, 1.77, 1.72 y 2.98 como FS todos ellos considerados estables (Tabla 29).

Tabla 29

Comparación de FS talud 01.

Método de análisis	FS - Antes	FS - Después
Bishop simplificado	1.16	1.64
Morgenstern-Price	1.15	1.63

El planteamiento establecido nos permitió incrementar el FS del talud 01, la cual se encontraba en condiciones de EQUILIBRIO con un FS de 1.16 en condiciones estáticas. Al plantear las nuevas modificaciones en la geometría del talud se obtuvo un nuevo valor del FS igual a 1.64, cuyo valor es considerado como un talud ESTABLE según la norma CE020 estabilización de suelos y taludes.

4.2. DISCUSIÓN

En esta investigación, se lograron cumplir los objetivos propuestos, obteniendo los parámetros geotécnicos necesarios para evaluar la estabilidad de los taludes, utilizando los métodos de Bishop Simplificado, Morgenstern-Price y Spencer. Se determinó el FS y se propusieron medidas de estabilización para el talud inestable.

El análisis del talud T-01 mostró un FS de 1.16, lo cual no está dentro del rango aceptable según la normativa nacional (CE 020), que establece un FS mínimo de 1.5 para considerar un talud estable. La inestabilidad en este talud se atribuye a la presencia de grietas tensionales y la sismicidad, como se reportó en la investigación de Carpio (2020).



En nuestra investigación, se realizaron excavaciones, ensayos, y además se modificó la geometría del talud creando bancos, lo que resultó en un FS global de 1.64, indicando estabilidad según los criterios establecidos. De la misma forma se coincide con Torres (2019) quien sugiere que la modificación de la geometría es una alternativa eficaz para estabilizar taludes.

En este sentido, logramos un FS estático de 1.58 y un FS en condiciones pseudoestáticas mayores a 1. Además, para controlar la erosión, se recomendaron canales de coronación y estructuras de descote. Durand (2022) también señala la importancia de usar parámetros geotécnicos como el peso específico, la cohesión y el ángulo de fricción, datos que fueron igualmente utilizados en nuestra investigación, para determinar la estabilidad de los taludes, en sus resultados se obtuvieron FS menores a 1 debido a que se presentan suelos arenosos e inestables, datos que difieren con los nuestros.

El análisis de estabilidad se realizó considerando los parámetros del suelo, las características geotécnicas y geométricas, tanto en condiciones estáticas como pseudoestáticas. Utilizamos métodos de equilibrio límite debido a su capacidad para evaluar perfiles geométricos de manera rápida y confiable, utilizando el software Slide 6.0. Este programa, recomendado por Monrroy (2023), y otros investigadores, permitió la incorporación de materiales de trabajo y la modelación en 2D, asegurando resultados que cumplen con los estándares establecidos. A la vez se coincide con Durand (2022) quien destaca la importancia de conocer bien el software y los métodos matemáticos para obtener resultados fiables. En nuestra investigación, se realizó una simulación del proceso constructivo para el cambio de geometría del talud T-01, siguiendo las recomendaciones de Hospinal (2020) donde la simulación en condiciones estáticas y pseudoestáticas permitió cumplir con los parámetros mínimos establecidos por la normativa CE0.20.



V. CONCLUSIONES

Se ha permitido caracterizar adecuadamente los suelos de los taludes T-01 y T-02, identificando sus propiedades mecánicas y clasificatorias según los sistemas SUCS y AASHTO. Se revelaron que ambos taludes presentan FS satisfactorios, superiores a 1.5 en condiciones estáticas y adecuados en situaciones pseudoestáticas, confirmando su estabilidad actual. Esta investigación destaca la importancia de realizar evaluaciones geotécnicas exhaustivas para garantizar la seguridad de las infraestructuras en áreas con taludes. En resumen, los resultados obtenidos contribuyen a una mejor comprensión del comportamiento de los suelos en taludes y a la implementación de estrategias efectivas para su manejo y conservación.

Se realizó la caracterización geotécnica del suelo mediante la obtención de muestras en cada talud, en el talud T-01 la clasificación SUCS es un suelo de partículas finas y limos, también se representa como limo arcilloso con poca presencia de contenido orgánico OL-CL, y en la clasificación AASHTO es un suelo de material granular A1-A3 grabas y arenas limosas o arcillosas A-4a A-2-a, asimismo se determinó un peso específico de 12.31 con una cohesión de 10.44 y un ángulo de fricción interna 35.29. Por otro lado, para el talud T-02 la clasificación SUCS es un suelo de partículas gruesas con arena arcillosos limoso con grava Sc-SM, y en la clasificación AASHTO material granular excelente a bueno como sub grado A-2-4 grava arena arcillosa o limosa, y se determinó un peso específico de 13.48 con una cohesión de 15.04 y un ángulo de fricción interna 36.80.

Para determinar los FS se emplearon tres métodos, (Bishop Simplificado, Morgenstein Price y Spencer), obteniendo como resultado en el talud 01 un FS mayor a 1.5 en condición estática, y de igual forma mayor a 1 en condiciones pseudoestáticas,



logrando determinar que el talud es estable, y en el talud 02 se logró obtener un FS mayor a 1.5 en condición estática y mayor a 1.25 en condiciones Pseudoestaticas, logrando de igual forma un talud estable.

Se determino el tipo de estabilización para el talud inestable proponiendo el cambio de su geometría con la generación de cuatro nuevos bancos, el primer banco con una altura de 15 m con una longitud de 28.7 m y un ángulo de 39° , el segundo banco con una altura de 15 m con una longitud de 25 m y un ángulo de 45° , el tercer banco con una altura de 15 m con una longitud de 25 m y un ángulo de 45° , y el cuarto banco con una altura de 8 m con una longitud de 34 m y un ángulo de 39° . Considerando las nuevas medidas se logró estabilizar el talud 01.



VI. RECOMENDACIONES

Para futuros investigadores se sugiere llevar a cabo una investigación más exhaustiva para caracterizar los suelos, identificando los materiales presentes y sus propiedades geotécnicas y geomecánicas mediante un mayor número de puntos de muestreo. Se recomienda realizar un mayor número de ensayos en campo y laboratorio para obtener datos más precisos, y así lograr un entendimiento más completo de los materiales del suelo, que ayudaran a una mejor interpretación de las condiciones de estabilidad de los taludes.

Para la caracterización de suelos, se recomienda una investigación más profunda para así poder estudiar los estratos que se presentan y determinar las propiedades geotécnicas de cada una. Para futuros estudios se recomienda realizar ensayos de SPT (standard penetración test) ensayo que ayuda a conocer ampliamente los materiales existentes en el suelo.

Se recomienda que se investiguen y desarrollen métodos de modelado en 3D, que incorporen factores como las diferenciaciones en la geología y la dinámica del agua subterránea de manera más precisa. Esto podría incluir el uso de modelos de elementos finitos o técnicas de modelado numérico avanzado.

Es importante establecer programas de monitoreo continuo para taludes inestables identificados durante el estudio. Se recomienda la instalación de instrumentación geotécnica, como: inclinómetros y piezómetros, para monitorear las condiciones de estabilidad durante el tiempo y detectar cualquier anomalía que pueda requerir acción preventiva.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alpaca & Cahuana. (2022). *Análisis de la estabilidad del talud del tramo 23+710, carretera Yaurisque-Ranracasa-Paruro y Propuesta de estabilización, Cusco, 2022*. <https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/5557>
- Blas, J. (2023). *Caracterización geotécnica para determinar el modelo de estabilización de talud a escala reducida, barrio Los Olivos, Independencia, Huaraz, Ancash, Perú – 2021*. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/item/321443cb-fba1-4a33-b916-bcde1f037695>
- Borselli, L. (2017). *Geotecnia I*. www.lorenzo-borselli.eu
- Bowles, J. (1982). *Propiedades geofísicas de los suelos*.
<https://stehven.files.wordpress.com/2015/08/josephe-e-bowles-manual-de-laboratorio-de-suelos.pdf>
- Bustamante & Garcia. (2018). *Evaluación del factor de seguridad del talud correspondiente a la quebrada de Sipaspucyo, en función a la topografía, estudios de infiltración y propiedades mecánicas de los suelos*.
<https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/2723>
- Carpio, G. (2020). “*Analizar la estabilidad de laderas de los deslizamientos en suelos arcillosos*” caso de los poblados de Lutto, Kututo y Llusco, región Cusco.
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNMS_dc6609c9fa6b17e31f73166faa7c8d15/Details
- Cerquera, D. (2023). *Análisis de estabilidad del talud ubicado en el Pr 13-4506 del proyecto autovía Neiva-Girardot*.
<https://repository.ucc.edu.co/entities/publication/9ca6ff31-b767-4ab2-aace-b1a698242c8b>



Cheng & Lau. (2008). *Slope stability analysis and stabilization*.

<https://www.routledge.com/Slope-Stability-Analysis-and-Stabilization-New-Methods-and-Insight-Second-Edition/Cheng-Lau/p/book/9781138075504>

Das, B. (2013). *Fundamentos de ingeniería geotécnica Cuarta edición*.

https://www.academia.edu/36776734/Fundamentos_de_ingenieria_geotecnica_braj_a_m_das_4ta_edicion

Duncan & Christopher. (2004). *Rock slope engineering: Civil and Mining, 4th edition*.

https://civilengineering.files.wordpress.com/2014/10/rock_slope_engineering_civil_and_mining.pdf

Duque & Escobar. (2017). *Geotecnia para el trópico andino*.

<http://www.bdigital.unal.edu.co/53560/>

Durand, C. (2022). *Análisis probabilístico y determinístico para la estabilidad de taludes en suelos arenosos del sector Lomo de Corvina-Villa el Salvador*.

<https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/5893>

Gerscovich, D. (2013). *Estabilidad de taludes*.

http://ofitexto.arquivos.s3.amazonaws.com/Estabilidade-de-taludes-2ed_DEG.pdf

Gonzalez, V. (2002). *Ingeniería geológica*.

<https://geocontacto.com/download/ingenieria-geologica-luis-i-gonzalez-de-vallejo/#page-content>

Hospinal, M. (2020). *Propuesta de estabilidad de taludes en tramos sinuosos en la carretera Mollepata - Pallasca*.

<https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/3831>

IGME. (1986). *Manual de taludes*.

https://info.igme.es/SidPDF/065000/075/65075_0001.pdf



- Juárez, B. (2005). *Mecánica de suelos*. <https://veteranos1927.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/05/mecanica-de-suelos-tomo-1-juarez-badillo.pdf>
- Lopez & Reyes. (2023). *Evaluación geotécnica de sostenimiento de taludes en suelos gravosos de Lima utilizando muros anclados para la construcción de sótanos del proyecto Midtown Item Type info:eu-repo/semantics/bachelorThesis*.
<http://hdl.handle.net/10757/670643>
- Lopez, E. (2016). *Estudio geotécnico y diseño del talud final de una mina a cielo abierto aplicando modelos numéricos*.
<https://cybertesis.unmsm.edu.pe/item/b0c4fdd9-e583-4d3a-9c0f-3d0dbf1c0c97>
- Marcuson & Franklin. (1983). *Seismic design, analysis, and remedial measures to improve stability of existing earth dams*.
<https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA133437>
- Matteis, Á. (2003). *Estabilidad de taludes*. <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-de-la-frontera/gestion-de-operaciones/estabilidad-de-taludes/7522003>
- Mendoza, J. (2016). *Análisis de estabilidad de taludes de suelos de Gran altura en la mina Antapaccay*. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7614>
- Morgenstern & Price. (1965). *Slope stability*. <https://help.geostru.eu/slope/en/51.htm>
- MTC. (2016). “Manual de ensayo de materiales.” www.mtc.gob.pe
- Norma E050. (1997). *Reglamento nacional de construcciones suelos y cimentaciones*.
<https://www.jorgealvahurtado.com/files/N.T.E.%20E%20050%20-%20Suelos%20y%20Cimentaciones.pdf>
- Pérez, E. (2005). *Estabilidad de taludes*. <https://deca.upc.edu/es/el-departamento/secciones/itcg/docencia/asignaturas/geolquat/ejercicios/P2/analisis-estabilidad>



- Ponce, V. (2018). *Drenaje de carreteras*.
https://ponce.sdsu.edu/drenaje_de_carreteras_indice.html
- Rey, A. (2006). *Hormigón proyectado dosificación, fabricación y puesta en obra*.
<https://www.concretonline.com/images/pdf/hormigon/articulos/sika05.pdf>
- Rico, C. (2005). *La ingeniería de suelos en las vías terrestres: Carreteras, ferrocarriles y aeropistas*.
https://books.google.com.co/books?id=rU_pA257zUEC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false
- Rodríguez, J. (2019). *Estudio geotécnico para tajo, Proyecto Coroccohuayco - Cusco - Perú*. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/item/4646050a-da78-4503-8e22-741acfe032eb>
- Sackschewski, C. (2017). *Soluciones para la estabilidad de taludes de la carretera Canta –Huayllay entre las progresivas delkm 102 al km 110* [UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS]. <https://core.ac.uk/reader/323346680>
- Sanhuesa, R. (2013). *Análisis comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales*.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=127628890003>
- Soto, M. (2023). *Analizar el impacto de las raíces de árboles en la estabilidad de taludes*. <http://repositorio.udec.cl/xmlui/handle/11594/10873>
- Suarez, D. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*.
<https://desastres.medicina.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0101/doc0101-parte01.pdf>
- Torres, L. (2019). *Estabilidad de taludes para mejorar la transitabilidad y seguridad en los tramos críticos de la carretera Montesecco, distrito Catache*.



https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UEPU_8ceee57174929266690119fb9f3e7c75

Troncoso, J. (1997). *Fundamentos de ingeniería geotécnica antisísmica*. Ediciones Universidad Católica de Chile. https://catalogobiblioteca.ingemmet.gob.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=13737&shelfbrowse_itemnumber=13737

Venkataramaiah, C. (2006). *Geotechnical Engineering*.
https://www.hzu.edu.in/engineering/Geotechnical_Engineering.pdf

ANEXOS

ANEXO 1. Muestreo en calicata N° 01



ANEXO 2. Calicata N° 01



ANEXO 3. Perfil de talud N° 01



ANEXO 4. Muestreo en calicata N°02



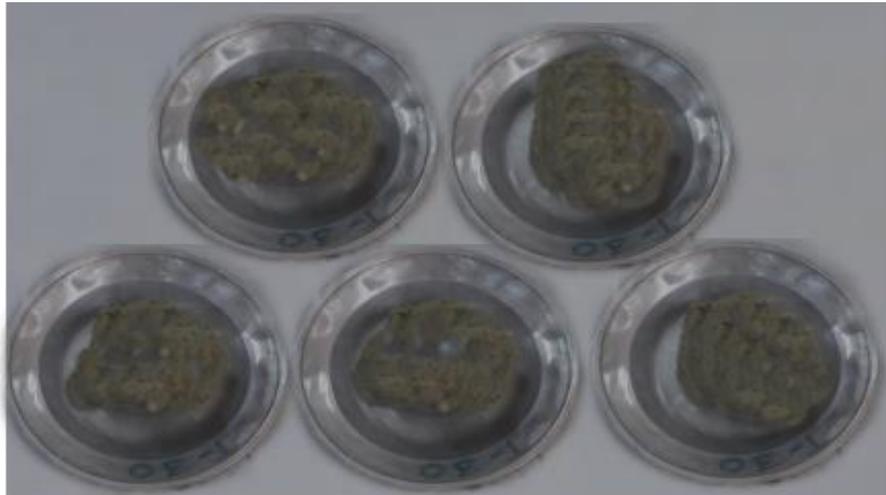
ANEXO 5. Calicata N° 02



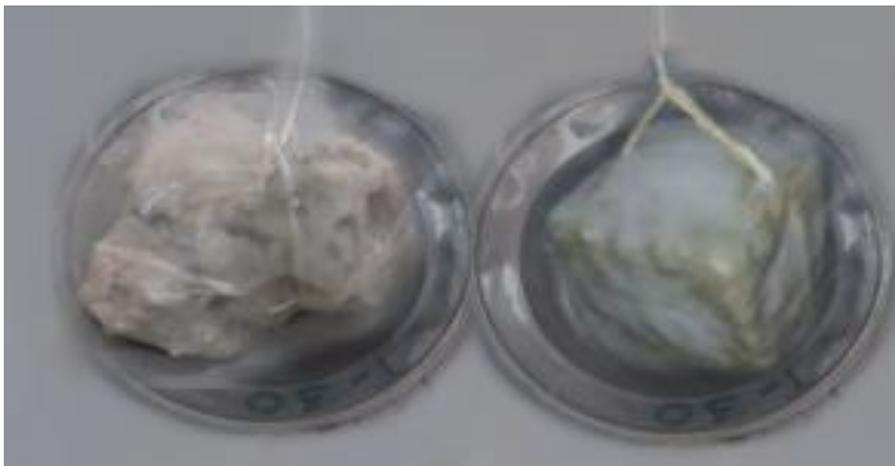
ANEXO 6. Perfil de talud N° 02



ANEXO 7. Muestras de suelo para contenido de humedad



ANEXO 8. Muestras de suelo parafinado



ANEXO 9. Ensayo de granulometría



ANEXO 10. Ensayo de limite liquido



ANEXO 11. Ensayo de limite plástico



ANEXO 12. Ensayo de corte directo



ANEXO 13. Ficha para determinar propiedades de índice

	Peso de Mues	Peso húmedo	Peso seco	Contenido de humedad	Peso seco + parafina	Peso parafina	Peso sumergido	Densidad parafina	Volumen parafina	Volumen muestra	Densidad seca	Porosidad aparente	Peso específico aparente
	(g)	(g)	(g)	(%)	(g)	(g)	(g)	(g/cm ³)	(cm ³)	(cm ³)	(g/cm ³)	(%)	(KN/m ³)
1													
2													
3													
4													
5													
Numero de resultados													
Valor máximo													
Valor mínimo													
Mediana													
Promedio													
Desviación estándar													

ANEXO 14. Ficha para determinar límites de consistencia

Determinacion de Limites de Consistencia

LIMITE LIQUIDO (ASTM-D4318 00)

N° de Tara	T-1	T-2	T-3	T-4
Peso Suelo Húmedo + Tara (g)				
Peso de Suelo Seco + Tara (g)				
Peso de Tara (g)				
Peso de Suelo Seco (g)				
Peso de Agua (g)				
Contenido de Humedad (%)				
Número de Golpes				

LIMITE PLASTICO (ASTM-D4318 00)

N° de Tara	
Peso Suelo Húmedo + Tara (g)	
Peso de Suelo Seco + Tara (g)	
Peso de Tara (g)	
Peso de Suelo Seco (g)	
Peso de Agua (g)	
Contenido de Humedad (%)	

Limite Liquido (L.L. %)

Limite Plástico (L.P. %)

Indice de Plasticidad (I.P. %)

Pasa tamiz N° 4 (5mm) %

Pasa tamiz N° 200 (0.080 mm) %

D60 (mm.)

D30 (mm.)

D10 (diámetro efectivo) (mm.)

Coefficiente de uniformidad (Cu):

Grado de curvatura (Cc):

Calsificación SUCS

Calsificación AASTHO

INDICE DE GRUPO

Gráficos

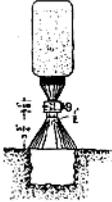
DIAGRAMA DE FLUIDEZ

• % de Humedad — Curva de Fluides - - - LL 25 Golpes

CARTA DE PLASTICIDAD

CLASIFICACION (AAHSTO)

ANEXO 15. Ficha para determinar densidad in situ



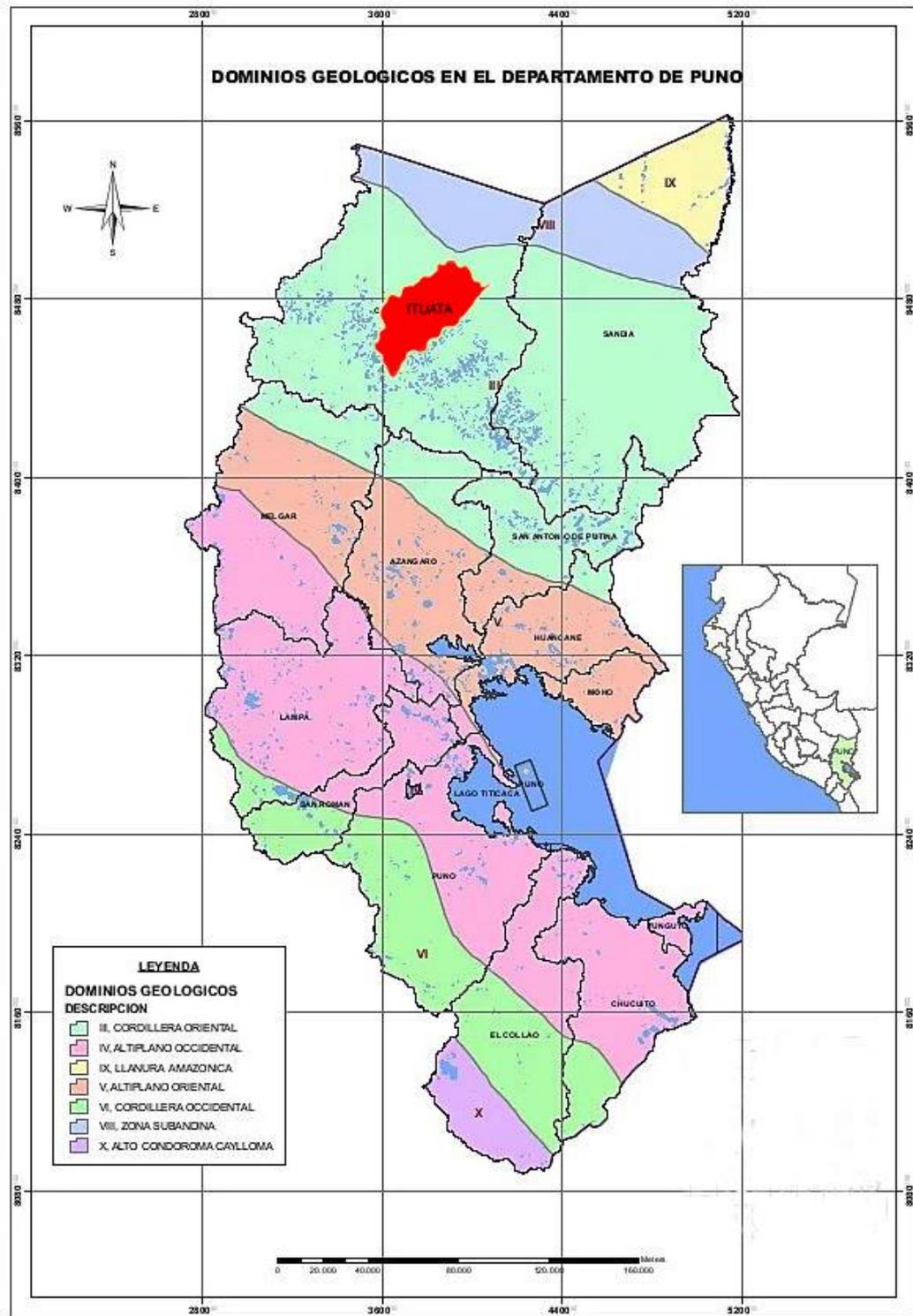
DENSIDAD IN SITU

SOLICITA : _____
 MUESTRA : _____
 FECHA : _____

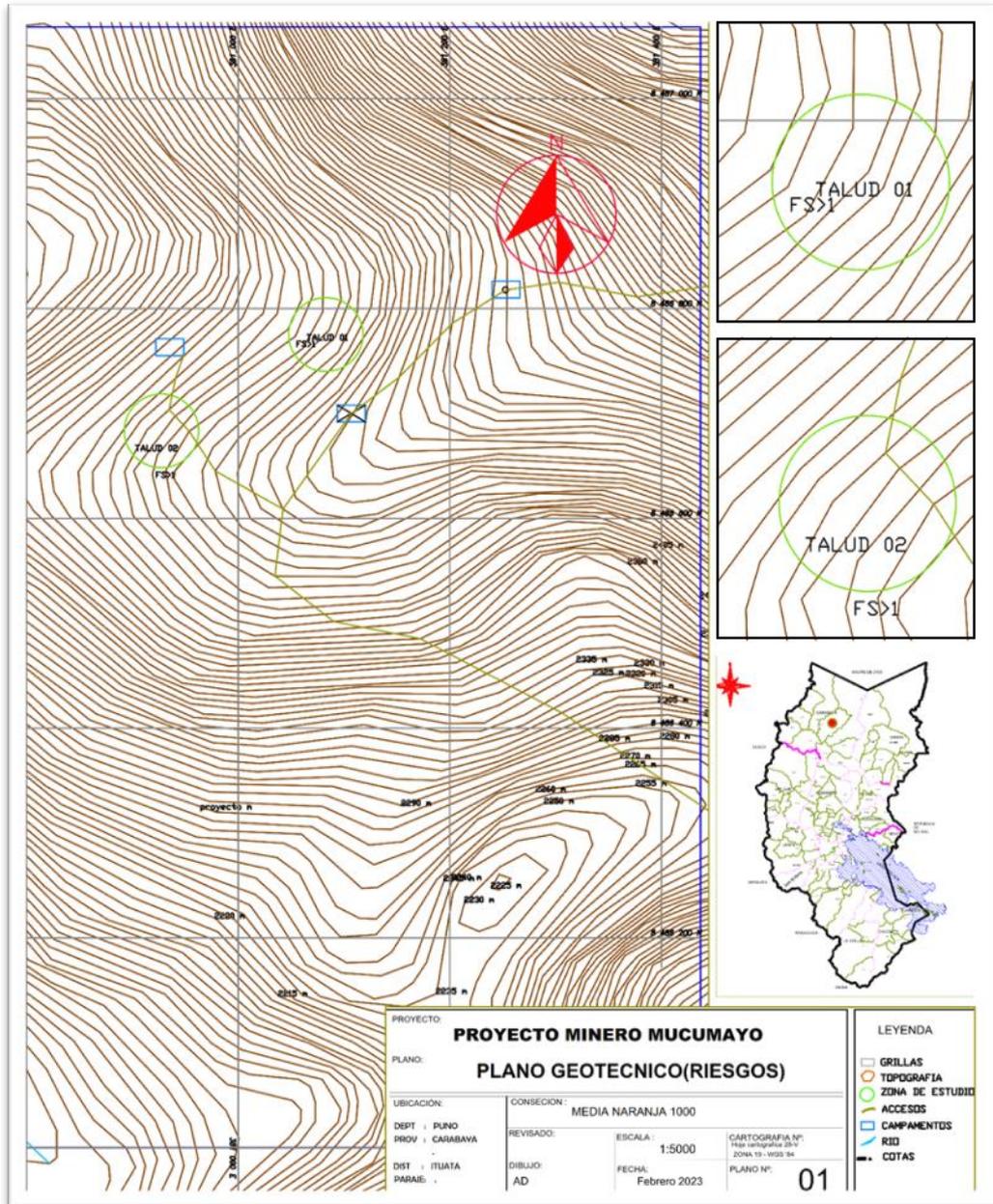
DENSIDAD IN SITU N°	UNIDAD	1	2	3	4
PUNTO DE PRUEBA	C	P-4	P-3	P-2	P-1
PROFUNDIDAD	m.				
TIPO DE MATERIAL	TIPO	SUELO 01	SUELO 01	SUELO 02	SUELO 02
A.- DENSIDAD DE CAMPO					
1 PESO ARENA - FRASCO	gr.				
2 PESO ARENA QUE QUEDA EN EL FRASCO	gr.				
3 PESO DE LA ARENA EN EL CONO	gr.				
4 PESO DE LA ARENA EN LA CAVIDAD	gr.				
5 DENSIDAD DE LA ARENA	gr./cm ³				
6 VOLUMEN DE LA CAVIDAD	cm ³ .				
7 PESO MUESTRA HUMEDA - TARA	gr.				
8 PESO DE LA TARA	gr.				
9 PESO MUESTRA HUMEDA NETA	gr.				
10 PESO SUELO RETENIDO EN TAMIZ N° 4	gr.				
11 PESO SUELO MENOR TAMIZ N° 4	gr.				
12 VOLUMEN DE LA GRAVA	cm ³ .				
13 VOLUMEN DE LOS FINOS	cm ³ .				
14 PESO ESPECIFICO DE LA GRAVA	gr/cm ³				
B.- HUMEDAD ASTM D 2216 - 92					
15 N° DE TARA	T				
16 PESO DE LA TARA	gr.				
17 PESO SUELO HUMEDO - TARA	gr.				
18 PESO SUELO SECO - TARA	gr.				
19 PESO DEL AGUA	gr.				
20 PESO DEL SUELO SECO	gr.				
21 CONTENIDO DE HUMEDAD	%				
C.- GRADO DE COMPACTACION					
22 DENSIDAD DEL SUELO HUMEDO	gr./cm ³				
23 DENSIDAD SECA DE CAMPO	gr./cm ³				
24 MÁXIMA DENSIDAD SECA	gr./cm ³				
25 CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO	%				
26 % DE DENSIDAD	%				

OBSERVACIONES : _____

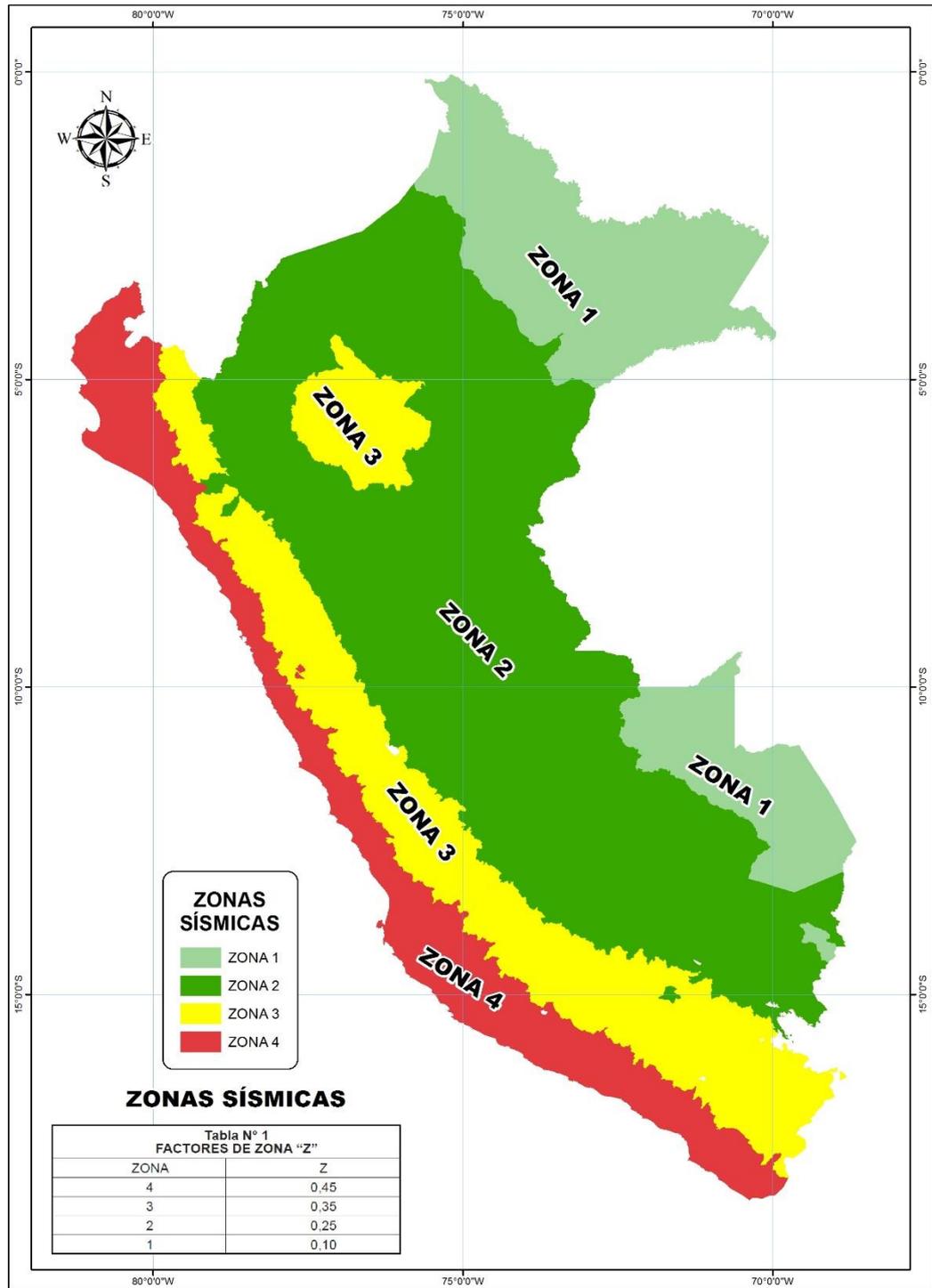
ANEXO 18. Mapa de ubicación



ANEXO 19. Plano topográfico



ANEXO 20. Mapa sísmico espectro de diseño NTE E.030





ANEXO 22. Ensayos de laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MECÁNICA DE ROCAS
Av. Floral #1153, Ciudad universitaria – Telf. Fax.: (051) 366193 E-mail: lquea@unap.edu.pe



INFORME N°002-2023-LG&MR-FIM-UNA-PUNO

*** ENSAYO PROPIEDADES FÍSICAS DE MUESTRAS DE SUELO.**

*** ENSAYO CLASIFICACIÓN DE SUELOS – SUCS & ASSTHO.**

*** ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN SUELOS – CD.**

SOLICITADO POR:

JULIO CESAR MAMANI TAQUILA

PROYECTO:

**TESIS: EVALUACIÓN GEOTECNICA PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN
LADERAS DE ALTO RIESGO EN EL PROYECTO MINERO MUCUMAYO - UPINA.**

UBICACIÓN:

PUNO – CARABAYA – ITUATA - MUCUMAYO.

MUESTRA:

MUESTRA – 01

FECHA:

18 de julio del 2023.

NOTA:

- El solicitante es completamente responsable del muestreo, y transporte de los especímenes al laboratorio.
- La información correspondiente a las muestras fue proporcionada por el solicitante.
- Condición de la muestra, preparadas según norma vigente.
- Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.
- Prohibida su reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Geotecnia y Mecánica de Rocas.
- Los resultados no pueden ser utilizados como certificación de conformidad con normas de producto o como evidencia de sistema de calidad de la entidad que lo produce.



[Firma]

M.Sc. Ing. Lucio Quea Gutierrez
JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MECÁNICA DE ROCAS
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

Página 1 de 7

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización del Laboratorio de Geotecnia y Mecánica de Rocas – UNA P.

Av. Floral N°1153
Puno - Perú

Ciudad Universitaria – Pab. Ing. De Minas
lucioqueagutierrez@gmail.com

Teléfono:
999 772 779



ENSAYO PROPIEDADES FÍSICAS DE MUESTRAS DE SUELO

MUESTRA – 01

INFORME No : 002-2023-LG&MR-FIM-UNA-PUNO.
REFERENCIA : ASTM D 2216-19, D7263-09
FECHA DE EMISIÓN: 18 de julio del 2023.
SOLICITADO POR : JULIO CESAR MAMANI TAQUILA
PROYECTO : TESIS: EVALUACIÓN GEOTECNICA PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN LADERAS DE ALTO RIESGO EN EL PROYECTO MINERO MUCUMAYO - UPINA..
UBICACIÓN : PUNO – CARABAYA – ITUATA - MUCUMAYO..
MUESTRA : MUESTRA_01
RESPONSABLE : M.SC. ING. LUCIO QUEA GUTIERREZ.

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM, obteniéndose los siguientes resultados:

N° de muestra	Peso suelo húmedo (g)	Peso suelo seco (g)	Contenido de humedad (%)	Peso suelo seco + parafina (g)	Peso parafina (g)	Peso sumergido (g)	Densidad parafina (g/cm ³)	Volumen de parafina (cm ³)	Volumen de muestra (g/cm ³)	Densidad muestra (g/cm ³)	Densidad seca (g/cm ³)	Porosidad aparente (%)	Peso específico aparente (KN/m ³)
1	608.30	539.70	12.71	578.70	39.00	202.30	0.88	44.32	410.04	1.48	1.32	16.73	12.91
2	228.40	205.60	11.09	237.40	31.80	56.10	0.88	36.14	171.07	1.34	1.20	13.33	11.79
3	207.60	185.60	11.85	204.50	18.90	50.10	0.88	21.48	157.92	1.31	1.18	13.93	11.53
4	198.20	175.70	12.81	199.70	24.00	60.90	0.88	27.27	137.10	1.45	1.28	16.41	12.57
5	227.60	203.60	11.79	230.20	26.60	71.30	0.88	30.23	155.95	1.46	1.31	15.39	12.80
NÚMERO DE RESULTADOS											4.00	4.00	4.00
VALOR MÁXIMO											1.32	16.73	12.91
VALOR MÍNIMO											1.18	13.33	11.53
MEDIANA											1.24	15.17	12.18
PROMEDIO											1.24	15.10	12.20
DESVIACIÓN ESTÁNDAR											0.07	1.72	0.65



M.Sc. Ing. Lucio Quea Gutierrez
JEFE DE LABORATORIO
GEOTECNIA Y MECÁNICA DE ROCAS



ENSAYO CLASIFICACIÓN DE SUELOS – SUCS & ASSTHO

MUESTRA – 01

INFORME No : 002-2023-LG&MR-FIM-UNA-PUNO.
REFERENCIA : ASTM D 6913 / D6913M-17
FECHA DE EMISIÓN: 18 de julio del 2023.
SOLICITADO POR : JULIO CESAR MAMANI TAQUILA
PROYECTO : TESIS: EVALUACIÓN GEOTECNICA PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN LADERAS DE ALTO RIESGO EN EL PROYECTO MINERO MUCUMAYO - UPINAE.
UBICACIÓN : PUNO – CARABAYA – ITUATA - MUCUMAYO..
MUESTRA : MUESTRA 01
RESPONSABLE : M.SC. ING. LUCIO QUEA GUTIERREZ.

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D 6913 / D6913M-17, obteniéndose los siguientes resultados:

TAMIZ	TAMIZ	PESOS DE MUESTRA RETENIDA	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASANTE DE LA MALLA (%)
3	75	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
2 1/2	63.5	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
2	50.8	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2	37.5	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1	25.4	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3/4	19	45.20	2.11%	2.11%	97.89%
1/2	12.5	115.20	5.37%	7.48%	92.52%
3/8	9.5	110.20	5.14%	12.62%	87.38%
4	4.75	174.40	8.13%	20.75%	79.25%
10	2	195.50	9.11%	29.86%	70.14%
20	0.85	181.90	8.48%	38.34%	61.66%
30	0.6	43.30	2.02%	40.36%	59.64%
40	0.425	155.60	7.25%	47.61%	52.39%
60	0.25	379.60	17.70%	65.31%	34.69%
100	0.150	397.70	18.54%	83.85%	16.15%
200	0.075	333.70	15.56%	99.41%	0.59%
BASE	0.01	12.70	0.59%	100.00%	0.00%
TOTAL		2145	100.00%		



M.Sc. Ing. Lucio Quea Gutiérrez
JEFE DE LABORATORIO
LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MECÁNICA DE ROCAS

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización del Laboratorio de Geotecnia y Mecánica de Rocas – UNA P.

Av. Floral N°1153
Puno - Perú

Ciudad Universitaria Pab. Ing. De Minas
lucioqueagutierrez@gmail.com

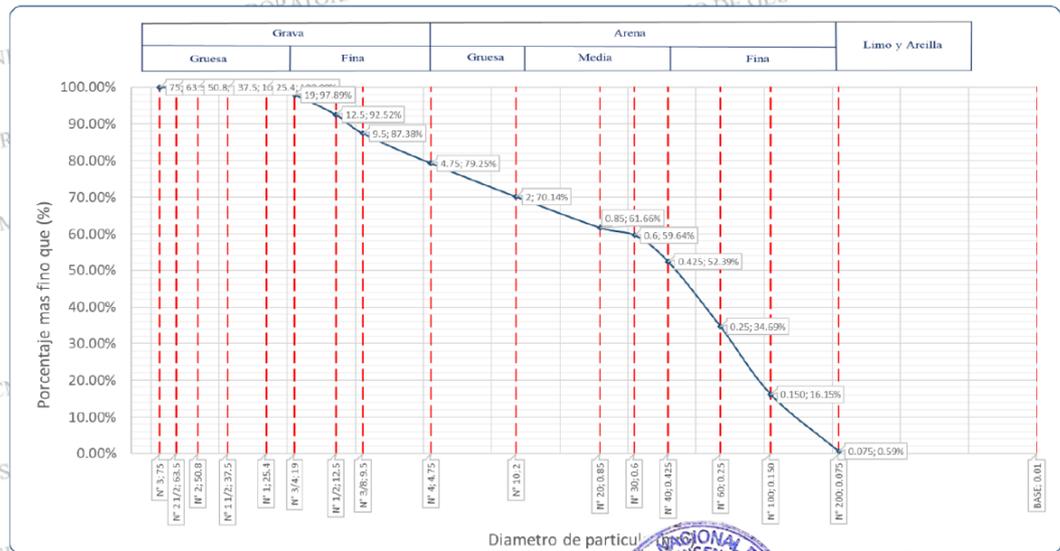
Teléfono:
999 772 779

Página 3 de 7



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MECÁNICA DE ROCAS

Av. Floral #1153, Ciudad universitaria - Telf. Fax.: (051) 366193 E-mail: lquea@unap.edu.pe



LÍMITE LÍQUIDO (%)	NO PRESENTA
LÍMITE PLÁSTICO (%)	NO PRESENTA
ÍNDICE DE PLÁSTICIDAD (%)	NO PRESENTA
PASA TAMIZ N°4 (5mm) %	79.25
PASA TAMIZ N°200 (0.080mm) %	0.59
DIÁMETRO EFECTIVO D10 (mm)	0.12
D30 (mm)	0.22
D60 (mm)	0.64
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	5.35
COEFICIENTE DE CURVATURA	0.65

CLASIFICACION SUCS	
Suelo de partículas finas y limos, también representada como (limo arcillosa), con poca presencia de contenido orgánico OL - CL	
CLASIFICACION AASHTO	
Suelo de material granular A1 - A3 Grabas y arenas limosas o arcillosas A-4 a A-2-4	



M.Sc. Ing. Lucio Quea Gutierrez
JEFE DE LABORATORIO
GEOTECNIA Y MECÁNICA DE ROCAS

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización del Laboratorio de Geotecnia y Mecánica de Rocas - UNAP.

Av. Floral N°1153
Puno - Perú

Ciudad Universitaria - Pab. Ing. De Minas
lucioquea@unap.edu.pe

Teléfono:
999 772 779

Página 4 de 7



ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN SUELOS – CD

MUESTRA – 01

INFORME No : 002-2023-LG&MR-FIM-UNA-PUNO.
REFERENCIA : ASTM D 3080 / D3080M-11
FECHA DE EMISIÓN: 18 de julio del 2023.
SOLICITADO POR : JULIO CESAR MAMANI TAQUILA
PROYECTO : TESIS: EVALUACIÓN GEOTÉCNICA PARA LA ESTABILIDAD EN LADERAS DE ALTO RIESGO EN EL PROYECTO MINERO MUCUMAYO - UPINA..
UBICACIÓN : PUNO – CARABAYA – ITUATA – MUCUMAYO.
MUESTRA : MUESTRA – 01
RESPONSABLE : M.SC. ING. LUCIO QUEA GUTIERREZ.

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D 3080 / D3080M-11, obteniéndose los siguientes resultados:

DATOS	ESPECIMEN 01	ESPECIMEN 02	ESPECIMEN 03			
ANCHO (cm)	5.98	5.98	5.98			
LARGO (cm)	5.97	5.97	5.97			
ALTURA (cm)	1.99	1.99	1.99			
ÁREA (cm ²)	35.70	35.70	35.70			
VOLUMEN (cm ³)	7104	7104	7104			
Peso del molde metálico(g)	157.27	157.27	157.27			
Peso Tara (g)	49.10	65.00	62.70			
Pesa colocada (Kg)	1.00	2.00	3.00			
Fuerza normal aplicada (N)	10.00	20.00	30.00			
- Peso Muestra Humeda Natural (g) + M. Metal	260.80	260.70	265.50			
- Peso Muestra Saturada (g) + Tara (g)	165.70	179.60	178.00			
- Peso Muestra Seca (g) + Tara (g)	141.10	156.30	154.50			
Peso Muestra Humeda Natural (g)	119.70	104.40	111.00			
Peso Muestra Saturada (g)	116.60	114.60	115.30			
Peso Muestra Seca (g)	92.00	91.30	91.80			
Contenido de Humedad (%)	W% natural	12.53	W% natural	13.29	W% natural	17.90
	W% saturada	26.74	W% saturada	25.52	W% saturada	23.60
Densidad Humeda (gr/cm ³)	Natural	1.46	Natural	1.46	Natural	1.52
	Saturada	1.64	Saturada	1.64	Saturada	1.62
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.295		1.292			



M.Sc. Ing. Lucio Quea Gutierrez
JEFE DE LABORATORIO
GEOTECNIA Y MECÁNICA DE ROCAS



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MECÁNICA DE ROCAS

Av. Floral #1153, Ciudad universitaria – Telf. Fax.: (051) 366193 E-mail: lquea@unap.edu.pe



Esfuerzo Normal (Kg/cm ²)	ESPECIMEN 01 0.280			ESPECIMEN 02 0.560			ESPECIMEN 03 0.840					
	Def. Tange ncial	Dial de carga	Fuerza cortan te	Esfuer zo de corte	Def. Tange ncial	Dial de carga	Fuerza cortan te	Esfuer zo de corte	Def. Tange ncial	Dial de carga	Fuerza cortan te	Esfuer zo de corte
0.00	0.00	0.467	0.013	0.00	0.00	0.467	0.013	0.00	0.00	0.467	0.013	0.00
0.10	0.10	0.508	0.014	0.10	1.10	0.912	0.026	0.10	0.20	0.548	0.015	0.02
0.20	0.20	0.548	0.015	0.20	2.30	0.993	0.028	0.20	0.80	0.791	0.022	0.02
0.30	0.50	0.670	0.019	0.30	4.30	2.206	0.062	0.30	7.00	3.298	0.092	0.02
0.40	2.00	1.276	0.036	0.40	6.00	2.894	0.081	0.40	19.50	4.310	0.121	0.02
0.60	5.00	2.490	0.070	0.60	10.10	4.552	0.128	0.60	13.10	5.766	0.162	0.02
0.80	7.20	3.379	0.095	0.80	15.70	6.817	0.191	0.80	20.00	8.556	0.240	0.02
1.00	8.50	3.905	0.109	1.00	18.80	8.071	0.226	1.00	23.10	9.810	0.275	0.02
1.25	9.00	4.107	0.115	1.25	20.80	8.880	0.249	1.25	26.70	11.266	0.316	0.02
1.50	10.00	4.512	0.126	1.50	22.20	9.446	0.265	1.50	28.90	12.156	0.341	0.02
1.75	10.20	4.593	0.129	1.75	23.40	9.932	0.278	1.75	30.40	12.763	0.357	0.02
2.00	10.90	4.876	0.137	2.00	24.40	10.336	0.290	2.00	31.90	13.370	0.374	0.02
2.25	11.10	4.957	0.139	2.25	25.20	10.660	0.299	2.25	33.40	13.976	0.391	0.02
2.50	11.40	5.078	0.142	2.50	26.00	10.983	0.308	2.50	34.20	14.300	0.401	0.02
2.75	11.50	5.119	0.143	2.75	26.70	11.266	0.316	2.75	35.10	14.664	0.411	0.02
3.00	11.70	5.199	0.146	3.00	27.40	11.549	0.324	3.00	35.80	14.947	0.419	0.02
3.25	12.00	5.321	0.149	3.25	28.10	11.833	0.331	3.25	36.60	15.271	0.428	0.02
3.50	12.20	5.402	0.151	3.50	28.70	12.075	0.338	3.50	37.00	15.432	0.432	0.02
3.75	12.60	5.563	0.156	3.75	29.30	12.318	0.345	3.75	37.80	15.756	0.441	0.02
4.00	13.10	5.766	0.162	4.00	29.80	12.520	0.351	4.00	38.10	15.877	0.445	0.02
4.25	13.20	5.806	0.163	4.25	30.30	12.722	0.356	4.25	38.40	15.999	0.448	0.02
4.50	13.40	5.887	0.165	4.50	30.90	12.965	0.363	4.50	39.00	16.241	0.455	0.02
4.75	13.80	6.049	0.169	4.75	31.40	13.167	0.369	4.75	39.50	16.443	0.461	0.02
5.00	14.00	6.130	0.172	5.00	32.00	13.400	0.376	5.00	40.00	16.646	0.466	0.02
5.25	14.20	6.211	0.174	5.25	32.50	13.612	0.381	5.25	40.80	16.969	0.475	0.02
5.50	14.50	6.332	0.177	5.50	33.00	13.814	0.387	5.50	41.50	17.252	0.483	0.02
5.75	14.80	6.453	0.181	5.75	33.50	14.017	0.393	5.75	42.20	17.535	0.491	0.02
6.00	14.90	6.494	0.182	6.00	33.90	14.178	0.397	6.00	43.00	17.859	0.500	0.02
6.25	15.00	6.534	0.183	6.25	34.20	14.300	0.401	6.25	43.30	17.980	0.504	0.02
6.50	15.20	6.615	0.185	6.50	34.60	14.462	0.405	6.50	44.00	18.264	0.512	0.02
6.75	15.40	6.696	0.188	6.75	34.90	14.583	0.408	6.75	44.40	18.325	0.516	0.02
7.00	15.60	6.777	0.190	7.00	35.20	14.704	0.412	7.00	45.00	18.668	0.523	0.02
7.25	15.80	6.858	0.192	7.25	35.70	14.906	0.418	7.25	45.30	18.789	0.526	0.02
7.50	15.80	6.858	0.192	7.50	35.90	14.987	0.420	7.50	45.90	19.032	0.533	0.02
7.75	15.80	6.858	0.192	7.75	36.20	15.109	0.423	7.75	46.10	19.113	0.535	0.02
8.00				8.00	36.40	15.190	0.425	8.00	46.30	19.194	0.538	0.02
8.25				8.25	36.60	15.271	0.428	8.25	46.60	19.315	0.541	0.02
8.50				8.50	36.80	15.351	0.430	8.50	46.80	19.396	0.543	0.02
8.75				8.75	36.90	15.392	0.431	8.75	47.00	19.477	0.546	0.02
9.00				9.00	37.00	15.432	0.432	9.00	47.10	19.517	0.547	0.02
9.25				9.25	37.10	15.473	0.433	9.25	47.20	19.558	0.548	0.02
9.50				9.50	37.10	15.473	0.433	9.50	47.30	19.598	0.549	0.02
9.75				9.75	37.10	15.473	0.433	9.75	47.50	19.679	0.551	0.02
10.00				10.00	37.20	15.513	0.435	10.00	47.70	19.760	0.553	0.02
10.25				10.25	37.40	15.594	0.437	10.25	48.00	19.881	0.557	0.02
10.50				10.50	37.50	15.635	0.438	10.50	48.20	19.962	0.559	0.02
10.75				10.75	37.60	15.675	0.439	10.75	48.50	20.084	0.563	0.02
11.00				11.00	37.70	15.715	0.440	11.00	48.70	20.164	0.565	0.02
11.25				11.25	37.70	15.715	0.440	11.25	49.10	20.326	0.569	0.02
11.50				11.50	37.70	15.715	0.440	11.50	49.20	20.367	0.570	0.02
11.75				11.75	37.70	15.715	0.440	11.75	49.40	20.448	0.573	0.02
12.00				12.00	37.70	15.715	0.440	12.00	49.80	20.609	0.577	0.02
12.25				12.25				12.25	50.00	20.690	0.580	0.02
12.50				12.50				12.50	50.20	20.771	0.582	0.02
12.75				12.75				12.75	50.50	20.893	0.585	0.02
13.00				13.00				13.00	50.70	20.973	0.587	0.02
13.25				13.25				13.25	50.70	20.973	0.587	0.02
13.50				13.50				13.50	50.80	21.014	0.589	0.02
13.75				13.75				13.75	50.80	21.014	0.589	0.02
14.00				14.00				14.00	50.80	21.014	0.589	0.02
14.25				14.25				14.25	50.80	21.014	0.589	0.02

ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN SUELOS

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización del Laboratorio de Geotecnia & Mecánica de Rocas – UNA P.

Av. Floral N°1153
Puno - Perú

Ciudad Universitaria – Pab. Ing. De Minas
lucioqueagutierrez@gmail.com

Teléfono:
999 772 779



Mac. Ing. Lucio Quea Gutierrez
JEFE DE LABORATORIO
GEOTECNIA Y MECÁNICA DE ROCAS

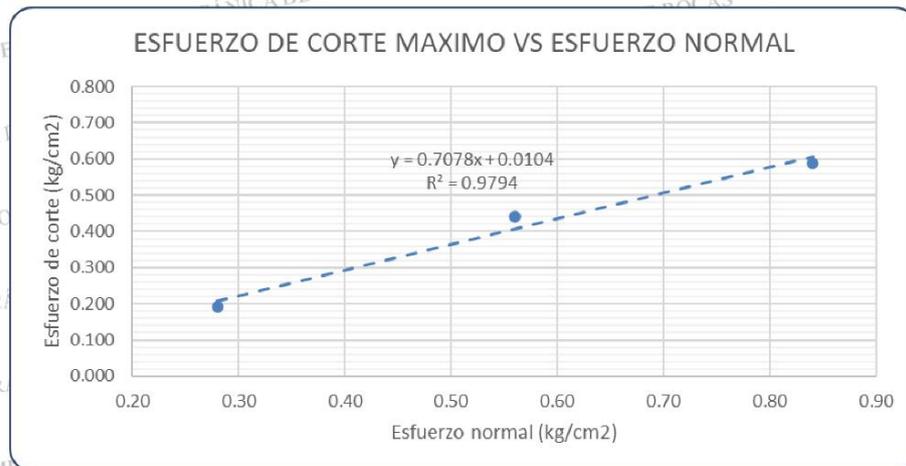
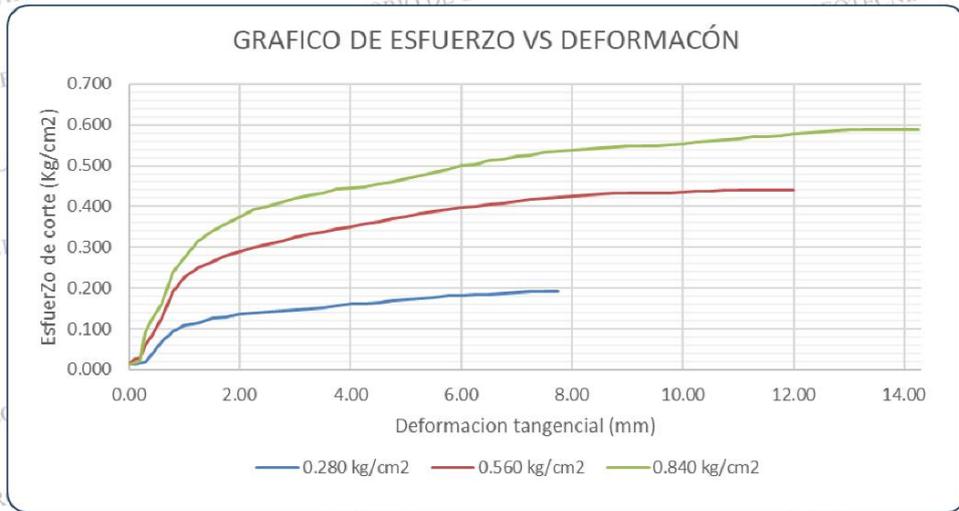


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MECÁNICA DE ROCAS

Av. Floral #1153, Ciudad universitaria – Telf. Fax.: (051) 366193 E-mail: lquea@unap.edu.pe



Especimen	DENSIDAD SECA				Humedad natural	Esfuerzo de corte τ	Humedad saturada	DENSIDAD HUMEDA	
	Peso volumetrico gr/cm ³	Fuerza normal aplicada (N)	Esfuerzo normal σ	Proporcion de esfuerzos				Peso volumetrico natural gr/cm ³	Peso volumetrico saturado gr/cm ³
1	1.295	10.00	0.280	0.686	12.53	0.192	26.74	1.46	1.64
2	1.285	20.00	0.560	0.786	13.29	0.440	25.52	1.46	1.61
3	1.292	30.00	0.840	0.700	17.90	0.589	25.60	1.52	1.62



Cohesión C (Kg/cm ²)	0.0104
Ángulo de fricción interna Φ (°)	35.20



M.Sc. Ing. Lucio Poes Gutiérrez
JEFE DE LABORATORIO
DE GEOTECNIA Y MECÁNICA DE ROCAS
Pagina 7 de 7

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización del Laboratorio de Geotecnia & Mecánica de Rocas – UNA P.

Av. Floral N°1153
Puno - Perú

Ciudad Universitaria – Pab. Ing. Dc Minas
lucioqueagutierrez@gmail.com

Teléfono:
999 772 779



ENSAYO PROPIEDADES FÍSICAS DE MUESTRAS DE SUELO

MUESTRA – 02

INFORME No : 002-2023-LG&MR-FIM-UNA-PUNO.
REFERENCIA : ASTM D 2216-19, D7263-09
FECHA DE EMISIÓN: 18 de julio del 2023.
SOLICITADO POR : JULIO CESAR MAMANI TAQUILA
PROYECTO : TESIS: EVALUACIÓN GEOTECNICA PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN LADERAS DE ALTO RIESGO EN EL PROYECTO MINERO MUCUMAYO - UPINA.
UBICACIÓN : PUNO – CARABAYA – ITUATA - MUCUMAYO.
MUESTRA : MUESTRA - 02
RESPONSABLE : M.Sc. ING. LUCIO QUEA GUTIERREZ.

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM, obteniéndose los siguientes resultados:

de Mues	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Contenido de humedad (%)	Peso seco + parafina (g)	Peso parafina (g)	Peso sumergido (g)	Densidad parafina (g/cm^3)	Volumen parafina (cm^3)	Volumen muestra (cm^3)	Densidad seca (g/cm^3)	Porosidad aparente (%)	Peso específico aparente (KN/m^3)
1	307.60	285.60	22.00	357.58	71.98	64.21	0.88	81.80	211.57	1.35	46.55	13.24
2	298.20	275.70	22.50	449.05	173.35	67.34	0.88	196.99	184.72	1.49	41.56	14.64
3	464.34	440.93	23.41	666.71	225.78	66.33	0.88	256.57	343.81	1.28	80.49	12.58
4	306.50	284.10	22.40	352.00	67.90	64.00	0.88	77.16	210.84	1.35	47.23	13.21
5	302.02	280.20	21.82	355.00	74.80	63.23	0.88	85.00	206.77	1.36	45.12	13.29
Número de resultados										3	3	3
Valor máximo										1.49	80.49	14.64
Valor mínimo										1.28	41.56	12.58
Mediana										1.35	46.55	13.24
Promedio										1.37	56.20	13.48
Desviación estándar										0.11	21.18	1.05



M.Sc. Ing. Lucio Quea Gutierrez
JEFE DE LABORATORIO
GEOTECNIA Y MECÁNICA DE ROCAS



ENSAYO CLASIFICACIÓN DE SUELOS – SUCS & ASSTHO

MUESTRA – 02

INFORME No : 002-2023-LG&MR-FIM-UNA-PUNO.
REFERENCIA : ASTM D 6913 / D6913M-17
FECHA DE EMISIÓN: 18 de julio del 2023.
SOLICITADO POR : JULIO CESAR MAMANI TAQUILA
PROYECTO : TESIS: EVALUACIÓN GEOTECNICA PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN LADERAS DE ALTO RIESGO EN EL
UBICACIÓN : PUNO – CARABAYA – ITUATA – MUCUMAYO..
MUESTRA : MUESTRA – 02
RESPONSABLE : M.Sc. ING. LUCIO QUEA GUTIERREZ.

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D 6913 / D6913M-17, obteniéndose los siguientes resultados:

TAMIZ	TAMIZ	PESOS DE MUESTRA RETENIDA	PASA (%)	PASANTE (%)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)
PULG	mm	(g)	(%)	(%)	(%)	(%)
3	75	0.00	100.00	100.00	0.00	0.00
2 1/2	63.5	0.00	100.00	100.00	0.00	0.00
2	50.8	0.00	100.00	100.00	0.00	0.00
1 1/2	37.5	0.00	100.00	100.00	0.00	0.00
1	25	27.30	98.18	98.18	1.82	1.82
3/4	19	28.60	96.27	96.27	1.91	3.73
1/2	12.5	53.70	92.68	92.68	3.58	7.32
3/8	9.5	49.20	89.40	89.40	3.28	10.60
4	4.75	129.60	80.75	80.75	8.65	19.25
10	2	195.80	67.68	67.68	13.07	32.32
20	0.85	197.40	54.51	54.51	13.18	45.49
30	0.6	31.80	52.38	52.38	2.12	47.62
40	0.425	116.70	44.59	44.59	7.79	55.41
60	0.25	101.60	37.81	37.81	6.78	62.19
100	0.15	75.00	32.81	32.81	5.01	67.19
200	0.075	68.90	28.21	28.21	4.60	71.79
BASE		422.60	0.00	0.00	28.21	100.00
TOTAL		1498.20				



M.Sc. Ing. Lucio Quea Gutierrez
JEFE DE LABORATORIO
GEOTECNIA Y MECÁNICA DE ROCAS

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización del Laboratorio de Geotecnia y Mecánica de Rocas UNA P.

Av. Floral N°1153
Puno - Perú

Ciudad Universitaria – Pab. Ing. De Minas
lucioqueagutierrez@gmail.com

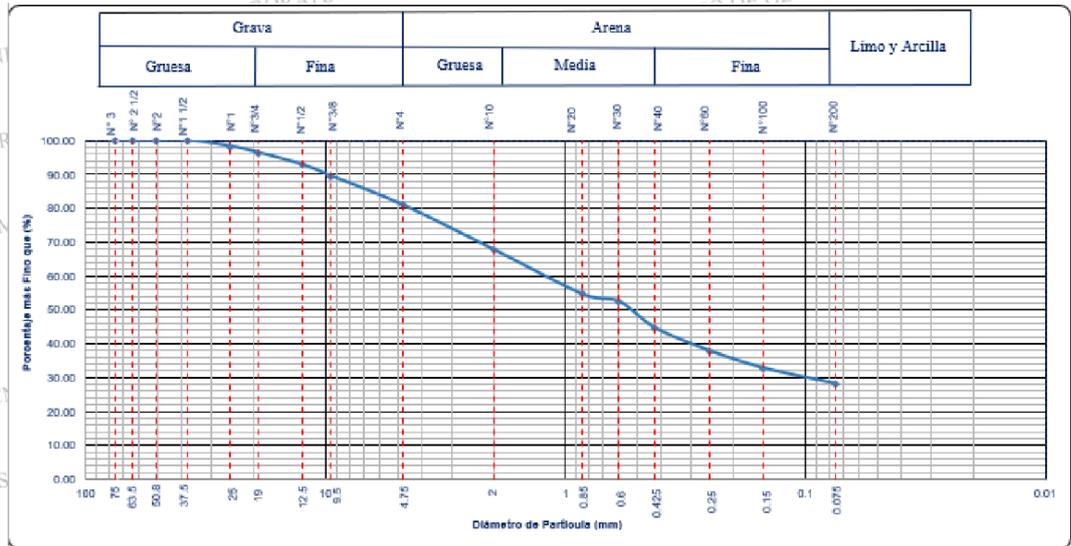
Teléfono:
999 772 779

Página 3 de 7



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MECÁNICA DE ROCAS

Av. Floral #1153, Ciudad universitaria - Telf. Fax.: (051) 366193 E-mail: lquea@unap.edu.pe



LÍMITE LÍQUIDO (%)	26.21
LÍMITE PLÁSTICO (%)	20.63
ÍNDICE DE PLÁSTICIDAD (%)	5.58
PASA TAMIZ N°4 (5mm) %	80.75
PASA TAMIZ N°200 (0.080mm)	28.21
DIÁMETRO EFECTIVO D10 (mm)	0.12
D30 (mm)	0.10
D60 (mm)	1.33
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	5.35
COEFICIENTE DE CURVATURA	0.65



[Signature]
Msc. Ing. Lugo Pisco Gutierrez
JEFE DE LABORATORIO
LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MECÁNICA DE ROCAS

CLASIFICACION SUCS	
Suelo de partículas gruesas. Suelo de partículas gruesas con Arena arcilloso-limosa con grava SC-SM	
CLASIFICACION AASHTO	
Suelo de material granular Excelente a bueno como sub grado A-2-4 Gravas y arena arcillosa o limosa	

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización del Laboratorio de Geotecnia y Mecánica de Rocas UNA P.

Av. Floral N°1153
Puno - Perú

Ciudad Universitaria - Pab. Ing. De Minas
lucioqueagutierrez@gmail.com

Teléfono:
999 772 779



ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN SUELOS – CD

MUESTRA – 02

INFORME No : 002-2023-LG&MR-FIM-UNA-PUNO.
REFERENCIA : ASTM D 3080 / D3080M-11
FECHA DE EMISIÓN: 18 de julio del 2023.
SOLICITADO POR : JULIO CESAR MAMANI TAQUILA
PROYECTO : TESIS: EVALUACIÓN GEOTÉCNICA PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN LADERAS DE ALTO RIESGO EN EL PROYECTO MINERO MUCUMAYO - UPINA..
UBICACIÓN : PUNO – CARABAYA – ITUATA - MUCUMAYO.
MUESTRA : MUESTRA – 02
RESPONSABLE : M.Sc. ING. LUCIO QUEA GUTIERREZ.

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D 3080 / D3080M-11, obteniéndose los siguientes resultados:

DATOS	ESPECIMEN 01		ESPECIMEN 02		ESPECIMEN 03	
ANCHO (cm)	5.98		5.98		5.98	
LARGO (cm)	5.97		5.97		5.97	
ALTURA (cm)	1.99		1.99		1.99	
AREA (cm ²)	35.70		35.70		35.70	
VOLUMEN (cm ³)	71.04		71.04		71.04	
Peso del Molde (g)	157.27		157.27		157.27	
Peso Tara (g)	67.00		66.00		65.60	
Peso colocada (Kg)	1.00		2.00		3.00	
Esfuerzo Norma aplicado (Kg)	10.00		20.00		30.00	
- Peso Muestra Humeda Natural + molde (g)	304.50		310.40		300.00	
- Peso Muestra Saturada (g) + tara (g)	215.80		220.30		213.20	
- Peso muestra seca + tara (g)	189.30		192.80		184.40	
Peso Muestra Humeda Natural (g)	147.23		153.13		142.73	
Peso Muestra Saturada (g)	148.80		154.30		147.60	
Peso Muestra Seca (g)	122.30		126.80		118.80	
Contenido de Humedad (%)	W% natural	20.38	W% natural	20.76	W% natural	20.14
	W% saturada	21.67	W% saturada	21.69	W% saturada	24.24
Densidad Humeda (gr/cm ³)	Natural	2.07	Natural	2.16	Natural	2.01
	Saturada	2.09	Saturada	2.17	Saturada	2.08
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.72				1.67	



M.Sc. Ing. Lucio Quea Gutierrez
JEFE DE LABORATORIO
GEOTECNIA Y MECÁNICA DE ROCAS

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización del Laboratorio de Geotecnia y Mecánica de Rocas UNA P.

Av. Floral N°1153
Puno - Perú

Ciudad Universitaria – Pab. Ing. De Minas
lucioqueagutierrez@gmail.com

Teléfono:
999 772 779



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MECÁNICA DE ROCAS

Av. Floral #1153, Ciudad universitaria – Telf. Fax.: (051) 366193 E-mail: lquea@unap.edu.pe



Esfuerzo Normal (Kg/cm ²)	ESPECIMEN 01				ESPECIMEN 02				ESPECIMEN 03			
	0.280				0.560				0.840			
	Def. Tangencial (mm)	Dial de carga	Fuerza a cortante (Kg)	Esfuerzo de corte (Kg/cm ²)	Def. Tangencial (mm)	Dial de carga	Fuerza cortante (Kg)	Esfuerzo de corte (Kg/cm ²)	Def. Tangencial (mm)	Dial de carga	Fuerza cortante (Kg)	Esfuerzo de corte (Kg/cm ²)
0.00	0.00		0.467	0.013	0.00	0.00	0.467	0.013	0.00	0.00	0.467	0.013
0.10	1.50		1.074	0.030	0.10	1.80	1.195	0.033	0.10	2.20	1.357	0.038
0.20	1.60		1.114	0.031	0.20	2.00	1.276	0.036	0.20	2.20	1.357	0.038
0.30	1.60		1.114	0.031	0.30	4.10	2.126	0.060	0.30	4.80	2.409	0.067
0.40	2.00		1.276	0.036	0.40	5.00	2.490	0.070	0.40	7.20	3.379	0.095
0.60	9.00		4.107	0.115	0.60	15.50	6.736	0.189	0.60	17.4	7.505	0.210
0.80	13.40		5.887	0.165	0.80	19.9	8.516	0.239	0.80	22.1	9.406	0.263
1.00	17.80		7.667	0.215	1.00	24.6	10.417	0.292	1.00	27.0	11.388	0.319
1.25	24.60		10.417	0.292	1.25	28.40	11.954	0.335	1.25	34.10	14.259	0.399
1.50	29.90		12.561	0.352	1.50	31.50	13.208	0.370	1.50	40.20	16.727	0.469
1.75	31.80		13.329	0.373	1.75	33.20	13.895	0.389	1.75	44.50	18.466	0.517
2.00	32.20		13.491	0.378	2.00	34.10	14.259	0.399	2.00	47.40	19.639	0.550
2.25	31.10		13.046	0.365	2.25	34.40	14.381	0.403	2.25	49.30	20.407	0.572
2.50	30.10		12.642	0.354	2.50	34.60	14.462	0.405	2.50	50.00	20.690	0.580
2.75	29.10		12.237	0.343	2.75	34.80	14.542	0.407	2.75	53.60	22.146	0.620
3.00	29.10		12.237	0.343	3.00	35.00	14.623	0.410	3.00	56.04	23.133	0.648
3.25	29.10		12.237	0.343	3.25	35.10	14.664	0.411	3.25	58.48	24.120	0.676
3.50	29.10		12.237	0.343	3.50	35.10	14.664	0.411	3.50	60.92	25.107	0.703
3.75	29.00		12.197	0.342	3.75	35.10	14.664	0.411	3.75	63.36	26.094	0.731
4.00	29.00		12.197	0.342	4.00	35.10	14.664	0.411	4.00	64.90	26.772	0.731
4.25			0.467	0.013	4.25	35.20	14.704	0.412	4.25	65.30	27.834	0.640
4.50			0.467	0.013	4.50	35.40	14.785	0.414	4.50	65.80	28.036	0.645
4.75			0.467	0.013	4.75	35.50	14.826	0.415	4.75	66.30	28.238	0.651
5.00			0.467	0.013	5.00	35.50	14.826	0.415	5.00	66.80	28.440	0.653
5.25			0.467	0.013	5.25	35.60	14.866	0.416	5.25	67.30	28.642	0.659
5.50			0.467	0.013	5.50	35.60	14.866	0.416	5.50	67.80	28.844	0.660
5.75			0.467	0.013	5.75	35.80	14.947	0.419	5.75	67.70	28.805	0.667
6.00			0.467	0.013	6.00	35.80	14.947	0.419	6.00	68.00	28.926	0.670
6.25			0.467	0.013	6.25	35.90	14.987	0.420	6.25	68.20	29.007	0.672
6.50			0.467	0.013	6.50	35.90	14.987	0.420	6.50	68.30	29.047	0.674
6.75			0.467	0.013	6.75	35.90	14.987	0.420	6.75	68.50	29.128	0.676
7.00					7.00	36.00	15.028	0.421	7.00	68.50	29.128	0.676
7.25					7.25	36.00	15.028	0.421	7.25	68.50	29.128	0.676
7.50					7.50	36.10	15.068	0.422	7.50	68.50	29.128	0.676
7.75					7.75	36.10	15.068	0.422	7.75	68.20	29.007	0.672
8.00					8.00	36.10	15.068	0.422	8.00	68.20	29.007	0.672
8.25					8.25		0.467	0.013	8.25	67.90	28.886	0.669
8.50					8.50		0.467	0.013	8.50		0.467	0.013
8.75					8.75		0.467	0.013	8.75		0.467	0.013



M.Sc. Ing. Lucio Poes Gutierrez
JEFE DE LABORATORIO
GEOTECNIA Y MECÁNICA DE ROCAS

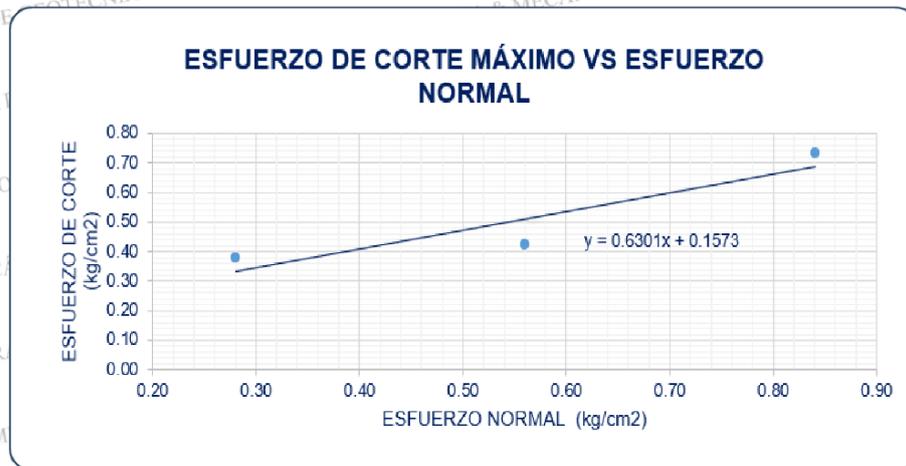
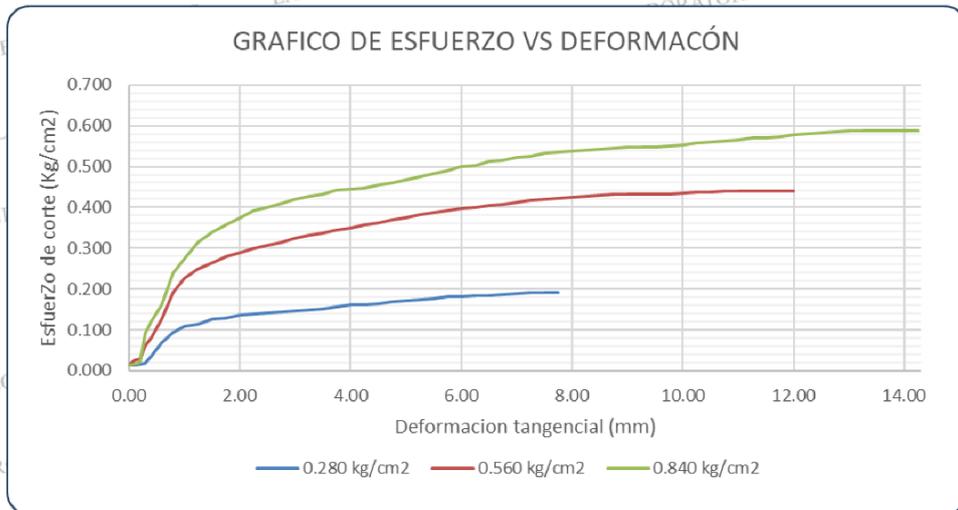


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MECÁNICA DE ROCAS

Av. Floral #1153, Ciudad universitaria – Telf. Fax.: (051) 366193 E-mail: lquea@unap.edu.pe



Especimen	DENSIDAD SECA			DENSIDAD HUMEDA				
	Peso Volumétrico gr/cm ³	Esfuerzo Normal σ	Proporción de Esfuerzos	Humedad Natural	Esfuerzo de Corte τ	Humedad Saturada	Peso volumétrico Natural gr/cm ³	Peso volumétrico Saturado gr/cm ³
1	1.72	0.28	1.35	20.38	0.38	21.67	2.07	2.09
2	1.78	0.56	0.75	20.76	0.42	21.69	2.16	2.17
3	1.67	0.84	0.87	20.14	0.73	24.24	2.01	2.08



Cohesión C (Kg/cm ²)	0.1504
Ángulo de fricción interna Φ (°)	36.80



M.Sc. Ing. Ludio Orosa Gutierrez
JEFE DE LABORATORIO
GEOTECNIA Y MECÁNICA DE ROCAS

Página 7 de 7

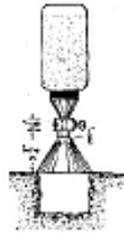
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización del Laboratorio de Geotecnia & Mecánica de Rocas - UNA P.

Av. Floral N°1153
Puno - Perú

Ciudad Universitaria – Pab. Ing. De Minas
lucioqueagutierrez@gmail.com

Teléfono:
999 772 779

Área de geología P.M. Mucumayo



DENSIDAD IN SITU
ASTM -D 1556

PROYECTO : PM MUCUMAYO
SOLICITA : JULIO CESAR MAMANI TAQUILA
MUESTRA : INDICADA
FECHA : 24 DE SEPTIEMBRE DEL 2023

DENSIDAD IN SITU N°	UNIDAD	1	2	3	4	
PUNTO DE PRUEBA	C	P-4	P-3	P-2	P-1	
PROFUNDIDAD	m.	0.140	0.140	0.145	0.148	
TIPO DE MATERIAL	TIPO	SUELO 01	SUELO 01	SUELO 02	SUELO 02	
A.- DENSIDAD DE CAMPO						
1	FRSO ARENA + FRASCO	gr.	5187	5185	5180	5179
2	FRSO ARENA QUE QUEDA EN EL FRASCO	gr.	1039	1416	1295	942
3	FRSO DE LA ARENA EN EL CONO	gr.	1326.02	1326.02	1326.02	1326.02
4	FRSO DE LA ARENA EN LA CAVIDAD	gr.	2822	2443	2559	2911
5	DENSIDAD DE LA ARENA	gr./cm ³	1.260	1.260	1.260	1.260
6	VOLUMEN DE LA CAVIDAD	cm ³	2240	1939	2031	2310
7	FRSO MUESTRA HUMEDA + TARA	gr.	4824	4471	4300	4817
8	FRSO DE LA TARA	gr.	0	0	0	0
8	FRSO MUESTRA HUMEDA NETA	gr.	4824	4471	4300	4817
9	FRSO SUELO RETENIDO EN TAMÍZ N° 4	gr.	978.46	855.04	932.11	1248.22
10	FRSO SUELO MENOR TAMÍZ N° 4	gr.	3846	3616	3368	3569
11	VOLUMEN DE LA GRAVA	cm ³	372	325	354	474
12	VOLUMEN DE LOS FINOS	cm ³	1868	1614	1677	1836
13	FRSO ESPECIFICO DE LA GRAVA	gr/cm ³	2.632	2.632	2.632	2.632
B.- HUMEDAD ASTM D 2216 - 92						
14	N° DE TARA	T	T-06	T-11	T-13	T-35
15	FRSO DE LA TARA	gr.	0.0	0.0	0.0	0.0
16	FRSO SUELO HUMEDO + TARA	gr.	300.0	339.0	299.0	287.0
17	FRSO SUELO SECO + TARA	gr.	258.5	266.7	262.7	257.3
18	FRSO DEL AGUA	gr.	41.5	72.3	36.3	29.7
19	FRSO DEL SUELO SECO	gr.	258.5	266.7	262.7	257.3
20	CONTENIDO DE HUMEDAD	%	16.05	27.11	13.81	11.53
C.- GRADO DE COMPACTACION						
21	DENSIDAD DEL SUELO HUMEDO	gr./cm ³	2.059	2.240	2.009	1.944
22	DENSIDAD SECA DE CAMPO	gr./cm ³	1.774	1.762	1.765	1.743
23	MÁXIMA DENSIDAD SECA	gr./cm ³	1.792	1.792	1.792	1.792
24	CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO	%	13.13	13.13	13.13	13.13
25	% DE DENSIDAD	%	99.0	98.4	98.5	97.3

ENSAYOS REALIZADOS POR: P.M. MUCUMAYO

CONO N°1

CONO N°1

CONO N°1

CONO N°1

OBSERVACIONES :



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo JULIO CESAR MAMANI TRUJILLO
identificado con DNI 78329303 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA DE MINAS

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"EVALUACIÓN GEOTECNICA Y ESTABILIDAD DE TALUDES EN LADEROS
DE ALTO RIESGO PARA EL PROYECTO MINERO MUCUMAYO-UPINA"

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 23 de SEPTIEMBRE del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo JULIO CESAR PIAMANI TIGUILA
identificado con DNI 73329303 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA DE MINAS

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

" EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y ESTABILIDAD DE TALUDES EN LADERAS
DE ALTO RIESGO PARA EL PROYECTO MINERO MUCUMAYO -UPINA "

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

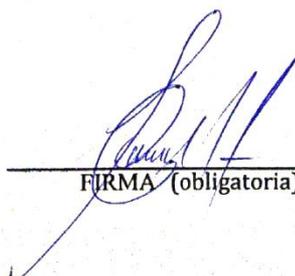
En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 23 de SEPTIEMBRE del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella