



**UNIVERSIDAD ANDINA**  
**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL**  
**MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES**



**ANÁLISIS DE MÉTODOS DE ESTABILIDAD DE TALUDES  
APLICADO AL TALUD DEL KILOMETRO 3+950 DE  
LA CARRETERA PUNO - MOQUEGUA DE LA  
REGIÓN DE PUNO EN EL 2023**

**TESIS PRESENTADA POR:**  
**YESSICA NOEMI MACHACA FERNANDEZ**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**  
**MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL**  
**MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES**

**JULIACA – PERÚ**  
**2024**



**UNIVERSIDAD ANDINA**  
**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL**  
**MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES**

**ANÁLISIS DE MÉTODOS DE ESTABILIDAD DE TALUDES**  
**APLICADO AL TALUD DEL KILOMETRO 3+950 DE**  
**LA CARRETERA PUNO - MOQUEGUA DE LA**  
**REGIÓN DE PUNO EN EL 2023**

**TESIS PRESENTADA POR:**  
**YESSICA NOEMI MACHACA FERNANDEZ**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**  
**MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL**  
**MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES**  
**APROBADA POR:**


**PRESIDENTE**

:   
Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA


**PRIMER MIEMBRO**

:   
Dr. HERNÁN PEDRO MARTÍNEZ RAMOS

**SEGUNDO MIEMBRO**

:   
Dr. ARNALDO YANA TORRES

**ASESOR DE TESIS**

:   
Dr. MILTHON QUISPE HUANCA

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P50



TESIS UANCV



**UNIVERSIDAD ANDINA**  
**"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**  
**ESCUELA DE POSGRADO**



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"



**RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 336-2024-D-EPG-UANCV/J**

Juliaca, 01 de octubre del 2024

**VISTOS:**

El expediente N° 2024-09113, presentado por el (la) Bachiller **MACHACA FERNANDEZ YESSICA NOEMI**, con número de DNI. **70316688**, asignado (a) con código de matrícula **1610200300**, de la **Maestría en INGENIERIA CIVIL, Mención: GEOTECNIA Y TRANSPORTES**, de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" de la Filial Puno.

**CONSIDERANDO:**

**Que**, el (a) Bach. **MACHACA FERNANDEZ YESSICA NOEMI**, con número de DNI. **70316688**, asignado (a) con código de matrícula **1610200300**, de la **Maestría en INGENIERIA CIVIL, Mención: GEOTECNIA Y TRANSPORTES**, ha solicitado fecha, hora y modalidad de sustentación de la Tesis titulada: **ANÁLISIS DE MÉTODOS DE ESTABILIDAD DE TALUDES APLICADO AL TALUD DEL KILOMETRO 3+950 DE LA CARRETERA PUNO - MOQUEGUA DE LA REGIÓN DE PUNO EN EL 2023** La misma que pertenece a la Línea de Investigación: **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P50** y;

Que, el (a) referido (a) Dictamen de Tesis aprobado por los jurados el 08 de mayo del 2024. Establece la fecha de sustentación; habiendo para el efecto cumplido los requisitos establecidos en el reglamento para la Obtención del Grado Académico de Magíster/Maestro y Doctor de la Escuela de Posgrado de la UANCV;

Que, en el Artículo 66 del Reglamento General de la Escuela de Posgrado de la UANCV, establece que la sustentación de Tesis de Postgrado es un trabajo de investigación original y crítico, de actualidad y de alto valor científico;

En uso de las atribuciones conferidas a la Dirección en el inciso "J" del artículo 17° del Reglamento General de la Escuela de Posgrado, y el Art. 76 del Estatuto Universitario;

**SE RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO. - DECLARAR EXPEDITO** para la Sustentación de la Tesis titulada: **ANÁLISIS DE MÉTODOS DE ESTABILIDAD DE TALUDES APLICADO AL TALUD DEL KILOMETRO 3+950 DE LA CARRETERA PUNO - MOQUEGUA DE LA REGIÓN DE PUNO EN EL 2023** Elaborado por el (la) Bachiller **MACHACA FERNANDEZ YESSICA NOEMI**. Integrado por los siguientes docentes:

Presidente del Jurado	:	Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
Miembro del Jurado	:	Dr. HERNAN PEDRO MARTINEZ RAMOS
Miembro del Jurado	:	Dr. ARNALDO YANA TORRES
Asesor de Tesis	:	Dr. MILTHON QUISPE HUANCA

**ARTÍCULO SEGUNDO. -** El proceso de la Sustentación de la Tesis en mención, se llevará a cabo:

Fecha	:	Miercoles 09 de octubre del 2024
Hora	:	11:00 a.m.
Lugar	:	Aula N° 310 EPG - UANCV - JULIACA

A cuya finalización el Jurado registrará los resultados en el Libro de Actas de Sustentación de Tesis de Maestría con el grado **MAESTRO** de los estudiantes que ingresaron despues a la aprobación de la ley Universitaria N° 30220.

**ARTÍCULO TERCERO. -** Elévese la presente Resolución al Rectorado, Vicerrectorado Académico, Vicerrectorado Administrativo y Oficina del Órgano de Inspección y Control para conocimiento.

Regístrese, comuníquese y Archívese.

  
 UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 ESCUELA DE POSGRADO  
 JULIACA - PUNO  
 Dr. Leopoldo Vinceslan Condesi Carr  
 DIRECTOR (e)

Cc./Archiv EPG (01)  
 Interesado (01)  
 Cargo (01)  
 Jurados (03)  
 Asesor (01)  
 Expediente (01)  
 LWCC/Insv



TESIS UANCV



# UNIVERSIDAD ANDINA

## "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

### ESCUELA DE POSGRADO



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"



#### RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 1046-2024-USA-EPG/UANCV

Juliaca, 25 de julio del 2024

**VISTOS:**

El expediente N°. 9113, Presentado por el (a) Bachiller **YESSICA NOEMI MACHACA FERNANDEZ**, con número de DNI **70316688** y con Código de matrícula N.º **1610200300**, quien solicita **Y** cambio del **PRESIDENTE** del Comité de Investigación del Proyecto de Tesis titulado: **Líneas de Investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P50**, Para optar el Grado Académico de **MAESTRO** en **INGENIERÍA CIVIL** mención: **GEOTECNIA Y TRANSPORTES** de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez", de la sede Puno.

**CONSIDERANDO:**

Que, mediante expediente No. 9113, el **Bach: YESSICA NOEMI MACHACA FERNANDEZ**, solicita y cambio del **JURADOS** del Comité de Investigación de la tesis titulada: Aprobado con Resolución Directoral N.º 691-2023-USA-EPG/UANCV, de fecha 23 de Agosto del 2023, en el que erróneamente se consignó y se le asignó como **PRESIDENTE** al (a) DR. ANGEL MANUEL OLAZABAL GUERRA, el mismo que se cambia por indisponibilidad de tiempo.

Que, el referido Dictamen de Tesis fue aprobado por los jurados el 23 de Agosto del 2023, registrado en el Folio N°3604 del 07 de Agosto del 2023 del Libro de Registro de Proyectos de Investigación de Maestría, establece que se encuentra apto para ser desarrollado a lo establecido en el reglamento de Grado de Investigación conducente al Grado Académico de Magister/Maestro y Doctor de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" de Juliaca;

En uso de las atribuciones conferidas a la Dirección en el inciso "j" del artículo 17 del Reglamento General de la Escuela de Posgrado, y el Art. 76 del Estatuto Universitario;

**SE RESUELVE:**

**PRIMERO. - ACEPTAR EL (A) DE LA RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 691-2023-USA-EPG/UANCV**, de fecha únicamente en incluir el artículo "LA" en el título del proyecto, debe consignarse correctamente como: **ANÁLISIS DE MÉTODOS DE ESTABILIDAD DE TALUDES APLICADO AL TALUD DEL KILOMETRO 3+950 DE LA CARRETERA PUNO - MOQUEGUA DE LA REGIÓN DE PUNO EN EL 2023.**

**SEGUNDO.- ACEPTAR EL CAMBIO DEL PRESIDENTE DEL COMITÉ DE INVESTIGACIÓN DE LA RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 691-2023-USA-EPG/UANCV**, para su revisión de la Tesis titulada: **ANÁLISIS DE MÉTODOS DE ESTABILIDAD DE TALUDES APLICADO AL TALUD DEL KILOMETRO 3+950 DE LA CARRETERA PUNO - MOQUEGUA DE LA REGIÓN DE PUNO EN EL 2023** presentado por el (a) **Bach: YESSICA NOEMI MACHACA FERNANDEZ**, de la maestría en: **INGENIERÍA CIVIL**, conformado por los siguientes docentes:

- Presidente** : **DR. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA**
- Primer Miembro** : **DR. HERNAN PEDRO MARTINEZ RAMOS**
- Segundo Miembro** : **MGTR. ARNALDO YANA TORRES**
- Asesor (a)** : **DR. MILTHON QUISPE HUANCA**

**TERCERO.- AUTORIZAR** el desarrollo de Tesis, de acuerdo al Reglamento de Investigación conducente al Grado Académico de **MAESTRO** de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez.

**CUARTO.- ELEVAR** al Rectorado, Vicerrectorado Académico, Vicerrectorado Administrativo y Oficina del Órgano de Inspección y Control para conocimiento, así como a la Oficina de Economía, para cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese y Archívese



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
ESCUELA DE POSGRADO  
DIRECCIÓN  
JULIACA, PUNO  
Dr. Laopoldo Wenceslao Condit Cari  
DIRECTOR (e)

C/CAMBIO/011  
2024/07/25/EPG-2024/011



TESIS UANCV

# UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" ESCUELA DE POSGRADO



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"



## RESOLUCION DIRECTORAL N° 691- 2023- USA-EPG/UANCV

Juliaca, 23 de Agosto del 2023.

### VISTOS:

El expediente N° 2023 - 07232, de fecha 09 de Agosto de 2023, presentado por el (la) Bach. **YESSICA NOEMI MACHACA FERNANDEZ** con DNI N° **70316688**, código de matrícula **1610200300** quien solicita resolución de aprobación de proyecto de tesis titulado **ANÁLISIS DE MÉTODOS DE ESTABILIDAD DE TALUDES APLICADO AL TALUD DEL KILOMETRO 3+950 DE LA CARRETERA PUNO - MOQUEGUA DE LA REGIÓN DE PUNO EN EL 2023** Línea de investigación **TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN - P50** para optar el grado académico de **MAESTRO** en **INGENIERIA CIVIL** mención en **GEOTECNIA Y TRANSPORTES** en la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez de la Sede Puno.

### CONSIDERANDO:

Que, en el Reglamento General de la Escuela de Posgrado de la UANCV, establece que la sustentación de tesis de Posgrado es un trabajo de investigación original y crítico de actualidad de alto valor científico.  
Que, según Resolución N° 0555-2019-UANCV-CU-R, de fecha 08 de noviembre del 2019, se aprueba el Reglamento para la obtención del grado académico de Magister, Maestro, Doctor y Titulación de los Programas de Segunda Especialidad Profesional de la Escuela de Posgrado.  
Que, el **Art. 17**, establece que la aprobación del proyecto de investigación de tesis para la obtención de grados académicos de Magister, Maestro, Doctor se inicia con la presentación del proyecto de investigación de tesis según corresponda, en forma individual y conforme a las recomendaciones de la Escuela de Posgrado y estándares de la investigación científica, tecnológica y humanística.  
Que, en el **Art.60**, señala que la fecha límite para la presentación del borrador de tesis es de 02 años contados desde la emisión de la resolución de aprobación del proyecto de tesis, vencido el plazo máximo el candidato a Magister, Maestro o Doctor deberá presentar un nuevo proyecto de investigación de tesis.  
Que, el **Art. 21**, establece que el Director de la Escuela de Posgrado y el Director de la Unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado, nominarán por sorteo a 03 docentes miembros del comité de investigación.  
Que, mediante oficio circular N° 429- 2023-USA-EPG/UANCV-J, de fecha 12 de Julio del 2023, se nombra al Comité de Investigación del proyecto de tesis conformado por los siguientes docentes:

Presidente : Dr. ANGEL MANUEL OLAZABAL GUERRA  
Primer Miembro : Mgtr. HERNAN PEDRO MARTINEZ RAMOS  
Segundo Miembro : Mgtr. ARNALDO YANA TORRES  
Asesor : Mgtr. MILTHON QUISPE HUANCA

Que, con registro N° 003604, de fecha 07 de Agosto del 2023, el Comité de Investigación del proyecto de tesis titulado: **ANÁLISIS DE MÉTODOS DE ESTABILIDAD DE TALUDES APLICADO AL TALUD DEL KILOMETRO 3+950 DE LA CARRETERA PUNO - MOQUEGUA DE LA REGIÓN DE PUNO EN EL 2023** presentado por el (la) Bach. **YESSICA NOEMI MACHACA FERNANDEZ** cumple con los lineamientos y contenidos establecidos en reglamento de grado de investigación conducentes al grado académico de Magister/Maestro y Doctor de la Escuela de Posgrado de la UANCV.

En uso de las atribuciones conferidas a la Dirección en el inciso "j" del artículo 17 del Reglamento General de la Escuela de Posgrado y en el artículo 76 del Estatuto Universitario;

### SE RESUELVE:

**PRIMERO: APROBAR**, el Proyecto de investigación de Tesis de **MAESTRIA** y **AUTORIZAR** el desarrollo de la Tesis, titulado: **ANÁLISIS DE MÉTODOS DE ESTABILIDAD DE TALUDES APLICADO AL TALUD DEL KILOMETRO 3+950 DE LA CARRETERA PUNO - MOQUEGUA DE LA REGIÓN DE PUNO EN EL 2023** presentado por el (la) Bach. **YESSICA NOEMI MACHACA FERNANDEZ** para obtener el grado académico de **MAESTRO** en **INGENIERIA CIVIL** de la UANCV.

**SEGUNDO: ELEVAR** al Rectorado, Vicerectorado Académico, Vicerectorado Administrativo, Vicerectorado de Investigación, Oficina del Órgano de Inspección y Control para conocimiento y cumplimiento de la presente resolución.

Regístrese, Comuníquese y Archívese

CJ/CARGO (01)  
ARCHIVO EPG-2023 (01)  
INTERESADO (01)  
LWCC/VCH



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
ESCUELA DE POSGRADO

Dr. Leopoldo Wenceslao Combari Carr  
DIRECTOR (a)



UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

Mg. PERCY GONZALO PLUMA PLUMA  
SECRETARIO ACADÉMICO



## ANÁLISIS DE METODOS DE ESTABILIDAD DE TALUDES APLICADO AL TALUD DEL KILOMETRO 3+950 DE LA CARRETERA PUNO - MOQUEGUA DE LA REGIÓN DE PUNO EN EL 2023

### INFORME DE ORIGINALIDAD

23%

INDICE DE SIMILITUD

22%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

13%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

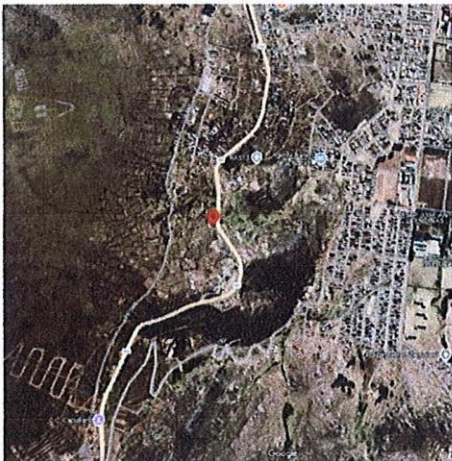
1	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	6%
2	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
4	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	es.scribd.com Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	1%

repositorio.unh.edu.pe



## Metadatos Complementarios

Título de la Tesis	
<b>ANÁLISIS DE MÉTODOS DE ESTABILIDAD DE TALUDES APLICADO AL TALUD DEL KILOMETRO 3+950 DE LA CARRETERA PUNO - MOQUEGUA DE LA REGIÓN DE PUNO EN EL 2023</b>	
<b>Datos de autor</b>	
Nombres y apellidos	Yessica Noemi Machaca Fernandez
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70316688
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0003-3897-6458">https://orcid.org/0000-0003-3897-6458</a>
<b>Datos de asesor</b>	
Nombres y apellidos	Milthon Quispe Huanca
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02424528
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0002-4219-1007">https://orcid.org/0000-0002-4219-1007</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres y apellidos	Oscar Vicente Viamonte Calla
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02371550
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres y apellidos	Hernan Pedro Martinez Ramos
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02421963
<b>Miembro del jurado 2</b>	
Nombres y apellidos	Arnaldo Yana Torres
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41414676

<b>Datos de investigación</b>	
Línea de investigación	TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P50
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	<p><b>País:</b> Perú  <b>Región:</b> Puno  <b>Provincia:</b> Puno  <b>Distrito:</b> Puno  <b>Sector:</b> Mi Perú</p> <p><b>Longitud:</b> 15° 50' 8.559" S  <b>Latitud:</b> 70° 0' 56.568" W</p> <p><b>URL Maps</b>  <a href="https://maps.app.goo.gl/XYWfvgySQ2QgGdee6">https://maps.app.goo.gl/XYWfvgySQ2QgGdee6</a></p> 
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Agosto 2023 – octubre 2024
URL de disciplinas OCDE <a href="https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html">https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html</a> - Librería	<p><b>Ingeniería, Tecnología</b>  <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.00.00">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.00.00</a></p> <p><b>Ingeniería Civil</b>  <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01</a></p> <p><b>Ingeniería de la construcción</b>  <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03</a></p> <p><b>Ingeniería ambiental y geológica</b>  <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01</a></p>



**DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD**

Yo YESSICA NOEMI MACNACA FERNANDEZ, identificado con DNI Nro. 70316688 en mi condición de egresado de:

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

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

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

ANÁLISIS DE MÉTODOS DE ESTABILIDAD DE TALUDES APLICADO AL TALUD DEL KILOMETRO 3+950 DE LA CARRETERA PUNO-MOQUEGUA DE LA REGIÓN DE PUNO EN EL 2023

Asesorado por: Dr. MILTHON QUISPE HUANCA

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.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca, 17 de diciembre del 2024

  
Firma del Asesor (obligatoria)

  
Firma del Estudiante (obligatoria)



Huella



## DEDICATORIA

A mis padres Raúl y Sonia y hermanos  
Danitza y Luis.



## AGRADECIMIENTO

A Dios, por la vida y la salud que me ha concedido, permitiéndome alcanzar cada uno de mis objetivos. Su guía y fortaleza han sido fundamentales a lo largo de mi camino.

A la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, sede Puno, mi Alma Mater, que me brindó acogida durante todos los años de mi formación académica profesional, convirtiéndose en un pilar esencial en mi desarrollo personal y profesional.

A los docentes de la Escuela de Posgrado de Ingeniería Civil, por compartir generosamente sus conocimientos y experiencias, así como por su disposición para resolver mis dudas y orientar mi aprendizaje. Mi especial agradecimiento a los miembros de mi jurado, el Dr. Oscar Vicente Viamonte Calla, el Dr. Hernán Pedro Martínez Ramos, y el Dr. Arnaldo Yana Torres, por su tiempo, dedicación y valiosos aportes en la revisión de este trabajo.

Finalmente, expreso mi más profundo agradecimiento al Dr. Milthon Quispe Huanca, su respaldo fue decisivo para la realización de este esfuerzo académico.



## ÍNDICE

**DEDICATORIA .....i**

**AGRADECIMIENTO .....ii**

**ÍNDICE .....iii**

**INDICE DE FIGURAS.....vii**

**INDICE DE TABLAS .....viii**

**RESUMEN .....ix**

**ABSTRACT .....x**

**INTRODUCCIÓN .....xi**

## CAPITULO

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

**1.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA..... 13**

**1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 15**

    1.2.1 Pregunta general ..... 15

    1.2.2 Preguntas específicas..... 15

**1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN ..... 16**

    1.3.1 Justificación técnica ..... 16

    1.3.2 Justificación económica ..... 17

    1.3.3 Justificación social ..... 17

    1.3.4 Justificación ambiental..... 17

**1.4 OBJETIVOS ..... 17**

    1.4.1 Objetivo general..... 17

    1.4.2 Objetivos específicos ..... 18

**1.5 LIMITACIONES ..... 18**

**1.6 HIPÓTESIS ..... 18**



1.6.1 Hipótesis general .....	18
1.6.2 Hipótesis específicas .....	19
1.7 VARIABLES E INDICADORES .....	20
1.7.1 Variables independientes.....	20
1.7.2 Variable dependiente .....	20
1.8 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	20

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	21
2.1.1 A nivel internacional.....	21
2.1.2 A nivel nacional.....	25
2.1.3 A nivel local.....	25
2.2 BASES TEÓRICAS .....	26
2.2.1 Método de equilibrio Limite.....	26
2.2.2 Método de los elementos finitos .....	30
2.2.3 Talud .....	33
2.2.4 Técnicas de Estabilización de Taludes.....	39
2.3 MARCO LEGAL.....	42

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN**

3.1 DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	45
3.1.1 Enfoque de investigación.....	45
3.1.2 Tipo de investigación .....	45
3.1.3 Nivel de investigación .....	46
3.1.4 Diseño de investigación .....	46



3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN ..... 46

    3.2.1 Población ..... 46

    3.2.2 Muestra ..... 47

3.3 DELIMITACIÓN DEL ÁREA ..... 47

    3.3.1 Área de influencia ..... 47

    3.3.2 Área de estudio ..... 47

3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOPIACIÓN DE DATOS ..... 48

    3.4.1 Técnicas de Recopilación de Datos ..... 48

    3.4.2 Instrumentos de Recopilación de Datos ..... 48

3.5 VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN ..... 49

    3.5.1 Validación de instrumentos ..... 49

    3.5.2 Confiabilidad de instrumentos ..... 49

3.6 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE MÉTODOS POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS ..... 50

    3.6.1 Identificar los parámetros que influyen en la estabilidad del talud ..... 50

    3.6.2 Comparar los factores de seguridad obtenidos con el método de equilibrio límite y el método de elementos finitos ..... 57

    3.6.3 Determinar la alternativa adecuada ..... 61

**CAPITULO IV**

**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

4.1 PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN EL LA ESTABILIDAD DEL TALUD ..... 63

    4.1.1 Geología ..... 63

    4.1.2 Geomorfología ..... 64

    4.1.3 Hidrología ..... 64



4.1.4	Parámetros geotécnicos que influyen para analizar por el MEL .....	66
4.1.5	Parámetros geotécnicos que influyen para analizar por el MEF .....	68
4.2	FACTORES DE SEGURIDAD OBTENIDOS CON EL MÉTODO DE EQUILIBRIO LÍMITE Y EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS .....	70
4.2.1	Método de Equilibrio Límite .....	70
	El análisis de equilibrio límite se realizó utilizando el software Slide de Rocscience, aplicando métodos de cálculo como Bishop Simplificado, Fellenius, Spencer y Morgenstern-Price. Los resultados obtenidos para cada condición del talud se presentan en la Tabla 11. Asimismo, la información generada por el software Slide, se encuentra en el Anexo 03. ....	70
4.2.2	Método de Elementos Finitos .....	71
4.2.3	Comparación entre métodos .....	72
4.3	ALTERNATIVA PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DEL TALUD .....	74
	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>78</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>80</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>81</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>85</b>
	<b>Anexo 1 MATRIZ DE CONSISTENCIA.....</b>	<b>86</b>



## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Método de calculo.....	27
<b>Figura 2</b> Fuerzas actuantes en una dovela .....	28
<b>Figura 3</b> Representación geométrica de un talud discretizada en elementos triangulares .....	32
<b>Figura 4</b> Ladera Natural .....	33
<b>Figura 5</b> Causas de Inestabilidad de taludes.....	35
<b>Figura 6</b> Deslizamiento .....	37
<b>Figura 7</b> Deslizamiento rotacional.....	37
<b>Figura 8</b> Tipos de fallas en deslizamientos rotacionales .....	38
<b>Figura 9</b> Deslizamiento Traslacional.....	38
<b>Figura 10</b> .....	40
<b>Figura 11</b> Forma apropiada de ejecutar el corte en talud, paralelamente a la topografía del mismo .....	41
<b>Figura 12</b> Escalonamiento en talud en suelos cohesivos.....	42
<b>Figura 13</b> Zonas Sísmicas .....	44
<b>Figura 14</b> Ortomosaico de la zona de estudio .....	52
<b>Figura 15</b> Columna litoestratigrafica local.....	53
<b>Figura 16</b> Ojo de agua .....	55
<b>Figura 17</b> Saturación de la superficie expuesta.....	56
<b>Figura 18</b> Falla por el pie del talud.....	58
<b>Figura 19</b> Sección .....	60
<b>Figura 20</b> Análisis de estabilidad de taludes .....	61
<b>Figura 21</b> Riesgo de deslizamientos.....	65
<b>Figura 22</b> Discontinuidades.....	66



### INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Operacionalización de variables .....	20
<b>Tabla 2</b>	Condiciones de equilibrio estático satisfechas por los métodos de equilibrio límite .....	29
<b>Tabla 3</b>	Factor de Zona .....	43
<b>Tabla 4</b>	Delimitación del área de estudio del talud .....	47
<b>Tabla 5</b>	Ensayos de laboratorio.....	56
<b>Tabla 6</b>	Resultados de Granulometría .....	67
<b>Tabla 7</b>	Resultado de límite de consistencia.....	67
<b>Tabla 8</b>	Clasificación de suelos .....	68
<b>Tabla 9</b>	Parámetros de resistencia.....	68
<b>Tabla 10</b>	Parámetros geotécnicos.....	68
<b>Tabla 11</b>	Factores de seguridad método equilibrio limite .....	70
<b>Tabla 12</b>	Factores de seguridad método Elementos finitos .....	71
<b>Tabla 13</b>	Comparación de métodos .....	73
<b>Tabla 14</b>	Alternativa de estabilización.....	75
<b>Tabla 15</b>	Factores de seguridad método Equilibrio Limite .....	75
<b>Tabla 16</b>	Factor de seguridad Método Elementos Finitos .....	76



## RESUMEN

El talud ubicado en el kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua, en la región de Puno, presenta un riesgo de deslizamientos durante la temporada de lluvias, cuando la presión de poros en el suelo aumenta. Estos deslizamientos afectan a los vehículos que transitan por la vía, generando condiciones peligrosas sin que hasta el momento se haya implementado una solución efectiva. Esta investigación tuvo como objetivo comparar dos métodos de análisis de estabilidad de taludes: el equilibrio límite y los elementos finitos, para identificar cuál de ellos ofrece un enfoque más conservador en términos de estabilidad. Se realizaron estudios topográficos, geológicos, hidrológicos y geomorfológicos. Los softwares Slide y Geo5 fueron empleados para modelar el talud y calcular los factores de seguridad correspondientes a cada método. Los resultados mostraron que el método de elementos finitos proporcionó un enfoque más conservador en comparación con el método de equilibrio límite, lo que sugiere una mayor efectividad para estabilizar el talud bajo condiciones desfavorables. A partir de estos resultados, se propuso una solución alternativa: el procedimiento de reducción de fuerzas actuantes, que busca lograr el equilibrio de las masas del talud al reducir las fuerzas desestabilizadoras que producen el movimiento.

**Palabras Clave:** Deslizamiento, estabilidad, factor de seguridad y talud.



## ABSTRACT

The slope located at kilometre 3+950 of the Puno-Moquegua road in the Puno-Moquegua road, in the Puno region, presents a risk of landslides during the landslides during the rainy season, when the pore tension in the dirt increments. the dirt increments. These avalanches influence vehicles going out and about, making hazardous circumstances. vehicles going out and about, making perilous circumstances with no successful arrangement having been carried out up to this point. carried out a viable arrangement. The goal of this exploration was to look at two strategies for slant solidness examination: limit balance and limited component, to distinguish harmony and limited component investigation, to recognize which of them offers a more safe methodology concerning soundness. more moderate methodology regarding solidness. Studies were done geographical, topographical, hydrological and geomorphological examinations were completed. Slide and Geo5 programming were utilized to demonstrate the incline and compute the variables of wellbeing for every strategy. elements of security for every strategy. The outcomes showed that the limited component technique gave a more safe methodology contrasted with the cutoff balance compared to the limit equilibrium method, suggesting a greater effectiveness in stabilising the slope under effectiveness in stabilising the slope under unfavourable conditions. Based on these results, a more conservative approach was proposed to stabilise the slope under unfavourable conditions. results, an alternative solution was proposed: the acting force reduction procedure, which seeks to reduction of acting forces, which seeks to achieve equilibrium of the slope masses by reducing the unbalanced slope masses by reducing the destabilising forces that produce the movement.

**Keywords:** Sliding, stability, factor of safety and slope.



## INTRODUCCIÓN

Uno de los desafíos más apremiantes que enfrenta nuestro país es la gestión de deslizamientos de suelo en terrenos inclinados. La región de Puno, caracterizada por su compleja composición geográfica y una geomorfología accidentada, es particularmente vulnerable a estos eventos. "Factores como la intensa actividad pluvial, la sismicidad y la interacción con las características geológicas específicas de la zona contribuyen significativamente a la ocurrencia de deslizamientos, que han generado un impacto negativo en la infraestructura vial y representan una grave amenaza para la seguridad de los conductores" (Torres, 2007, p. 7).

Este trabajo es de relevancia debido a los riesgos asociados con los deslizamientos de terreno, lo cual exige soluciones eficaces y bien planificadas. Estos eventos no solo ponen en peligro la seguridad de las personas que transitan por esta vía, sino que también generan importantes repercusiones económicas. Entre las principales consecuencias se destacan los daños ocasionados a la infraestructura vial, las interrupciones en el flujo de transporte y el incremento de los costos relacionados con la reparación y el mantenimiento.

En este contexto, la investigación se enfocó en evaluar dos enfoques metodológicos clave: la técnica de equilibrio del punto de rotura, ejecutada utilizando la programación Slide, y la estrategia de componentes limitados, aplicada con la programación Geo5. La investigación de la resistencia del talud dependió de una investigación de variables decisivas, como la geografía del territorio, las circunstancias hidrológicas y geográficas, así como las propiedades físicas y mecánicas del material que forma el diseño. Segundo a Norma CE.020



Suelos sísmicas. Este estándar es de importancia ya que permite prevenir fallas y asegurar la estabilidad a largo plazo de los taludes.

El primer capítulo se enfoca en presentar el problema central del estudio, así como la justificación, los objetivos y la hipótesis formulada. La parte siguiente trata del sistema hipotético, incluidos los fundamentos importantes de las estrategias examinadas. La tercera parte describe exhaustivamente el procedimiento, la recopilación de información de campo y la utilización de los aparatos de investigación elegidos. La cuarta parte describe los resultados obtenidos. Por último, la revisión termina con una recopilación de conclusiones y propuestas.



## CAPITULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

La seguridad es un pilar esencial en cualquier actividad laboral, cuyo objetivo principal es proteger la vida de las personas involucradas. En este contexto, la estabilidad de los taludes, cobra una relevancia destacada, especialmente en proyectos donde los riesgos asociados pueden comprometer tanto la infraestructura como a quienes la utilizan. Para garantizar dicha estabilidad, se realizan evaluaciones y analizan los factores clave que intervienen en estos sistemas, representados comúnmente como factores de seguridad (Gerscovich, 2012).

“Los deslizamientos de suelo son el tipo más común de movimiento de masas en taludes” (Gerscovich, 2012). Este fenómeno ocurre en diversas partes del mundo, pero en el Perú representa un problema particularmente crítico, desafiando constantemente a la ingeniería geotécnica. Los deslizamientos, tanto en suelos como en laderas rocosas, tienen consecuencias devastadoras para la sociedad. Entre los impactos más graves se encuentran la destrucción de infraestructura, la interrupción de vías de comunicación fundamentales y, lo más trágico, la pérdida de vidas humanas. Por lo tanto, “la identificación e



implementación de estrategias de prevención efectivas son fundamentales para mitigar estos impactos adversos" (Torres, 2007, p. 9).

El talud ubicado en el kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua representa un punto estratégico dentro de la red vial de la región, pero también un área altamente vulnerable. La interacción de factores geológicos, hidrológicos y climáticos crea un entorno propenso a deslizamientos, especialmente durante la temporada de lluvias. En este periodo, el aumento de la presión de poros en el terreno actúa como desencadenante de deslizamientos, que no solo interrumpen el tránsito, sino que también incrementan significativamente el riesgo de accidentes, poniendo en peligro la seguridad de quienes transitan por esta vía.

Los deslizamientos no solo implican costos elevados en la reparación de la infraestructura vial, sino que también generan un impacto significativo en la economía local al obstaculizar el transporte esenciales.

A pesar de la existencia de normativas que definen factores de seguridad mínimos, la ausencia de una implementación efectiva de medidas correctivas ha perpetuado la inestabilidad recurrente de este talud. Esta circunstancia exige evaluaciones exhaustivas para asegurar la fiabilidad de la inclinación y garantizar el cumplimiento efectivo de las regulaciones. Adoptar estas medidas no solo contribuirá a mitigar los riesgos inherentes, sino también a preservar la seguridad vial y la funcionalidad de las infraestructuras.

Ante la gravedad del problema, resulta indispensable Esta circunstancia exige evaluaciones exhaustivas para asegurar la fiabilidad de la inclinación y garantizar durante el año 2023. Los resultados evidenciaron que la pérdida de

estabilidad estaba estrechamente vinculada a factores específicos, destacando la interacción de diversas fuerzas que afectaban su integridad estructural.

El análisis determinó que esta problemática tiene su origen en una combinación de factores externos, como el clima, actividades humanas, y factores internos. En particular, un pozo de agua situado en la parte superior de la pendiente altera significativamente las presiones de agua intersticial, lo que crea condiciones críticas para la estabilidad del talud. Este fenómeno se refleja en la formación de flujos de escorrentía superficial, responsables de la erosión en forma de surcos, cárcavas y sectores altamente vulnerables a deslizamientos. Estas condiciones siguen representando un riesgo elevado para la seguridad de los usuarios que transitan por la carretera entre Puno y Moquegua.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 Pregunta general**

¿Cuál de los métodos de estabilidad de taludes, proporciona un factor de seguridad más conservador al talud del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua de la región de Puno en el 2023?

### **1.2.2 Preguntas específicas**

¿Cuáles son los parámetros que influyen en la estabilidad del talud del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua de la región de Puno en el 2023?

¿Qué diferencias se observan en los factores de seguridad obtenidos con el método de equilibrio límite y el método de elementos finitos para el talud del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua de la región de Puno en 2023?

¿Cuál es la alternativa adecuada para mejorar la estabilidad del talud del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua de la región de Puno en 2023?

### 1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Debido a la problemática de deslizamientos en el talud del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua, se hace necesario realizar intervenciones anuales con maquinaria pesada para limpiar y estabilizar la zona. Estos deslizamientos afectan directamente la carretera, obstaculizando el tránsito y poniendo en riesgo la seguridad vial. Sin embargo, las soluciones aplicadas hasta ahora han sido temporales, lo que requiere una intervención constante cada temporada de lluvias.

#### 1.3.1 Justificación técnica

La comparación de los factores de seguridad entre los métodos de equilibrio límite y elementos finitos es crucial para determinar la alternativa más adecuada. Estos métodos permiten identificar las condiciones críticas del talud y, con base en los resultados, proponer una solución técnica que ofrezca estabilidad a largo plazo, reduciendo la necesidad de intervenciones recurrentes.

Los deslizamientos anuales obligan a realizar trabajos de limpieza con maquinaria pesada, lo que representa un gasto y esfuerzo continuo. Sin un análisis técnico adecuado, las soluciones temporales seguirán siendo insuficientes para garantizar la solidez de la inclinación. El examen actual propone una respuesta en función de los resultados obtenidos para el elemento de seguridad.

El examen propuesto se ajusta a la norma CE.020 «Suelos y taludes», que establece un elemento de bienestar básico de 1,5 para circunstancias estáticas y de 1,25 para circunstancias sísmicas. Garantizar que la solución propuesta cumpla con estos requisitos normativos es fundamental para asegurar la estabilidad del talud.

### **1.3.2 Justificación económica**

El uso recurrente de maquinaria pesada para la limpieza del talud genera costos elevados, ya que estos deslizamientos ocurren anualmente y afectan directamente la carretera Puno-Moquegua. Estos gastos de mantenimiento son una carga para los recursos públicos y podrían evitarse mediante la implementación de una solución de estabilización del talud. La presente investigación se enfoca en identificar una alternativa de estabilización adecuada, como el escalonamiento del talud, que no solo reduciría los gastos de mantenimiento recurrentes, sino que también prevendría daños futuros en la carretera, mejorando la seguridad vial.

### **1.3.3 Justificación social**

La investigación no solo garantiza la seguridad de los conductores y pasajeros que transitan por la carretera Puno-Moquegua, sino que también mejorará el transporte de bienes y servicios, impactando positivamente en la economía local. Una solución efectiva para el deslizamiento mejorará la conectividad y reducirá el riesgo de accidentes.

### **1.3.4 Justificación ambiental**

Además de mejorar la estabilidad del talud, la solución propuesta puede contribuir significativamente a mitigar la erosión. Al prevenir el deslizamiento, se evitará la degradación del terreno y se reducirán los impactos negativos en el paisaje, promoviendo un entorno más sostenible.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo general**

Analizar los métodos de estabilidad de taludes aplicado al talud del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua de la región de Puno en el 2023, con el

fin de determinar cuál de ellos proporciona un factor de seguridad más conservador.

#### **1.4.2 Objetivos específicos**

Identificar los parámetros que influyen en la estabilidad del talud del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua de la región de Puno en el 2023.

Comparar los factores de seguridad obtenidos con el método de equilibrio límite y el método de elementos finitos para el talud del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua de la región de Puno en el 2023.

Determinar la alternativa adecuada para mejorar la estabilidad del talud del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua de la región de Puno en el 2023.

#### **1.5 LIMITACIONES**

La presente investigación se centró exclusivamente en el análisis de la estabilidad del talud situado en el kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua, sin extenderse a un análisis más amplio del tramo completo. Esta focalización permitió un enfoque más detallado y profundo en el análisis de los métodos de estabilidad de taludes en este punto crítico, facilitando la implementación de solución para prevenir deslizamientos y mejorar la seguridad en la zona.

#### **1.6 HIPÓTESIS**

##### **1.6.1 Hipótesis general**

El método de elementos finitos proporciona un factor de seguridad más conservador en comparación con el método de equilibrio límite para el talud del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua de la región de Puno en el 2023.



## 1.6.2 Hipótesis específicas

Los parámetros que influyen en la estabilidad del talud del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua de la región de Puno en el 2023 son las características geológicas, hidrológicas y geomorfológicas, así como las propiedades físico-mecánicas del suelo.

Existen diferencias significativas en los factores de seguridad obtenidos mediante el método de equilibrio límite y el método de elementos finitos para el talud del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua en 2023, siendo el método de elementos finitos el que proporciona un factor de seguridad más conservador debido a su capacidad para modelar condiciones complejas del talud.

La alternativa de escalonamiento del talud, es la adecuada para mejorar la estabilidad del talud del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua, ya que reduce las fuerzas desestabilizadoras y mejora el equilibrio de las masas del talud, minimizando así el riesgo de deslizamientos.

## 1.7 VARIABLES E INDICADORES

### 1.7.1 Variables independientes

Métodos de Estabilidad de Taludes

- Método de Equilibrio Límite
- Método de Elementos Finitos

### 1.7.2 Variable dependiente

- Talud: La estabilidad del talud del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua.

## 1.8 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

**Tabla 1**

*Operacionalización de variables*

VARIABLE	INDICADOR	INSTRUMENTO POR UTILIZAR	VALORACION
<b>Independiente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Módulo de elasticidad</li> <li>• Coeficiente de Poisson</li> <li>• Cohesión</li> <li>• Angulo de Fricción</li> <li>• Peso Especifico</li> </ul>	de Laboratorio de Contenido de humedad • Limite liquido • Limite plástico • Índice de plasticidad • Análisis granulométrico • Ensayos de corte directo  Software • Slide • Geo5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• E (Pa)</li> <li>• <math>\nu</math> (-)</li> <li>• C (kN/m<sup>2</sup>)</li> <li>• <math>\phi</math> (°)</li> <li>• <math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Método de Equilibrio Límite</li> <li>• Método de Elementos Finitos</li> </ul>			
<b>Dependiente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Topografía</li> <li>• Pendiente</li> <li>• Geología</li> <li>• Hidrología</li> <li>• Geomorfología</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dron</li> <li>• Libreta de campo</li> <li>• Observación Visual</li> <li>• Registro Fotográfico</li> <li>• Revisión de Literatura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ortomosaico</li> <li>• Porcentaje (%)</li> <li>• Formación geológica</li> <li>• Unidades geomorfológicas</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Talud</li> </ul>			



## CAPITULO II

### MARCO TEORICO

#### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

##### 2.1.1 A nivel internacional

Jia et al. (2024) llevaron a cabo un estudio titulado "Análisis de estabilidad de talud basado en el método de elementos finitos de partículas suavizadas explícitas", el propósito de este estudio fue desarrollar el método de elementos finitos de partículas explícitas suavizadas (eSPFEM) en la plataforma CUDA, utilizando un código de programa eSPFEM de diseño propio de los autores. Los resultados logrados revelaron que los cálculos muestran que el eSPFEM puede aplicarse al análisis de estabildades de taludes en diferentes condiciones de trabajo, simulando todo el proceso de inicio de la inestabilidad del talud, deslizamiento y Re-acumulación, y obteniendo valores de FS fiables. Concluyeron que el eSPFEM puede simular eficazmente un caso real de deslizamiento de tierras, demostrando una gran precisión y aplicabilidad en la simulación del comportamiento de grandes deformaciones de deslizamientos de tierras.

Den Hartog (2021) llevo a cabo un estudio titulado "Verificación de un método de análisis basado en XFEM (método de elemento finito extendido)". El



propósito fue verificar el inicio de la localización a nivel de elemento y proporcionar un método para la verificación del punto de fallo global en análisis con el método de propagación que está siendo desarrollado para el software de Diana FEA, para lo cual la metodología que utilizo fue un número crítico de estabilidad para ajustar las estabilidades de los taludes en los análisis con el método de propagación. Los resultados obtenidos revelaron que se produjo un error en el análisis con la versión de desarrollo del método de propagación cuando las interfaces están demasiado cerca de los nodos de los elementos de enriquecimiento. Cuando esto ocurre, el sistema de ecuaciones queda mal condicionado, lo que provoca la no convergencia del análisis. En última instancia, el investigador concluyó que el número crítico de estabilidad, calculado con la versión de desarrollo del método de propagación, no es correcto.

Wang y Lin (2021) llevaron a cabo una investigación titulada " Método de análisis por elementos finitos de la estabilidad de talud basado en estadísticas difusas". A partir de los descubrimientos de la exploración, se reconoció que el error en los límites mecánicos de la inclinación de la piedra y el suelo presenta vulnerabilidad que luego se refleja en los efectos posteriores de los exámenes relacionados con la reubicación de la posición y la presión de inclinación. En general, se observó que la utilización del enfoque de componentes limitados difusos al análisis de pendientes de rocas y suelos podría informar mejor a los ingenieros y técnicos sobre cuestiones relacionadas con fallas estructurales, incluidos, entre otros, desplazamientos de posición y tensiones.

Gurruchaga R. y Viscarra A (2020) A partir de los descubrimientos de la investigación, se percibió que el error en los alcances mecánicos más lejanos de la inclinación de la piedra y el suelo presenta debilidad que luego se refleja en



los impactos resultantes de las evaluaciones relacionadas con el movimiento posicional y la presión de inclinación. En general, se observó que la utilización del enfoque de la parte obligada minimizando al mismo tiempo las deformaciones. La conclusión que se extrae de esta comparación entre el análisis numérico y los métodos de cálculo tradicionales es que el primero es más representativo y conservador a la hora de identificar puntos óptimos de mitigación, que no pueden verse fácilmente de manera visual utilizando el segundo.

Liu et al. (2018) se llevó a cabo un estudio titulado "Análisis de estabilidad de taludes roca-suelo mediante medios aleatorios bifásicos y elementos finitos", utilizaron una traslación no lineal de un campo gaussiano para simular el medio aleatorio bifásico, para establecer el factor de seguridad del talud roca-suelo se utiliza el método de los elementos finitos con medios aleatorios incorporados como propiedades del material. Los resultados obtenidos revelaron que el escenario más inestable se produce cuando el ángulo del talud coincide con la inclinación de la capa de suelo. Concluyeron que el método de los elementos finitos podría ser una buena elección para el análisis de la estabilidad, ya que no requiere suponer la forma de la superficie crítica antes del análisis.

Göktepe y Keskin (2018) llevaron a cabo una investigación titulada "Estudio comparativo entre los métodos tradicional y de elementos finitos para la evaluación de la estabilidad de talud", Turquía. Los hallazgos demostraron que existe un acuerdo considerable entre la simulación de elementos finitos y la solución numérica para la estabilidad de pendientes. Conclusión de que comparar los factores de seguridad calculados utilizando métodos FEM con diferentes métodos de corte confirma la similitud de los resultados.



Griffiths et al. (2015) llevaron a cabo un estudio titulado "Análisis probabilístico de estabilidad de taludes mediante RFEM con campos aleatorios no estacionarios". El propósito fue ejecutar un análisis probabilístico de un talud no drenado con resistencia media linealmente creciente y coeficiente de variación constante, empleando el método de elementos finitos aleatorios (RFEM), y generación de campos aleatorios no estacionarios. Los resultados obtenidos revelaron que la probabilidad de fallo aumentaba monótonicamente con el coeficiente de variación y la longitud de correlación espacial de la resistencia no drenada. En última instancia, concluyeron que el comportamiento probabilístico correspondiente a valores extremos de la longitud de correlación espacial permite la validación frente a valores deterministas.

Hammah et al. (2005) A partir de los descubrimientos del examen, se vio que el error en los compases mecánicos más lejanos de la tendencia de la piedra y el suelo presenta deficiencias que luego se reflejan en los efectos que se producen debido a las evaluaciones relacionadas con el desarrollo posicional y la tensión de la tendencia. Como regla general, se vio que la utilización del enfoque de la parte obligada utilizar el mismo valor módulo de Young para los materiales en un modelo de múltiples materiales, asumir una única relación de Poisson válida para los materiales, suponer un ángulo de dilatación = 0, y utilizar la hipótesis elástica-perfectamente plástica para el comportamiento posterior a la cresta. Los investigadores concluyeron que los análisis de «círculos de deslizamiento» pueden producir resultados engañosos. Por ello, sugieren adoptar el método de SSR como una herramienta adicional sólida y potente para diseñar y analizar taludes.



### 2.1.2 A nivel nacional

Huaman (2023) llevo a cabo una investigación titulada "Implementación del método de reducción de resistencia para el análisis de estabilidad de taludes", el estudio tuvo como objetivo implementar el método de reducción de la resistencia al corte (MRR) en el software comercial de elementos finitos (MEF) Abaqus®, utilizando modelos bidimensionales con condiciones de contorno definidas para el análisis numérico. Los resultados que obtuvo lo comparo con los creados por la técnica de equilibrio del punto de ruptura (LEM) utilizando Slide®. Dedujo que los resultados eran similares entre las dos filosofías; en cualquier caso, descubrió que el examen del MEF proporcionaba unos valores superiores del elemento de seguridad (FS) en contraste con los obtenidos por la técnica del LEM. Según indicó el creador, esto se debe principalmente a la forma en que el MEF es una estrategia más exhaustiva, ya que considera las conexiones de tensión de presión de los materiales, requiriendo más límites y realizando menos desentrañamientos en contraste con la MEL.

### 2.1.3 A nivel local

Cuentas (2023) desarrolló una investigación titulada "Examen de confiabilidad de talud del macizo rocoso de Quellorco utilizando la estrategia de componentes limitados, armonía de límites, probabilística y propuesta de ajuste - Puno». El objetivo fundamental de este estudio fue evaluar la solidez del talud de Quellorco y proponer estrategias de ajuste que cumplan con el factor de seguridad base requerido. Para ello, se realizó un análisis de estabilidad considerando condiciones secas y saturadas, tanto en escenarios estáticos como pseudoestáticos. Los resultados obtenidos arrojaron factores de seguridad que oscilaron entre 1.109 y 7.568, y la solución planteada consistió en la



alteración del cálculo de la inclinación. El creador razonó que los valores de estabilidad de la inclinación obtenidos utilizando la estrategia de componentes limitados (MEF) y el examen probabilístico eran básicamente los mismos que los resultados de la investigación realizada con la técnica de armonía del punto de rotura. (MEL).

## 2.2 BASES TEÓRICAS

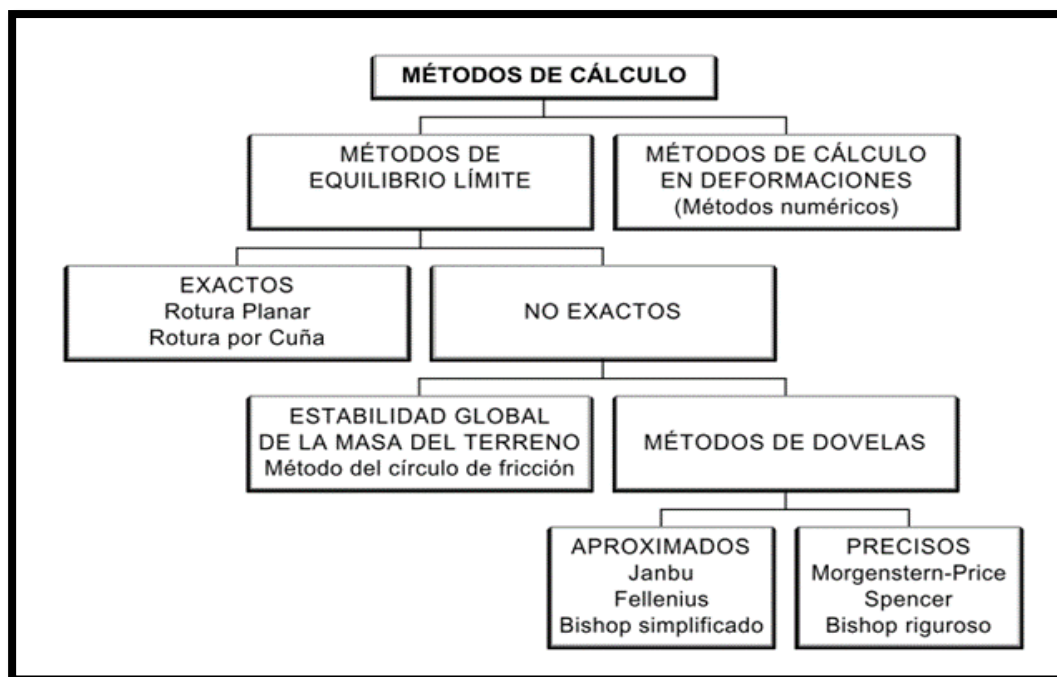
### 2.2.1 Método de equilibrio Limite

Herrera (2000) menciona que estos enfoques implican únicamente las leyes de la estática para encontrar el equilibrio de una masa que sin duda podría moverse. No tienen en cuenta ninguna deformación del suelo y toman toda la oposición de cizalladura accesible a lo largo de toda la superficie de cizalladura en el doble.

Al intentar una resolución, se considera ésta como un conjunto de cortes verticales o dovelas que la componen, visualizando estas divisiones individuales con su propio peso (Herrera, 2000).

En la figura 1, observamos la clasificación de los métodos de dovelas: aproximados aquellos que no cumplen con todas las ecuaciones estáticas y métodos precisos que satisfacen todas las ecuaciones estáticas (Herrera, 2000).

Figura 1

*Método de calculo*

Nota: Según Herrera (2000)

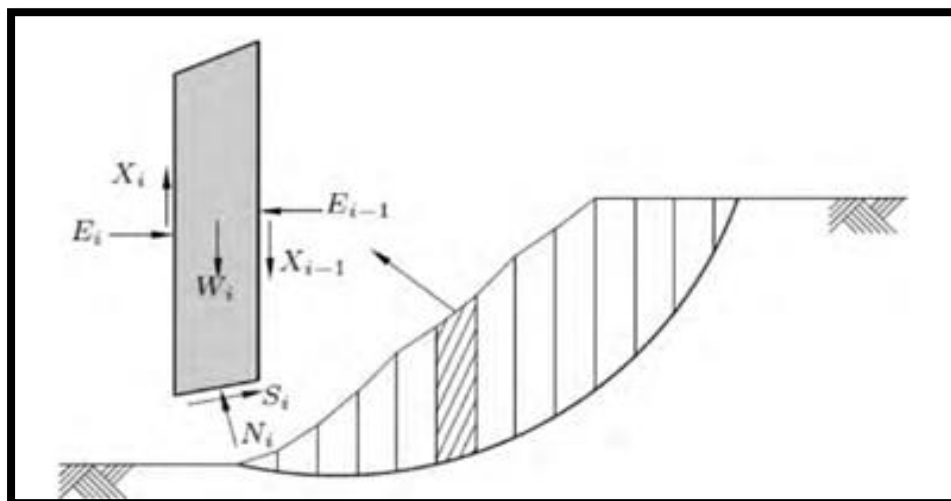
- a) **Bishop Riguroso y Bishop Simplificado:** Ambos métodos son utilizados para análisis de estabilidad de talud. El método simplificado asume superficies de falla circular y es más rápido de aplicar, mientras que el riguroso permite considerar formas de falla más complejas (Bishop, 1955).
- b) **Janbu Simplificado y Janbu Riguroso:** Estos métodos están basados en la teoría de rebanadas y son empleados para análisis de estabildades de taludes. La versión simplificada asume condiciones ideales, mientras que la rigurosa considera factores adicionales como la variación de la propiedad del suelo y la geometría del talud (Janbu, 1954).
- c) **Morgenstern - Price:** Basado en la teoría de rebanadas, este método es adecuado para analizar taludes con diferentes estratos de suelo y considera la variación de las propiedades del suelo a lo largo de la superficie de la falla (Morgenstern & Price, 1965).

- d) **Spencer:** Este método tiene en cuenta la distribución de las fuerzas de cohesión y fricción a lo largo de la superficie de falla y puede ser útil para evaluar taludes con materiales no homogéneos (Spencer, 1967).
- e) **Fellenius:** Tome una superficie de falla circular. Divida la región de falla en áreas verticales: decidir los poderes en juego para cada área individual y sus cualidades resultantes. Deberíamos decidir una variable de seguridad para la cantidad conjunta de estos poderes. (Suarez, 1998).

La figura 2 muestra las potencias que siguen a una dovela, así como las potencias que actúan entre las dovelas se suponen horizontales ( $E_i$ ), el peso de la dovela ( $W_i$ ), esfuerzo de corte ( $S_i$ ), esfuerzo normal ( $N_i$ ) y fuerzas verticales entre dovelas ( $X_i$ ).

### Figura 2

*Fuerzas actuantes en una dovela*



Nota: Según Suarez (1998)

A continuación, en la tabla 2 se muestra las condiciones de equilibrio estático satisfechas por los métodos de equilibrio límite:

**Tabla 2**

*Condiciones de equilibrio estático satisfechas por los métodos de equilibrio límite*

Método	Equilibrio de fuerzas		Equilibrio momento
	X	Y	
Fellenius	NO	NO	SI
Bishop simplificado	SI	NO	SI
Janbu simplificado	SI	SI	NO
Janbu Riguroso	SI	SI	NO
Bishop Riguroso	SI	SI	SI
Spencer	SI	SI	SI
Morgenstern-Price	SI	SI	SI

Nota: Según Suarez (1998)

### 2.2.1.1 Datos de entrada para el análisis del método de límite de equilibrio

Los datos de entrada para realizar el análisis con el método de equilibrio límite son:

- Resistencia al cortante:** Se debe considerar si estas condiciones son agotado o no drenado o, por otra parte, suponiendo que el examen se actúe en un expreso no saturado; los límites deben coincidir con las sensaciones de ansiedad a lo largo de las superficies de decepción potencial. (Suárez, 2016).
- Condición drenadas o no drenadas:** Los suelos típicamente exhiben permeabilidades adecuadas para liberar el exceso de presiones de poro y actuar en condiciones drenadas; sin embargo, se consideran circunstancias sin drenaje cuando el suelo no puede lograr el drenaje en un tiempo razonable debido a factores como cambios de carga (Suárez, 2016).

c) **Pesos unitarios:** Se diferencian de la siguiente manera: peso húmedo por encima del nivel freático y peso saturado. Cuando se utilizan pesos sumergidos, es importante ignorar cualquier indicación de presencia de nivel freático (Suárez, 2016).

### 2.2.1.2 Factor de seguridad

Es un valor entre la condición real de un talud y la condición que lo llevarían a la ruptura, este coeficiente constituye el principal objetivo del análisis de estabilidad del talud (Melentijevic, 2005). Siendo la proporción entre las fuerzas o momentos que resisten y aquellas que provocan desequilibrio como indica la formula (1) y (2). (Valiente et al., 2015).

La variable de bienestar es el examen entre la resistencia al cizallamiento real determinada del material en la pendiente y los esfuerzos de cizallamiento básicos esperados para instigar la decepción a lo largo de una ecuación de superficie de decepción potencial especulativa. (Suarez, 1998).

$$F.S. = \frac{\text{Resistencia al cortante disponible}}{\text{Esfuerzo al cortante actuante}} \quad (1)$$

$$F.S. = \frac{\text{Momento resistente disponible}}{\text{Momento actuante}} \quad (2)$$

### 2.2.2 Método de los elementos finitos

Modelar situaciones complejas utilizando mecanismos progresivos es lo que hace que el método de elementos finitos sea único: implica iteración mientras se resuelve el problema. Para cada iteración, los parámetros se toman de la anterior: en principio, una idea sencilla. Sin embargo, la implementación exige la audacia de un grupo de parámetros tensión-deformación que caractericen el comportamiento mecánico del macizo rocoso; En la actualidad, esta es una tarea casi imposible de realizar con precisión (Melentijevic, 2005).

La técnica de los elementos finitos surgió a finales de la década de 1960 y hoy es el enfoque principal en los métodos numéricos geotécnicos. Su idea central implica dividir el dominio del problema en elementos geométricos como se observa en la figura 3 (típicamente triángulos o rectángulos) donde la forma de la solución está predeterminada dentro de cada elemento. Al establecer esta forma a priori, podemos imponer condiciones que se aproximan mucho a la realidad, lo que nos lleva por un camino en el que construimos matrices de rigidez para elementos individuales. Esto culmina en un sistema de ecuaciones lineales que, según se prefiera, se pueden abordar utilizando métodos directos o iterativos según lo dicten sus características y restricciones específicas (Huaman, 2023).

Este enfoque representa idealmente la correlación tensión-deformación que sufre un talud mientras se deforma o se desliza y finalmente falla. Esta relación tiene importancia, ya que proporciona una indicación amplia de cuál sería la respuesta del material ante factores estresantes específicos; esta relación particular es autónoma y está singularmente determinada por las propiedades del material que representa.

Este método tiene una limitación: requiere conocimiento de la ley de comportamientos de los materiales ya que los parámetros dependen de ello (Huaman, 2023).

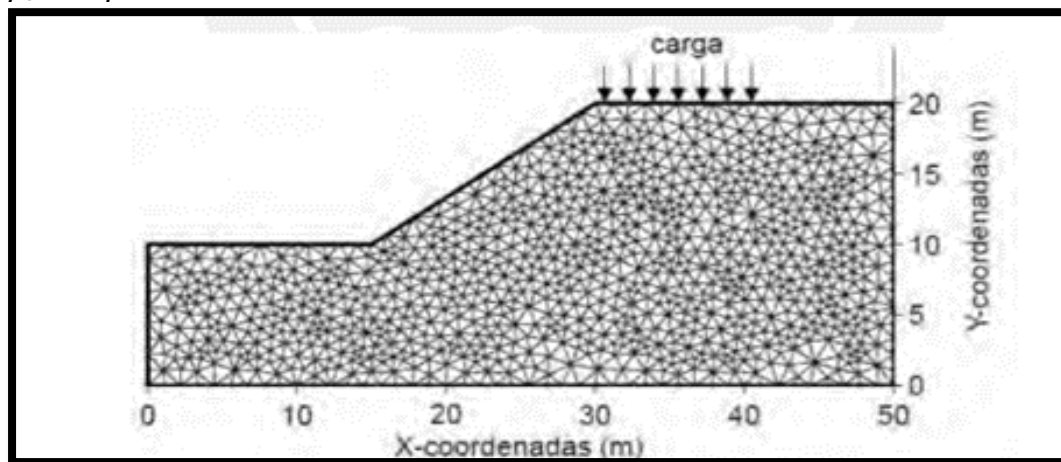
### **2.2.2.1 Datos de entrada para el análisis de los métodos de elementos finitos**

Suarez (1998) los datos de entrada para el análisis de los métodos de elementos finitos son:

- a) **Densidad ( $\rho$ ):** Es una propiedad intrínseca del material que indica cuán compacto está.
- b) **Módulos de elasticidades ( $E$ ):** Describe la relación entre el esfuerzo (stress) y la deformación (strain) en el rango elástico de la curva esfuerzo-deformación.
- c) **Coefficiente de Poisson ( $\nu$ ):** Indica cuánto se contrae o se expande lateralmente un material cuando se le aplica un esfuerzo longitudinal.
- d) **Cohesión ( $c$ ):** Es la fuerza que mantiene unida la partícula de un material.
- e) **Angulo de fricción ( $\phi$ ):** Es una medida de la resistencia al deslizamiento entre partículas de un material granular, representa la inclinación máxima en la que un material granular puede ser apilado sin desmoronarse.

### Figura 3

*Representación geométrica de un talud discretizada en elementos*



Nota: Según Huamán (2023)

Los programas convencionales empleados para el análisis de estabilidad de taludes suelen adoptar modelos de deformaciones pequeños. Estas deformaciones no se tienen en cuenta durante el proceso de cálculo numérico. El enfoque utilizado en tales casos es el método Lagrangiano, que rastrea cada nodo de la malla ya que están interrelacionados entre sí. (Huamán, 2023).

### 2.2.3 Talud

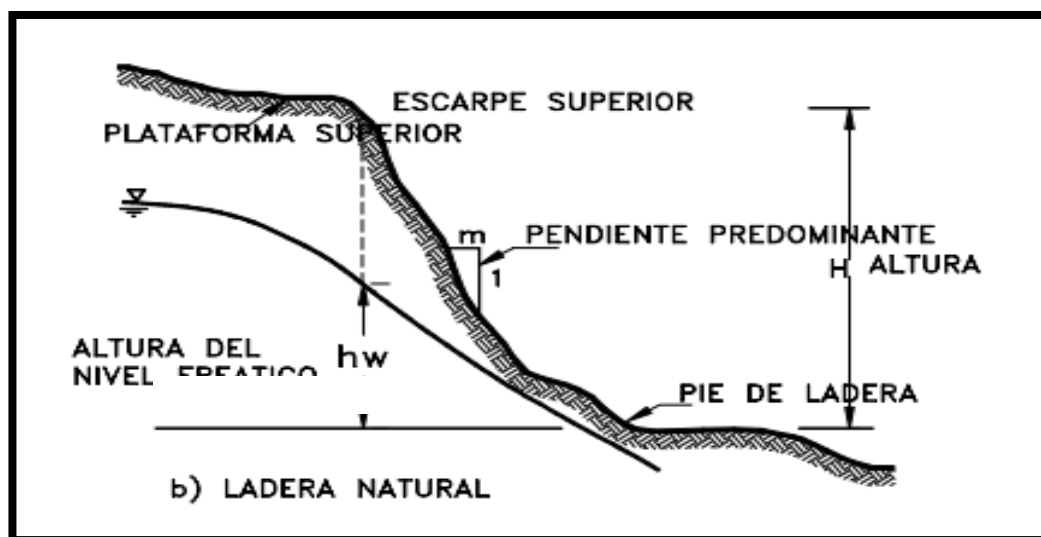
El término 'talud' engloba cualquier superficie inclinada, que puede ser adoptada de manera permanente o temporal por estructuras de tierra. Estas pueden ser de origen artificial o natural. Además, pueden consistir en suelos, rocas o una combinación de ambos, lo que requiere distintas metodologías de estudio para su análisis y comprensión (Valiente et al., 2015).

Están constituidos por:

- **Pie:** Correspondiente al cambio repentino en la pendiente en la parte inferior (Suarez, 1998).
- **Altura:** Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza (Suarez, 1998).
- **Altura de nivel freático:** Distancia vertical desde el pie del talud hasta el nivel de agua medido debajo de la cabeza (Suarez, 1998).
- **Cabeza o escarpe:** Se relaciona al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior (Suarez, 1998).
- **Pendiente:** Es la inclinación del talud. (Suarez, 1998).

Figura 4

*Ladera Natural*



Nota: Según Suarez (1998)



### 2.2.3.1 Estabilidad de taludes

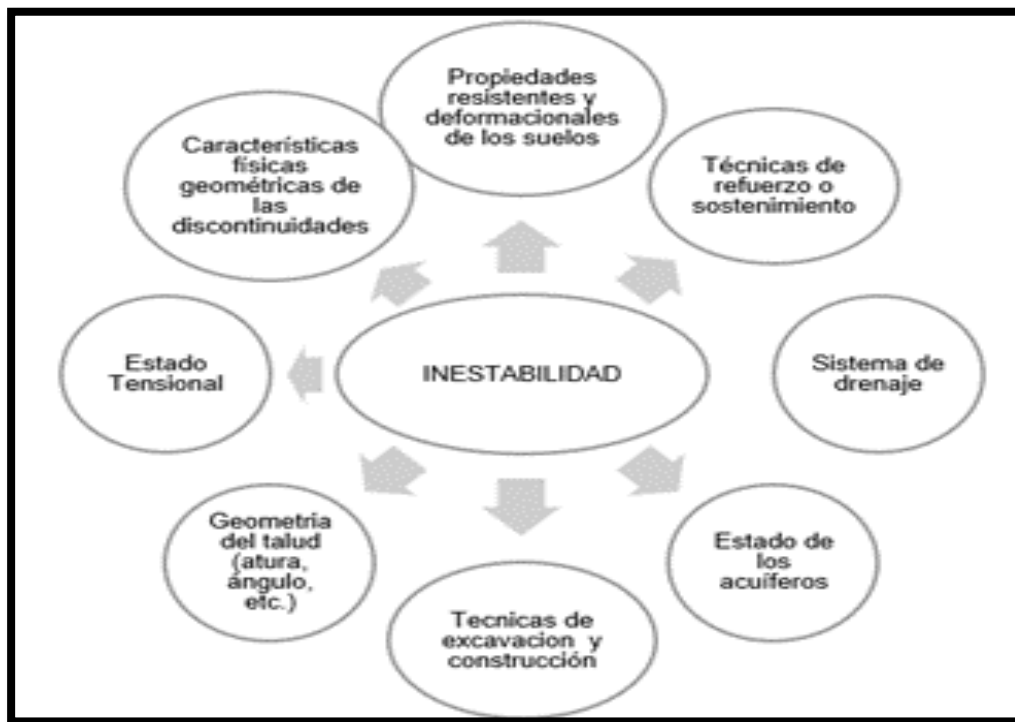
Se describe como la condición en la cual una superficie inclinada, conserva su forma y estructura sin experimentar alteraciones significativas, como desplazamientos o fracturas, bajo diversas cargas y tensiones externas. Esto implica que el talud puede resistir las fuerzas aplicadas sin comprometer su integridad, reduciendo así los riesgos relacionados con deslizamientos (Pérez de Agreda, 2005; Ramos Vásquez, 2017).

El análisis de estabilidad de taludes suele implicar la evaluación de la resistencia del suelo y el establecimiento del perfil del talud, así como la evaluación de las condiciones de infiltración y de las aguas subterráneas. Todo ello se integra con la selección de una superficie de fallo o deslizamiento adecuada y el cálculo del factor de seguridad. (Aguilar & Zuñiga, 2015).

La inestabilidad de laderas resulta con mayor frecuencia de una pendiente extremadamente pronunciada, que puede ser natural o provocados por el hombre, y la situación de exceso de presión de poro debido a factores como niveles freáticos elevados o pérdida de resistencia debido a los procesos de reptación, erosión y socavaciones como resultado de erosión hídrica superficial (Alva, 1994).

Figura 5

*Causas de Inestabilidad de taludes*



Nota: Según Aguilar & Zuñiga (2015)

### 2.2.3.2 Deslizamientos

Se puede clasificar como deslizamiento traslacional o rotacional y ocurre cuando se excede la resistencia al corte a lo largo de una superficie de deslizamiento específica. El deslizamiento traslacional se produce a lo largo de superficies con formas planas o curvas (Melentijevic, 2005).

A continuación, se describe partes de un deslizamiento:

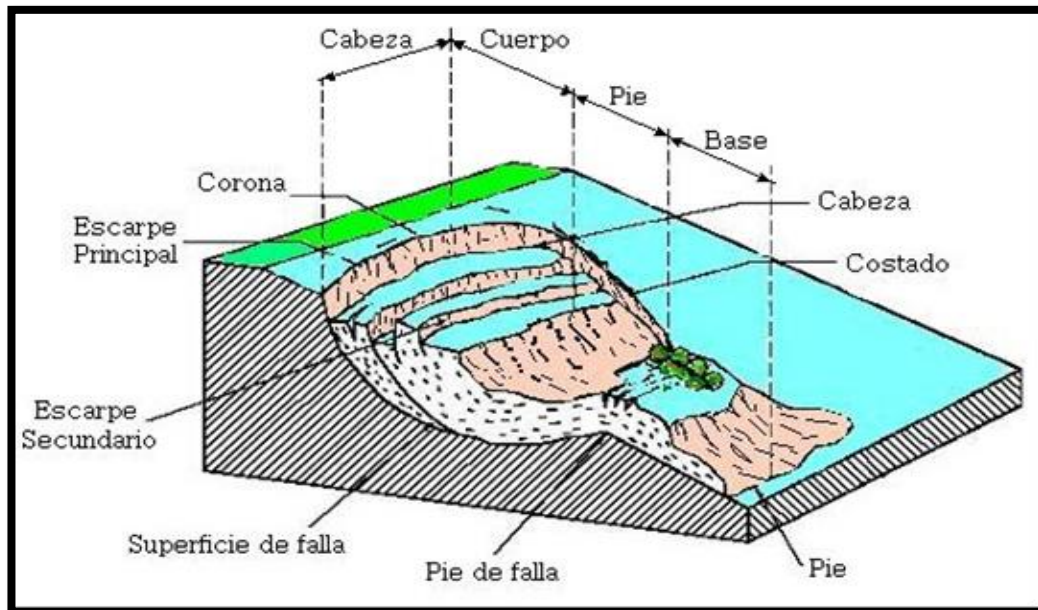
- **Escarpe principal:** Corresponde a una superficie muy inclinada alrededor del borde del área en movimiento, como resultado del desplazamiento del material desde su ubicación original (Suarez, 1998).
- **Cabeza:** En el extremo más alto del material que fluye sobre la conexión entre la materia perturbado y el escarpe principal (Suarez, 1998).



- **Escarpe secundario:** Emerge una superficie muy inclinada como resultado de cambios variables a lo largo del volumen movilizado. (Suarez, 1998).
- **Superficie de falla:** Representa el área debajo del movimiento que delimita el volumen del material desplazado (Suarez, 1998).
- **Corona:** Este es material de sitio inalterado que se encuentra en contacto prácticamente vertical con la porción más superior de la escarpa principal (Suarez, 1998).
- **Base:** Es el área cubierta por el material perturbado debajo del pie de la superficie de falla (Suarez, 1998).
- **Pie de la superficie de falla:** La línea que marca el contacto entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno (Suarez, 1998).
- **Superficie original del terreno:** La superficie del terreno original antes de que ocurriera cualquier movimiento (Suarez, 1998).
- **Pie:** Es el punto de la base que se halla a mayores distancias de la corona (Suarez, 1998).
- **Costado o flanco:** Un lado (perfil lateral) del movimiento (Suarez, 1998)

### Figura 6

*Deslizamiento*



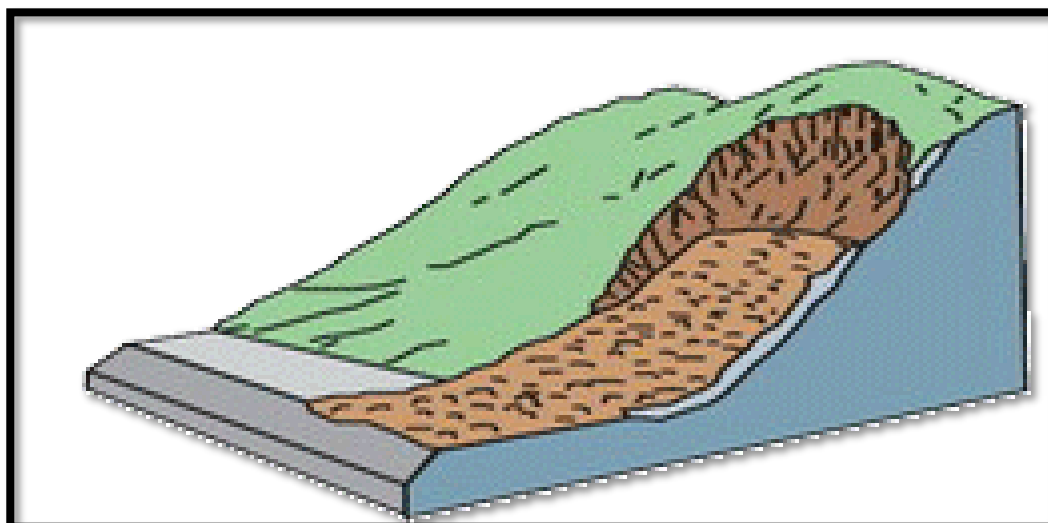
Nota: Según Suarez (1998)

#### a) Deslizamientos rotacionales

Generalmente ocurren en suelos que son uniformes en su composición; es común que la forma y posición de la superficie deslizante se vean afectadas por discontinuidades (Suarez, 1998).

### Figura 7

*Deslizamiento rotacional*

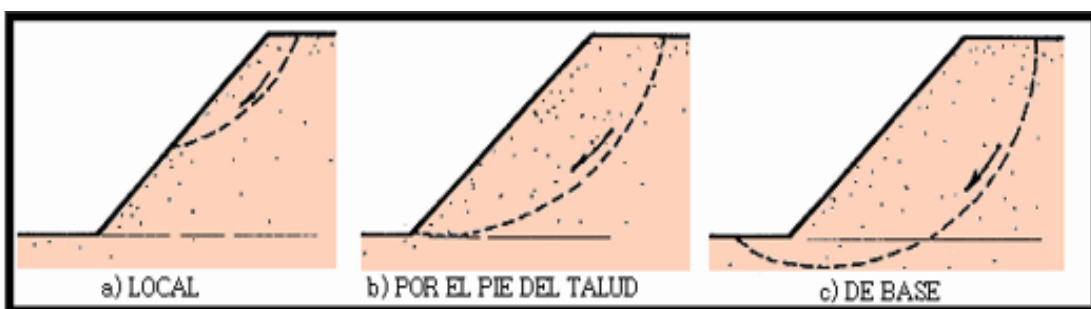


Nota: Según Suarez (1998)

En la figura 8 se observa que los deslizamientos de suelo rotacionales pueden descomponerse en lo que se conoce como fallas locales, pasar adicionalmente la superficie de decepción por la balanza inclinada, sin tener en cuenta el suelo del establecimiento ni pasar por delante de la balanza, influyendo en la suciedad sobre la que se apoya la inclinación. (Alberti et al., 2006).

### Figura 8

*Tipos de fallas en deslizamientos rotacionales*



Nota: Según Alberti et al. (2006)

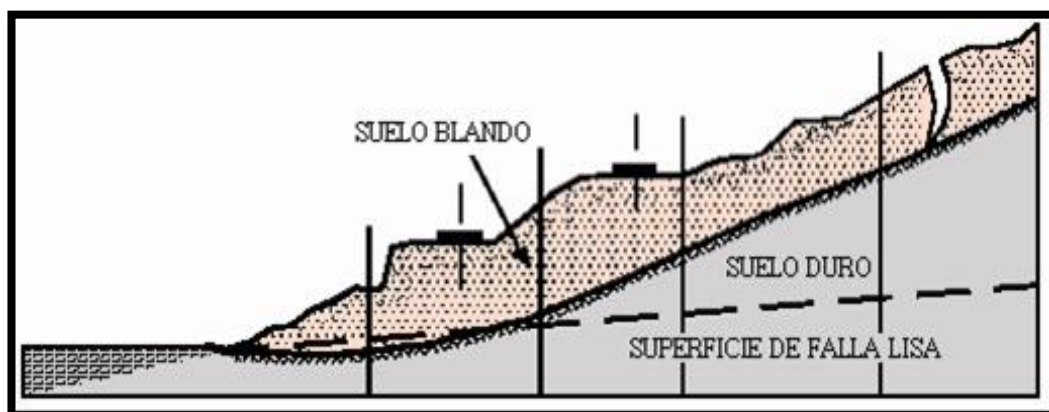
### b) Deslizamientos traslacionales

El movimiento alternativo del bloque deslizante se mueve hacia afuera o hacia abajo sobre una superficie (Suarez, 1998).

La superficie de la falla en este deslizamiento indica que el movimiento continúa perpetuamente hacia abajo a lo largo de la pendiente (Suarez, 1998).

### Figura 9

*Deslizamiento Traslacional*



Nota: Según Suarez (1998)

## 2.2.4 Técnicas de Estabilización de Taludes

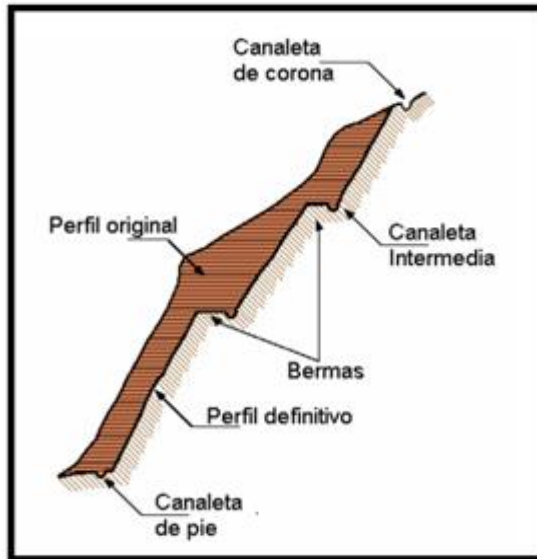
Se clasifican en función de varios criterios, como su funcionalidad y método de ejecución (Alberti et al., 2006).

- a) **La Geometría del Talud:** Las opciones incluyen cortes en cabecera o rebajamiento del talud; Escalonamiento del talud mediante bermas y terrazas (Suárez, 2016).
- b) **El Drenaje del Talud:** Se puede abordar a través de zanjas o canales de desvío mientras se sellan las grietas; El drenaje subterráneo se gestiona a través de pozos, pantallas y drenajes de diferentes tamaños, junto con galerías construidas para fines específicos (Suárez, 2016)
- c) **La Mejora de la Resistencia del Talud:** Se puede mejorar mediante anclajes, inyecciones y cubiertas superficiales como georedes o mallas metálicas. Además, se pueden utilizar coberturas herbáceas o arbustos en combinación con ramas o setos para una mayor protección (Suárez, 2016).
- d) **La Contención de Talud:** Elementos prefabricados, muros de hormigón, y tierra armada son ejemplos de contención rígida; Los muros de gaviones, los escolleras y los pilotes se consideran elementos flexibles (Suárez, 2016).

### 2.2.4.1 Reducción de fuerzas actuantes

Este es el proceso mediante el cual el equilibrio de peso de la masa de la pendiente se vuelve más estable minimizando las fuerzas que tienden a producir un movimiento cuesta abajo.

- a) **Escalonamiento del talud:** Las bermas se construyen como descansos planos durante el escalonamiento de taludes (Alberti et al., 2006).

**Figura 10***Conformación de bermas*

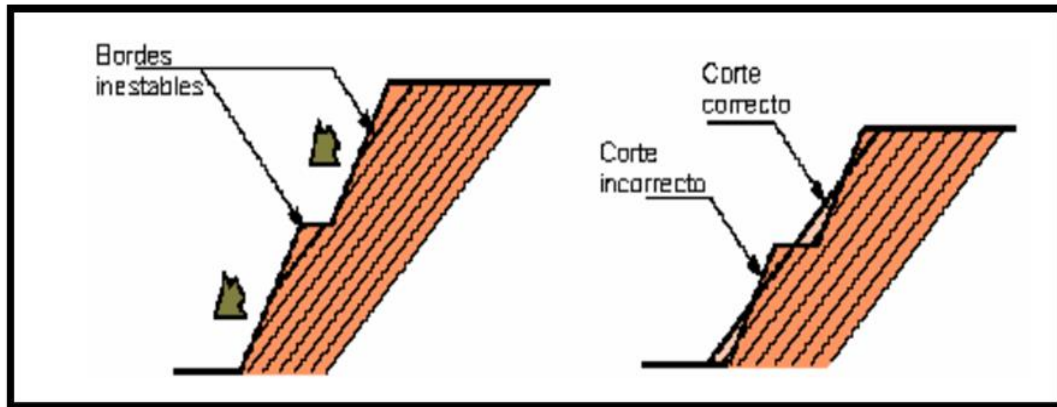
Nota: Según Alberti et al (2006)

La importancia de la berma radica en mejorar la estabilidad del talud por su propio peso y también en contener los bloques sueltos del talud.

"El propósito de las bermas es disminuir las fuerzas actuantes en el área crítica a lo largo del talud donde se generan momentos que tienden a desestabilizarlo; esta forma el círculo crítico de falla se profundiza y más largo aumentando por lo tanto el factor de seguridad" (Alberti et al., 2006, p. 152).

**Figura 11**

*Forma apropiada de ejecutar el corte en talud, paralelamente a la topografía del mismo*



Nota: Según Alberti et al (2006)

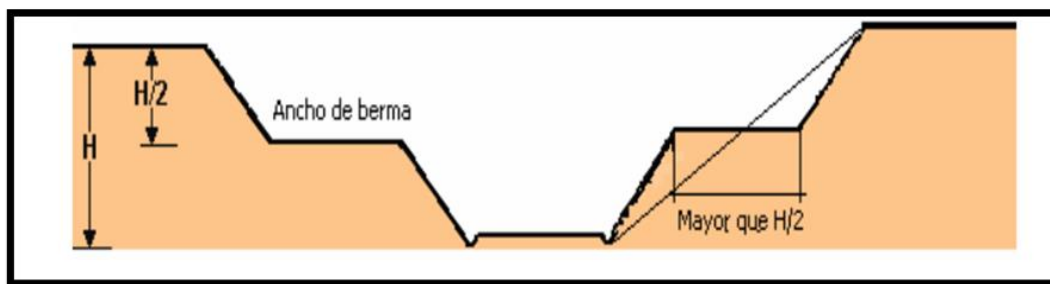
El criterio general en el diseño de bermas y pendientes son los siguientes:

- **Formación Geológica:** “Cuanto más competente es la roca, más pronunciadas son las pendientes” (Alberti et al., 2006, p. 153).
- **Meteorización:** Aumento de la meteorización: se requieren taludes más tendidos, bajar las alturas entre bermas y ampliar ancho de las gradas (Alberti et al., 2006).
- **Microestructura y estructura geológica:** Cuando las discontinuidades estén menos espaciadas, se deben adoptar pendientes menores en el talud (Alberti et al., 2006).
- **Minerales de arcilla:** “Para suelos arcillosos, mantenga las alturas entre bermas por debajo de 5 metros y asegúrese de que las gradas tengan al menos 4 metros de ancho” (Alberti et al., 2006, p. 154).
- **Niveles freáticos y comportamiento hidrológico:** En suelos saturados no permitir taludes a 2H:1V excepto que tenga una cohesión muy alta (Alberti et al., 2006).

- **Sismicidad:** “En zonas de alta amenaza sísmica no se debe construir taludes semiverticales o de pendiente superiores a 1/2H:1V, a menos que se trate de rocas muy sanas” (Alberti et al., 2006, p. 155).
- **Factores antrópicos:** “Para pendientes en zonas urbanas se recomienda no construir pendientes superiores a 1H:1V y la distancia vertical entre bermas no debe exceder los 5 metros” (Alberti et al., 2006, p. 155).
- **Elementos en riesgo:** Los taludes con riesgos para la vida humana deben presentar factores de seguridad muy altos (Alberti et al., 2006).

### Figura 12

*Escalonamiento en talud en suelos cohesivos*



Nota: Según Alberti et al (2006)

## 2.3 MARCO LEGAL

### A) Normas técnicas E.030 “Diseños Sismorresistentes”

“La zonificación sugerida toma en cuenta la ubicación espacial de las actividades sísmicas detectadas, las propiedades básicas del campo de ondas sísmicas y su decaimiento con la distancia al epicentro, además de los datos geotectónicos” (Norma Técnica E.030, 2018, p. 6).

El factor Z es un valor numérico asignado a cada región geográfica (figura 13). Denota la aceleración horizontal máxima (bajo supuestos de terreno rígido) que tiene un 10% de posibilidades de ser superada en 50 años. El valor de este factor Z se define como una fracción de la aceleración debida a la gravedad. Esto



permite a los ingenieros tener una idea sobre la intensidad de los movimientos sísmicos típicos de esa región y, por lo tanto, aquellos que probablemente afecten la estabilidad del talud (Normas Técnicas E.030 "Diseños Sismorresistentes", 2018).

**Tabla 3**

*Factor de Zona*

ZONA	Z
4	0,45
3	0,35
2	0,25
1	0,10

Nota: Según E.030 (2018)

**B) Normas CE.020 "Taludes y Suelos"**

Una evaluación de la estabilidad de la pendiente requiere la consideración de varios elementos. Estos incluirían la mecánica del suelo, el flujo de agua y la geometría de la pendiente, así como las características topográficas que rodean el área (Norma CE.020 "Suelos y Taludes," 2012).

En dicha evaluación, tanto para demandas estáticas como sísmicas, es imperativo que el factor mínimo de seguridad se establezca en 1,5 para solicitudes estáticas y 1,25 para solicitudes sísmicas: esta cifra debe ser determinada por el profesional calificado para garantizar el cumplimiento de las normas de seguridad (Normas CE.020 "Suelos y Taludes," 2012).

Cuando estos factores de seguridad no se satisfacen, el experto responsable debe elegir una técnica de estabilización o una combinación de más técnicas para estabilizar la estructura. Pruébalos hasta que lo que propones sea aprobado por ambos factores de seguridad (Normas CE.020 "Taludes y Suelos," 2012).

**Figura 13**

*Zonas Sísmicas*



Nota: Según E.030 (2018)



## CAPITULO III

### METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

##### 3.1.1 Enfoque de investigación

El enfoque de la investigación es cuantitativo, dado que se basa en la recopilación y el análisis de datos numéricos para verificar la hipótesis formulada. Según Hernández Sampieri et al. (2010) este enfoque se basa en la medición precisa de variables lo que permite obtener resultados objetivos. En el caso de esta investigación, se aplican métodos cuantitativos como la comparación de factores de seguridad utilizando los métodos de equilibrio límite y elementos finitos, lo que respalda un análisis riguroso y basado en datos.

##### 3.1.2 Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, ya que su propósito es resolver un problema práctico relacionado con la estabilidad de taludes en una situación específica. Se enfoca en aplicar conocimientos teóricos a un caso concreto mediante la comparación de dos métodos de análisis: el de equilibrio límite y el de elementos finitos. A través de este estudio, se busca proponer soluciones prácticas que permitan determinar cuál de estos enfoques resulta más conservador y adecuado en términos de seguridad.



### 3.1.3 Nivel de investigación

El alcance de esta investigación es descriptivo-explicativo. En el nivel descriptivo, se busca caracterizar las propiedades geológicas, hidrológicas y geomorfológicas del talud, además de identificar los factores externos e internos que afectan su estabilidad. Según Hernández Sampieri et al. (2010) la investigación descriptiva se enfoca en detallar las particularidades de las variables involucradas, proporcionando una visión integral del objeto de estudio. En el nivel explicativo, se analiza cómo las características identificadas interactúan para generar inestabilidad, evaluando las diferencias en los factores de seguridad obtenidos mediante distintos métodos de análisis geotécnico. Este enfoque permite no solo entender el fenómeno, sino también proponer medidas que mejoren la estabilidad del talud.

### 3.1.4 Diseño de investigación

El diseño de la presente investigación es no experimental, ya que no se manipulan deliberadamente las variables. Según Hernández Sampieri et al. (2010), en este tipo de estudios, los fenómenos son observados en su contexto natural para luego ser analizados. En este caso, la investigación se enfoca en el análisis de la estabilidad del talud sin intervenir directamente en el talud mismo, sino mediante la evaluación de datos geotécnicos y modelos de estabilidad.

## 3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

### 3.2.1 Población

La población en esta investigación está delimitada al talud del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua. Esto implica que todo el estudio se concentra en este lugar particular.

### 3.2.2 Muestra

Dado que el estudio se limita a un único talud (kilómetro 3+950), y todas las características de este talud serán analizadas en su totalidad, la muestra coincide con la población. Es decir, se trata de una muestra censal, ya que no se seleccionan fragmentos o porciones del talud para su análisis, sino que se estudia el talud completo.

## 3.3 DELIMITACIÓN DEL ÁREA

### 3.3.1 Área de influencia

El área de influencia del talud del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua abarca el propio talud, la infraestructura vial y la seguridad de los vehículos que transitan por la carretera ya que son zonas adyacentes que son afectadas por los deslizamientos (Anexo 01).

### 3.3.2 Área de estudio

El área de estudio se limita al talud ubicado en el kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua (Anexo 01), determinado por las coordenadas UTM que se observa en la tabla 4.

**Tabla 4**

*Delimitación del área de estudio del talud*

Vértice	Norte	Este
1	8243827	391853
2	8243826	391778
3	8243734	391776
4	8243734	391853

### 3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOPIACIÓN DE DATOS

#### 3.4.1 Técnicas de Recopilación de Datos

**Observación Directa:** Se llevó a cabo una observación directa del talud en el kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua para identificar características geológicas, geomorfológicas e hidrológicas que pudieran influir en la estabilidad del talud. Esto incluyó la evaluación visual de la estructura del talud y la identificación de signos de inestabilidad.

**Revisión de Literatura:** Se realizó una revisión de la literatura científica y técnica existente sobre la estabilidad de taludes y métodos de análisis geotécnico. Esto permitió establecer un marco teórico sólido y contextualizar la investigación dentro de estudios similares. Además, se obtuvo información sobre geología y geomorfología a partir de la plataforma del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.

**Recolección Fotográfica:** Se realizó una recolección fotográfica sistemática del talud y sus alrededores. Se tomaron fotografías en diferentes ángulos y momentos para documentar las condiciones del talud, la presencia de deslizamientos y la vegetación circundante. Esta técnica permitió obtener evidencia visual que complementó los datos recogidos a través de la observación directa.

#### 3.4.2 Instrumentos de Recopilación de Datos

**Levantamiento Topográfico con Dron:** Se utilizó un dron para realizar un levantamiento topográfico del área del talud. Esta técnica permitió obtener datos precisos y detallados sobre la topografía del terreno, facilitando el análisis de las condiciones del talud.



**Software de Análisis:** Se emplearon programas informáticos como Slide y Geo5 para modelar el talud y calcular los factores de seguridad utilizando los métodos de equilibrio límite y elementos finitos. Además, se utilizó ArcGIS para integrar y analizar la información geológica y geomorfológica obtenida. Para el procesamiento de imágenes obtenidas del dron, se utilizó el software Agisoft, que permitió generar un ortomosaico del área estudiada. Posteriormente, este ortomosaico se procesó en AutoCAD para realizar análisis más detallados y elaborar los planos necesarios para la investigación.

### **3.5 VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.5.1 Validación de instrumentos**

La validación de los instrumentos se llevó a cabo utilizando programas especializados para el análisis de estabilidad de taludes, como Slide y Geo5, los cuales se basan en el modelo Mohr-Coulomb. Este modelo, ampliamente aceptado en la mecánica de suelos, proporciona una herramienta confiable para representar el comportamiento del suelo bajo diferentes condiciones de carga. Su implementación en estos softwares permite validar los resultados obtenidos, garantizando una representación precisa y fundamentada del fenómeno estudiado.

#### **3.5.2 Confiabilidad de instrumentos**

La confiabilidad del instrumento de investigación se basa en el uso de métodos cuantitativos y en la implementación de herramientas de análisis estandarizadas. El modelo Mohr-Coulomb, utilizado en los programas de estabilidad de taludes, proporciona un marco consistente para la evaluación del

comportamiento del suelo, asegurando que los resultados sean ajustados a condiciones reales.

El empleo de software especializado para el análisis de estabilidad no solo aumenta la precisión de los resultados, sino que también proporciona una base sólida para la interpretación de los datos, contribuyendo a la confiabilidad de las conclusiones alcanzadas en esta investigación.

### 3.6 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE MÉTODOS POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS

#### 3.6.1 Identificar los parámetros que influyen en la estabilidad del talud

##### A) Levantamiento topográfico

En la presente investigación, se utilizó el sistema de levantamiento aéreo (RPA) con un drone Phantom 4 RTK para recopilar datos topográficos precisos en el área del talud del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua. Su capacidad de vuelo estable y su sistema de GPS integrado garantizan la precisión en la obtención de datos. Este enfoque resultó esencial en la planificación de estudios topográficos, ya que permitió la creación de perfiles y secciones detalladas, contribuyendo así a una comprensión más profunda de la dinámica del talud (Fernandez & Hinojosa, 2014).

##### Proceso de Levantamiento Topográfico

El proceso de levantamiento topográfico se dividió en varias etapas detalladas a continuación:

- **Reconocimiento de Campo:** Se llevó a cabo un reconocimiento inicial del área de estudio para identificar características topográficas relevantes, como pendientes y puntos críticos de deslizamiento,



- **Planificación del Vuelo:** Se diseñó un plan de vuelo específico para el dron, considerando la altitud, la velocidad y los puntos de sobrevuelo estratégicos. Esto aseguró que se capturaran imágenes adecuadas para el análisis posterior, optimizando la cobertura del área objetivo.
- **Captura de Datos Aéreos:** Las imágenes capturadas fueron tomadas en intervalos regulares, permitiendo una superposición adecuada para el procesamiento fotogramétrico.
- **Transferencia de Datos al Ordenador:** Tras la finalización del vuelo, las imágenes obtenidas fueron transferidas al ordenador utilizando el software Agisoft.
- **Procesamiento de Imágenes:** Utilizando Agisoft, se generaron ortomosaicos y modelos digitales de elevación (MDE) que proporcionaron una representación precisa del área. Este paso incluyó la corrección de distorsiones y la mejora de la calidad de las imágenes.
- **Elaboración de Planos Topográficos:** Finalmente, los datos procesados fueron importados a AutoCAD para crear planos topográficos detallados.

**Figura 14**

*Ortomosaico de la zona de estudio*



### **B) Aspectos geológicos**

En el área de estudio del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua se identificó formaciones geológicas, basándose en observaciones de campo e información del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), lo que permitió identificar los tipos de suelos y rocas.

La zona de estudio está compuesta por varias formaciones geológicas, las cuales son:

- **Formación Ayabacas:** Caracterizada por su composición predominantemente sedimentaria, esta formación se compone de arenas y arcillas que pueden influir en la cohesión y resistencia del talud (Palacios & Sanchez, 1995).
- **Formación Puno:** Se distingue por su diversidad litológica, con la presencia de rocas metamórficas y sedimentarias. Esta variabilidad puede afectar la estabilidad del terreno y debe ser evaluada en detalle (Palacios & Sanchez, 1995).

- **Formación Tacaza:** Esta formación incluye rocas ígneas y sedimentarias, que juegan un papel crucial en la interacción entre el agua y el suelo, afectando la resistencia a los deslizamientos (Palacios & Sanchez, 1995).
- **Depósitos fluvio-aluviales:** Estos depósitos, formados por la acción de ríos y corrientes de agua, son generalmente menos cohesivos y más susceptibles a la erosión, lo que puede incrementar el riesgo de deslizamientos en condiciones de lluvia intensa (Palacios & Sanchez, 1995).

**Figura 15**

*Columna litoestratigráfica local*

ERA	SISTEMA	UNIDAD LITOSTRATIGRAFICA	LITOLOGIA	DESCRIPCION
CENOZOICO	Cuaternario	D. Fluvio – Aluvial	Qh – C	Conjunto heterogéneo de fragmentos angulosos y sub angulosos englobados en una matriz arenosa – limosa.
	Neógeno	Volc. Tacaza	PN - ta	Está constituido por sedimentos vulcano-clásticos y por derrames andesíticos dacitas conglomerados.
	Paleógeno	Gpo. Puno	P - pu	Conglomerados y areniscas de grano grueso, limolitas, lutitas y delgados niveles tobaceos.
MESOZOICO	Cretáceo	Fm. Ayabacas	Kis - ay	Calizas y dolomitas grisáceos

Nota: Según Palacios & Sanchez (1995)

### C) Geomorfología

En el área de estudio del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua se identificó unidades geomorfológicas presentes, basándose en observaciones de campo e información del INGEMMET.

La zona de estudio está compuesta por tres unidades geomorfológicas, las cuales son:

### **Sistema Montañoso (S-mo)**

Este sistema geomorfológico se caracteriza por cadenas montañosas que presentan pendientes y elevaciones de inclinación moderada a abrupta. Estas características están relacionadas con la morfología y estructura de las montañas circundantes, las cuales pueden influir en la susceptibilidad a deslizamientos (Palacios & Sanchez, 1995).

### **Superficie de Colinas (S-co)**

Se trata de zonas de topografía menos accidentada, formada principalmente por procesos de control estructural y tectónico. Estas superficies se modelan de forma suave a escarpada, lo que significa que pueden presentar sectores de mayor estabilidad o sectores con mayor erosión debido a la naturaleza blanda de algunas formaciones. Estos rasgos geomorfológicos influyen en la dinámica del talud y la forma en que el agua se infiltra y provoca erosión regresiva en ciertas zonas (Palacios & Sanchez, 1995).

### **Depósito de Pie de Monte (D-pmo)**

Este tipo de depósito está compuesto pendientes variadas, cubiertas por material coluvial que, aunque tiene cierta estabilidad relativa, puede verse afectado por eventos de saturación o deslizamientos. Estos depósitos suelen ser cruciales en la evaluación de la estabilidad del talud, ya que su comportamiento puede determinar cómo se propagan los deslizamientos y la efectividad de las soluciones de estabilización propuestas (Palacios & Sanchez, 1995).

## **D) Hidrología**

Se ha identificado un ojo de agua en la corona del talud del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua. Esta condición genera una saturación del suelo, lo que provoca un aumento en el peso de la masa del talud. A su vez,

esta saturación disminuye la resistencia al esfuerzo cortante del material, lo que incrementa considerablemente el riesgo de deslizamientos.

La presencia de agua en el talud también contribuye a la erosión de la superficie expuesta, lo que no solo incrementa las fuerzas actuantes sobre el talud, sino que también afecta la cohesión del material. Además, la infiltración del agua puede dar lugar a la generación de fuerzas de filtración, que intensifican la presión interna en el suelo. Estas condiciones crean un escenario propenso a la falla del talud, especialmente al introducirse agua en las grietas existentes.

### Figura 16

*Ojo de agua*



**Figura 17**

*Saturación de la superficie expuesta*



### E) Parámetros geotécnicos

Los parámetros geotécnicos utilizados en este estudio fueron obtenidos de la investigación realizada por Machaca (2019), ya que corresponden al mismo lugar de estudio. Esto asegura la coherencia y representatividad de las condiciones reales del terreno. Los ensayos realizados cumplieron con las normativas vigentes, como se detalla en la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Ensayos de laboratorio*

LUGAR	ENSAYO	NORMA APLICABLE
Laboratorio de UANCV	Contenido de humedad	NTP 339.127
Laboratorio de UANCV	Análisis granulométrico	NTP 339.128
Laboratorio de UANCV	Límite líquido	NTP 339.129
Laboratorio de UANCV	Límite plástico	NTP 339.129
Laboratorio de UANCV	Índice de plasticidad	NTP 339.134
Laboratorio de Servicio general, consultoría y laboratorio.	Ensayo de corte directo	NTP 339.171

Nota: Según Machaca (2019)

### 3.6.2 Comparar los factores de seguridad obtenidos con el método de equilibrio límite y el método de elementos finitos

Utilizando los parámetros geotécnicos obtenidos de los ensayos de laboratorio, se realizó el análisis de estabilidad del talud en el kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua mediante dos enfoques: el método de equilibrio límite y el método de elementos finitos.

#### A) Método de Equilibrio Límite

Se utilizó el programa Slide el cual permite evaluar la estabilidad del talud aplicando diversos métodos de cálculo de equilibrio límite. Se consideraron diferentes escenarios de estabilidad para analizar las fuerzas actuantes y los factores de seguridad del talud.

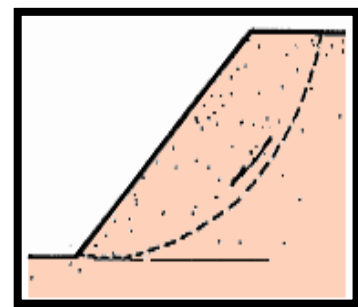
#### Proceso de Análisis

- **Construcción Geométrica del Modelo:** Se utilizó un dron Phantom 4 RTK para obtener las curvas de nivel del talud. Los datos topográficos se procesaron en el software AutoCAD para generar las secciones transversales necesarias para el análisis de estabilidad.
- **Introducción de Parámetros Geotécnicos:** Los parámetros geotécnicos, que se obtuvieron a partir de los ensayos de laboratorio realizados en el talud, fueron ingresados tanto en Slide como en el programa de elementos finitos Geo5.
- **Selección del Círculo de Falla:** Se asume que la falla del talud puede ocurrir a lo largo de un círculo de falla. Este círculo puede ser de radio variable, y su ubicación se elige para maximizar el deslizamiento.

- **Análisis de la geometría de la superficie de falla:** El levantamiento topográfico ejecutado en el área de estudio permitió identificar las particularidades de las superficies de fallas del talud.
- **Formas de la superficie de falla:** es de forma circular, lo que indica un deslizamiento rotacional del talud.
- **Ubicación de la falla:** La falla se localiza en el pie del talud, sin afectar el terreno de cimentación. Esto sugiere que el problema de inestabilidad se concentra en la parte inferior del talud.
- **Tipo de falla:** El deslizamiento rotacional observado es característico de suelos o materiales blandos, donde la superficie de falla adopta una forma curva.

**Figura 18**

*Falla por el pie del talud*



## B) Método de Elementos Finitos

Se utilizó el programa Geo5 el cual permite realizar un análisis más detallado mediante la modelación de la respuesta del talud a distintas condiciones del suelo. El método de elementos finitos (MEF) ofrece una comprensión más precisa del comportamiento del suelo.

### Proceso de Análisis

- Construcción Geométrica del Modelo
- Introducción de Parámetros Geotécnicos
- **Discretización del Modelo:** El modelo del talud fue dividido en elementos rectangulares para facilitar el análisis numérico.
- **Generación de Malla:** Se genera una malla que distribuye los elementos discretizados a lo largo de la geometría del talud, permitiendo la simulación precisa de su comportamiento. Esta malla representa cómo se conectan los elementos entre sí y cómo se distribuyen en el espacio.

Para los dos métodos se realizó un análisis Pseudoestático, dado que la zona de estudio está ubicada en la zona sísmica 3, se realizó un análisis pseudoestático para evaluar la estabilidad del talud bajo condiciones sísmicas. Se aplicó un coeficiente sísmico horizontal ( $k_h$ ) de 0.14g, siguiendo las recomendaciones de Cuerpos de ingenieros (1982). Este coeficiente permitió simular la acción de un sismo sobre el talud agregando una fuerza lateral al análisis estático.

Las condiciones de estabilidad evaluadas fueron:

- **Condición No Saturada y Sin Sismo:** El suelo se encuentra en su estado natural de humedad, lo que permite una evaluación de sus propiedades geotécnicas sin la influencia de agentes externos.

- **Condición No Saturada y Con Sismo:** En esta evaluación, el suelo no está saturado, pero está sometido a cargas sísmicas. Esta condición permite analizar cómo el talud responde a eventos sísmicos sin la presencia de un nivel freático alto.
- **Condición Saturada y Sin Sismo:** En esta situación, el perfil del suelo se encuentra saturado por un nivel freático elevado y no está sometido a cargas sísmicas.
- **Condición Saturada y Con Sismo:** En esta situación, el perfil del suelo se encuentra saturado por un nivel freático elevado y está sometido a cargas sísmicas. Este es el escenario más crítico, ya que la saturación disminuye la resistencia al corte y el sismo aumenta significativamente las fuerzas actuantes, incrementando el riesgo de deslizamientos.

**Figura 19**

*Sección*

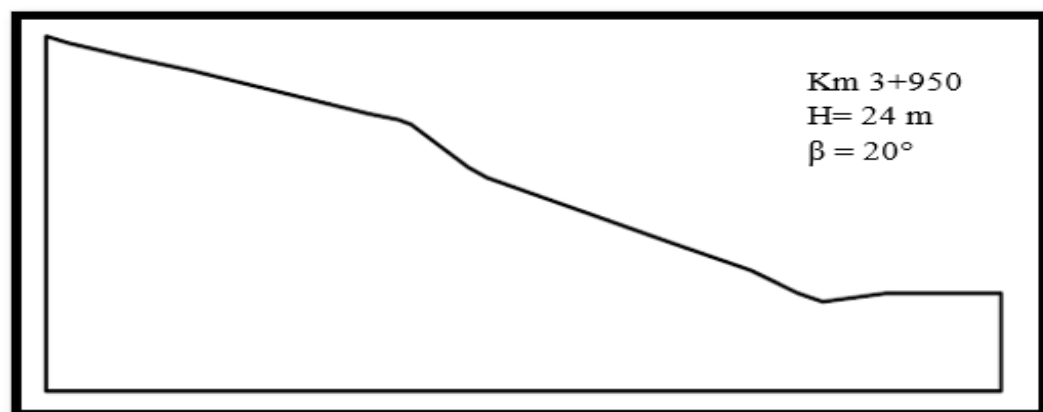
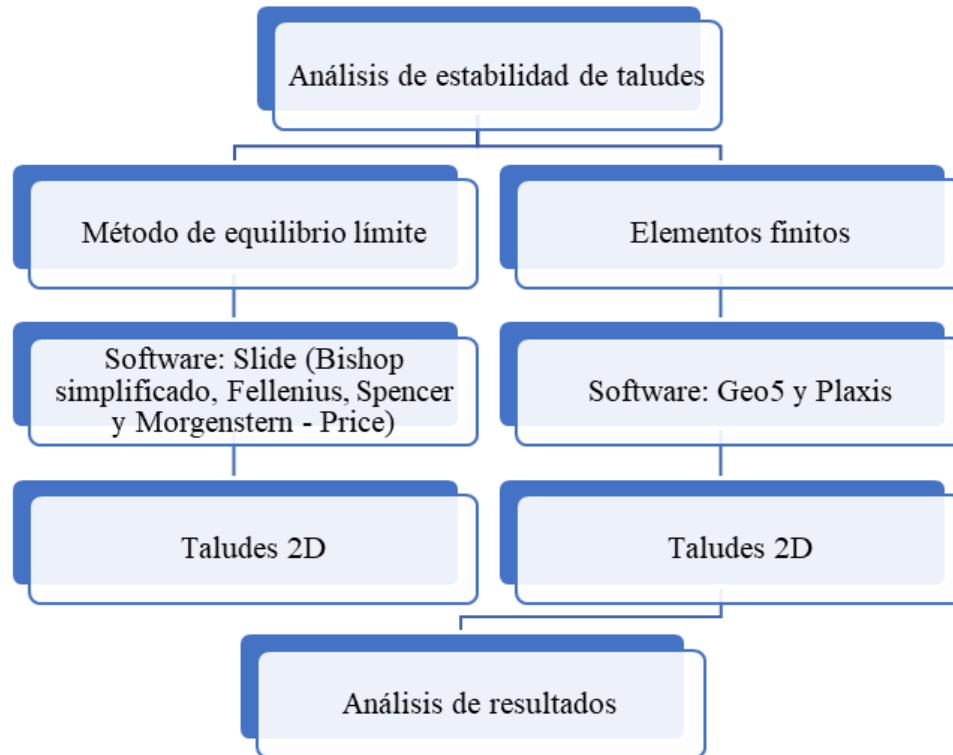


Figura 20

*Análisis de estabilidad de taludes*

### 3.6.3 Determinar la alternativa adecuada

**Construcción de Banquetas:** El escalonamiento del talud implica la construcción de banquetas diseñadas principalmente para disminuir la velocidad del flujo de agua superficial y reducir su acumulación en la base del talud. Esto se logra mediante la incorporación de una zanja en cada banqueta para drenar el agua hacia afuera del talud, evitando la acumulación de agua que podría incrementar la erosión y la inestabilidad.

Dado que el talud en el kilómetro 3+950 es altamente erosionable, cada banqueta se diseñó con un gradiente transversal de entre 5% y 10%, en dirección contraria a la pendiente. Este diseño garantiza que el agua sea conducida hacia



las zanjas de las banquetas, previniendo la saturación del suelo y reduciendo el riesgo de deslizamientos.

**Especificaciones de las Banquetas:** El ancho de las banquetas será de 4 metros, con un espaciamiento vertical de 5 metros entre cada una, considerando la topografía y la litología específica del talud. En las zonas donde se detecte una mayor infiltración de agua, se instalarán zanjas adicionales en cada banqueta para optimizar el drenaje y evitar la acumulación excesiva de agua, mejorando así la estabilidad del talud.



## CAPITULO IV

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1 PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN EL LA ESTABILIDAD DEL TALUD

##### 4.1.1 Geología

En el área de estudio, las formaciones geológicas más inestables corresponden a los depósitos fluvio-aluviales (Anexo 02). Estas formaciones, compuestas por materiales de granulometría variada, tienden a ser menos cohesivas y más susceptibles a la erosión, lo que las hace especialmente vulnerables a los deslizamientos, en particular bajo condiciones de saturación debidas a lluvias intensas.

Los suelos fluvio-aluviales, aunque tienen una buena capacidad de drenaje debido a su estructura granular, carecen de la cohesión necesaria para garantizar la estabilidad del talud cuando están sometidos a cargas o a condiciones de saturación prolongada. La variabilidad en la granulometría y la falta de cohesión de estos depósitos aumentan considerablemente el riesgo de inestabilidad en comparación con formaciones más consolidadas, como las rocas ígneas y metamórficas que componen las formaciones Tacaza y Puno. Estas últimas ofrecen una mayor estabilidad debido a su estructura más sólida y su menor susceptibilidad a la erosión.

#### 4.1.2 Geomorfología

En el área de estudio, se identificaron varias unidades geomorfológicas, cada una con características que influyen en la estabilidad del talud. Entre estas unidades se destaca la superficie de colinas (S-co) (Anexo 02): Esta unidad geomorfológica presenta zonas que, aunque no son tan críticas como los depósitos de pie de monte, también muestran signos de inestabilidad. Las colinas en esta superficie están formadas por procesos de desgaste estructural-tectónico, lo que resulta en un modelado que varía desde suave hasta escarpado. Las formaciones blandas de esta unidad están sujetas a erosión regresiva, lo que incrementa su vulnerabilidad frente a deslizamientos.

Aunque estas áreas no presentan la misma fragilidad que los depósitos coluviales, las laderas pueden experimentar deslizamientos cuando están sometidas a la erosión por el agua superficial o subterránea. Además, factores como la desestabilización por fuerzas tectónicas o climáticas agravan la inestabilidad de las laderas.

En particular, la presencia de un ojo de agua en la zona ha aumentado la saturación del suelo, lo que agrava la vulnerabilidad del talud a deslizamientos.

#### 4.1.3 Hidrología

En el talud del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua, la presencia de un ojo de agua en la parte superior de la corona ha sido un componente decisivo en la solidez del paisaje. La inmersión de la suciedad provocada por esta corriente de agua afecta significativamente a la inclinación: Amplía la pesadez de la masa de tierra, disminuye su protección frente a la presión cortante y produce erosión superficial.

Estos factores incrementan las fuerzas actuantes sobre el talud y promueven la filtración de agua a través de grietas, lo que favorece la inestabilidad del terreno.

En la figura 21 se observa que en temporadas de lluvia en el área de estudio se agrava esta situación, aumentando el nivel de saturación del suelo y elevando el riesgo de deslizamientos.

### Figura 21

*Riesgo de deslizamientos*



**Discontinuidades:** Las fisuras y grietas observadas en el talud durante la inspección de campo actúan como canales preferenciales para la infiltración del agua (figura 22). Estas discontinuidades aceleran el proceso de desestabilización al permitir que el agua penetre profundamente en el talud, debilitando las capas inferiores.

### **Figura 22**

#### *Discontinuidades*



#### **4.1.4 Parámetros geotécnicos que influyen para analizar por el MEL**

Los parámetros geotécnicos obtenidos incluyen la granulometría, límite plástico, límite líquido, índice de plasticidad, ángulo de fricción y cohesión. Estos datos fueron tomados de la investigación realizada por Machaca (2019), la cual

se desarrolló en el mismo lugar de estudio, asegurando que las propiedades del suelo sean representativas de las condiciones reales del terreno.

En la Tabla 6 se muestra la distribución granulométrica de las partículas del suelo. Estos datos desempeñan un papel vital al revelar la naturaleza del suelo y cómo se comporta bajo diversas circunstancias, permitiendo un análisis más preciso y fundamentado de su estabilidad.

**Tabla 6***Resultados de Granulometría*

CALICATA	PROF (m)	PORCENTAJE (%)			TAMAÑO MAX. GRAVA
		GRAVA	ARENA	LIMOS Y ARCILLA	
C-1	-1.50	33.67	48.44	17.89	2"

Nota: Según Machaca (2019)

En la tabla 7, se presenta los resultados de los límites de consistencia e índice de plasticidad

**Tabla 7***Resultado de límite de consistencia*

CALICATA	LIMITES	LIMITES	INDICES DE
	LIQUIDOS	PLASTICOS	PLASTICIDADES
	LL	LP	IP
C-1	38.86	15.72	23.14

Nota: Según Machaca (2019)

A través de las pruebas de examen granulométrico y las pruebas de límite de Atterberg, la disposición de la tierra (Tabla 8) no del todo en piedra, según el Marco de Caracterización de Suelos Unidos (U.S.S.C.S.) creado.

**Tabla 8***Clasificación de suelos*

CALICATA	Profundidad	S.U.C.S
C-1	-1.50	SC

Nota: Según Machaca (2019)

En la tabla 9, se presenta los resultados de los parámetros de resistencia.

**Tabla 9***Parámetros de resistencia*

Suelo	Peso específico (kN/m <sup>3</sup> )	Angulo de fricción interna (°)	Cohesión (kN/m <sup>2</sup> )
C-1	18.13	16.1	20.58

Nota: Según Machaca (2019)

**4.1.5 Parámetros geotécnicos que influyen para analizar por el MEF**

Las propiedades del material consideradas en este estudio son valores promedio que pertenecen a una arena arcillosa de plasticidad media, con base en los valores encontrados en la investigación citada en el libro "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica". Braja Das (2022)

**Tabla 10***Parámetros geotécnicos*

Peso específico (kN/m <sup>3</sup> )	Angulo de fricción interna (°)	Cohesión (kN/m <sup>2</sup> )	Módulo de elasticidad (Pa)	Coefficiente de Poisson (v)
18.13	16.1	20.58	30 10 <sup>6</sup>	0.45

Nota: Braja Das (2022)

**Discusión**

En la presente investigación, se identificaron varios parámetros clave que influyen en la estabilidad del talud, destacando la topografía, geología y geomorfología del área de estudio, así como una serie de parámetros



geotécnicos fundamentales. Estos incluyen el contenido de humedad, la granulometría, los límites líquido y plástico, la cohesión, el ángulo de fricción interna, el módulo de elasticidad y el coeficiente de Poisson. La consideración de estos parámetros proporciona una base sólida para caracterizar el comportamiento del talud y evaluar su estabilidad bajo diferentes condiciones.

El estudio de Hammah et al. (2005), titulado "Comparación del análisis de estabilidad de taludes por elementos finitos con la investigación convencional de equilibrio límite", destaca la importancia de utilizar un mismo módulo de Young y una única relación de Poisson para los materiales en modelos con múltiples capas. Esta recomendación es fundamental para garantizar la coherencia y la precisión en los análisis de estabilidad. Los resultados obtenidos por Hammah et al. (2005) refuerzan la elección del método de elementos finitos en el presente trabajo, no solo por su capacidad de representar adecuadamente las propiedades del suelo y sus deformaciones, sino también por su precisión en la identificación de las zonas críticas de falla. A diferencia de los métodos tradicionales, el análisis La investigación limitada de componentes permite evaluar el comportamiento inclinado sin necesidad de esperar deducir el estado de la superficie de deslizamiento, lo que es especialmente relevante en contextos geológicos complejos.

Además, la integración de parámetros geotécnicos en el análisis, tal como se realizó en esta investigación, permite un enfoque más integral en la evaluación de la fuerza de inclinación. La inconstancia de estos límites puede afectar en conjunto a las consecuencias de la investigación de seguridad, lo que subraya la importancia de llevar a cabo una caracterización geotécnica detallada antes de realizar los estudios de estabilidad.

## 4.2 FACTORES DE SEGURIDAD OBTENIDOS CON EL MÉTODO DE EQUILIBRIO LÍMITE Y EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

### 4.2.1 Método de Equilibrio Límite

El análisis de equilibrio límite se realizó utilizando el software Slide de Rocscience, aplicando métodos de cálculo como Bishop Simplificado, Fellenius, Spencer y Morgenstern-Price. Los resultados obtenidos para cada condición del talud se presentan en la Tabla 11. Asimismo, la información generada por el software Slide, se encuentra en el Anexo 03.

**Tabla 11**

*Factores de seguridad método equilibrio limite*

FACTOR DE SEGURIDAD METODO EQUILIBRIO LIMITE				
	NO SATURADA SIN SISMO	NO SATURADA CON SISMO	SATURADA SIN SISMO	SATURADA Y CON SISMO
Bishop Simplificado	1.393	0.93	1.04	0.64
Fellenius	1.314	0.86	0.96	0.617
Spencer	1.393	0.94	1.04	0.68
Morgenstern Price	1.391	0.94	1.04	0.68

En la Tabla 11 Se presentan los efectos posteriores del elemento de seguridad (FS) adquirido mediante la investigación de la estabilidad oblicua utilizando la estrategia de armonía del punto de ruptura, en la que se estudiaron diferentes técnicas de examen. La técnica de Spencer, que cumple tanto las condiciones de potencia como las de segunda armonía, arrojó los valores de FS más elevados en contraste con las diferentes estrategias.

Condición no saturada y sin sismo: El FS obtenido por el método Spencer fue de 1.393, un valor inferior al factor de seguridad mínimo requerido de 1.5 según la norma CE.020 Suelos y Taludes para solicitaciones estáticas. Esto

indica que, bajo condiciones no saturadas y sin presencia de sismo, el talud no alcanza el nivel de seguridad necesario.

Condición saturada y con sismo: En este escenario crítico, el FS disminuyó significativamente hasta 0.68, lo que representa un alto riesgo de deslizamiento. La combinación de saturación y cargas sísmicas reduce considerablemente la resistencia del talud, lo que lo deja en un estado de inestabilidad crítica, muy por debajo del factor mínimo de 1.25 exigido para solicitaciones sísmicas.

Estos resultados reflejan que el talud es especialmente vulnerable bajo condiciones de saturación y actividad sísmica, lo que enfatiza la necesidad de medidas correctivas para mejorar su estabilidad, especialmente considerando los riesgos potenciales asociados con las épocas de lluvias y eventos sísmicos en la región.

#### 4.2.2 Método de Elementos Finitos

El análisis mediante el método de elementos finitos se realizó utilizando el programa Geo5. Este enfoque permitió una modelación más detallada del comportamiento del talud. Los resultados obtenidos para cada condición del talud se presentan en la Tabla 12. Asimismo, la información generada por el software Geo5, se encuentra en el Anexo 03.

**Tabla 12**

*Factores de seguridad método Elementos finitos*

FACTOR DE SEGURIDAD METODO ELEMENTOS FINITOS				
	NO SATURADA SIN SISMO	NO SATURADA CON SISMO	SATURADA SIN SISMO	SATURADA Y CON SISMO
1	1.11	0.59	0.66	0.35

En la Tabla 12 se presentan los resultados del componente de seguridad (FS) obtenidos del examen de la estabilidad oblicua utilizando la técnica de componentes limitados, considerando tanto las condiciones estáticas como las sísmicas.

Condición no saturada y sin sismo: El análisis de elementos finitos arrojó un FS de 1.11, un valor inferior al mínimo requerido de 1.5 según la norma CE.020 Suelos y Taludes para solicitaciones estáticas. Esto confirma que, incluso en condiciones más favorables, sin saturación ni actividad sísmica, el talud no cumple con los requisitos mínimos de estabilidad, lo que sugiere que podría estar al borde de la inestabilidad bajo esta condición.

Condición saturada y con sismo: En esta condición crítica, el análisis mostró una reducción significativa en la resistencia del talud, con un FS de 0.35. Este valor refleja una situación extremadamente inestable, indicando un deslizamiento inminente bajo la combinación de saturación del suelo y carga sísmica, lo que resalta la vulnerabilidad del talud frente a estos factores.

Estos resultados corroboran que el talud es altamente susceptible a fallas, especialmente en situaciones de saturación y eventos sísmicos, lo que hace indispensable implementar medidas de estabilización para evitar deslizamientos y garantizar la seguridad de la infraestructura vial y los conductores.

#### **4.2.3 Comparación entre métodos**

En la Tabla 13 presenta la comparación de los resultados obtenidos para los factores de seguridad (FS) utilizando los dos métodos de análisis: equilibrio límite y elementos finitos, bajo dos condiciones diferentes (estáticas y sísmicas).

Los resultados muestran claramente que ninguno de los métodos cumple con los criterios mínimos de estabilidad establecidos en la Norma CE.020 Suelos

y Taludes, que exige un FS mínimo de 1.5 para solicitaciones estáticas y 1.25 para solicitaciones sísmicas.

Condiciones estáticas: Ambos métodos arrojan factores de seguridad inferiores a 1.5, lo que evidencia que, incluso en ausencia de sismos, el talud presenta un riesgo significativo de deslizamiento.

Condiciones sísmicas: Los factores de seguridad obtenidos en ambas metodologías están por debajo de 1.25, lo que indica una inestabilidad crítica del talud cuando se consideran los efectos de un sismo y la saturación del suelo.

### Tabla 13

*Comparación de métodos*

COMPARACIÓN DE MÉTODOS		
PERFIL	F.S. <sub>min</sub> 1.5	F.S. <sub>min</sub> 1.25
Método Equilibrio Limite	NO CUMPLE	NO CUMPLE
Método Elementos Finitos	NO CUMPLE	NO CUMPLE

Este análisis pone de manifiesto que, en su estado actual, el talud se encuentra en una situación precaria, donde la estabilidad es insuficiente para garantizar la seguridad. Por lo tanto, es imperativo adoptar medidas correctivas que refuercen la estabilidad del talud para evitar una falla catastrófica.

### Discusión

Se observa que el análisis de estabilidad del talud realizado mediante el método de elementos finitos resultó en un factor de seguridad más conservador en comparación con el obtenido a través del método de equilibrio límite. Esto es coherente con estudios previos, como el de Gurruchaga R. & Viscarra A. (2020), quienes llevaron a cabo una investigación titulada "Análisis de estabilidad de talud mediante el empleo de elementos finitos La Paz, Bolivia". Los hallazgos de dicho estudio indicaron que es posible lograr un factor de seguridad estable

mediante la modificación de la pendiente superior, minimizando al mismo tiempo las deformaciones del talud. En su investigación, los autores concluyeron que el análisis numérico por elementos finitos es más representativo y conservador que los métodos de cálculo tradicionales, como el equilibrio límite, ya que permite identificar puntos óptimos de mitigación que no son fácilmente identificables mediante un análisis visual.

En el caso del talud en el kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua, se obtuvo un componente de bienestar de 1,11 en circunstancias estáticas y de 0,35 en circunstancias sísmicas mediante la estrategia de componentes limitados, lo que refleja una metodología más segura en contraste con las variables obtenidas mediante la técnica de equilibrio del punto de rotura, que fueron de 1,393 en circunstancias estáticas y de 0,68 en circunstancias sísmicas. Este comportamiento se debe a que la técnica de componentes limitados permite una visualización más detallada de la forma en que se comporta la suciedad, incluidas sus deformaciones y las circulaciones de tensión, lo que da lugar a una evaluación más exacta de la solidez de la inclinación.

#### 4.3 ALTERNATIVA PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DEL TALUD

Con base en los resultados obtenidos, se propusieron alternativas de estabilización para mitigar los riesgos de deslizamiento en el talud del kilómetro 3+950:

- **Escalonamiento del talud:** Se sugirió la construcción de banquetas de 4 metros de ancho cada 5 metros de altura, con un gradiente transversal de 5-10% para facilitar el drenaje superficial.

- **Sistemas de drenaje:** En las zonas con alta infiltración de agua, se recomendó la instalación de zanjas en cada banqueta para controlar la acumulación de agua y reducir las fuerzas desestabilizadoras.

Este enfoque es particularmente efectivo para deslizamientos rotacionales, ya que no solo reduce las fuerzas aplicadas, sino que también mejora el factor de seguridad al incrementar el diámetro y profundidad del círculo crítico de falla. De esta manera, se garantiza la estabilidad de la vía y se asegura la seguridad de los vehículos que transitan por ella.

**Tabla 14***Alternativa de estabilización*

Alternativa de estabilización	Banqueta		
	Gradiente transversal	Ancho	Altura
Escalonamiento del talud	5 a 10%,	4 m.	5 m.

Se realizó un análisis de estabilidad de talud a través de la alternativa elegida, y el resultado sobre factores de seguridad se detalla también en las tablas 15 por el método de equilibrio límite y 16 por el método de elementos finitos.

**Tabla 15***Factores de seguridad método Equilibrio Limite*

FACTOR DE SEGURIDAD METODO EQUILIBRIO LIMITE				
Método	SIN SISMO	F.S. <sub>min</sub> 1.5	CON SISMO	F.S. <sub>min</sub> 1.25
Bishop Simplificado	1.548	CUMPLE	1.253	CUMPLE
Fellenius	1.501	CUMPLE	1.251	CUMPLE
Spencer	1.553	CUMPLE	1.257	CUMPLE
Morgenstern Price	1.547	CUMPLE	1.261	CUMPLE

En la tabla 15, correspondiente al método de equilibrio límite, se observa que los métodos de Spencer y Morgenstern-Price, que cumplen con las

condiciones de equilibrio tanto de fuerzas como de momentos, proporcionan los factores de seguridad más altos. En condiciones estáticas, se obtuvieron valores de 1.553 y 1.547, respectivamente, mientras que en condiciones sísmicas los valores fueron de 1.247 y 1.261. Estos resultados cumplen con los requisitos de la Norma CE.020 Suelos y Taludes, que establece un factor de seguridad mínimo de 1.5 para solicitaciones estáticas y de 1.25 para solicitaciones sísmicas. Estos valores indican que la alternativa de abatimiento de pendiente es adecuada, garantizando la estabilidad del talud y la seguridad de la vía frente a deslizamientos.

### Tabla 16

*Factor de seguridad Método Elementos Finitos*

	SIN SISMO	F.S. <sub>min</sub> 1.5	CON SISMO	F.S. <sub>min</sub> 1.25
1	1.50	CUMPLE	1.249	CUMPLE

Por otro lado, en la tabla 16, se presenta el análisis mediante el método de elementos finitos. En este caso, el factor de seguridad en condiciones sin sismo fue de 1.5, mientras que en condiciones sísmicas fue de 1.249. Si bien los valores obtenidos son más conservadores, también cumplen con los estándares normativos exigidos, lo que respalda la efectividad de esta alternativa para estabilizar el talud. La nueva nivelación alternativa de pendiente asegura que los conductores podrán transitar por esta vía con un nivel adecuado de seguridad, minimizando los riesgos asociados a deslizamientos, particularmente durante la temporada de lluvias, cuando se ha observado mayor recurrencia de estos eventos.

### Discusión



Se analiza la alternativa de escalonamiento de talud con un sistema de drenaje, evaluando su efectividad para estabilizar el talud ubicado en el kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua. El análisis realizado mediante los factores de seguridad indica que esta alternativa cumple con los requisitos establecidos por la Norma CE.020 Suelos y Taludes, que exige un factor de seguridad mínimo de 1.5 para condiciones estáticas y de 1.25 para condiciones sísmicas. Esto demuestra que la implementación de escalonamientos, junto con el sistema de drenaje propuesto, es una solución adecuada para mantener la estabilidad del talud y reducir el riesgo de deslizamientos, especialmente en la temporada de lluvias, cuando la saturación del suelo aumenta considerablemente.

Un estudio similar llevado a cabo por Cuentas (2023), igualmente centrado en evaluar la resistencia de un talud y proponer estrategias de ajuste que se ajusten a los factores de bienestar esperados por las directrices. En su exploración, Cuentas desglosó la resistencia del talud de Quellorco en condiciones secas y empapadas, tanto estáticas como pseudoestáticas. La solución planteada fue la modificación de la geometría del talud para mejorar su estabilidad.

La propuesta no solo cumple con los factores de seguridad exigidos por las normativas, sino que también se alinea con investigaciones previas, como la de Cuentas (2023), que resaltan la importancia de la modificación geométrica y el control del agua como estrategias clave para mejorar la estabilidad de taludes en condiciones adversas.

## CONCLUSIONES

**PRIMERA:** Se identifica que los parámetros que influyen en la estabilidad del talud del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua, en la región de Puno, durante el año 2023, incluyen características geológicas, geomorfológicas, hidrológicas y geotécnicas. El talud está compuesto por depósitos fluvial-aluviales y se ubica en un terreno de colinas y pendientes, lo que aumenta su susceptibilidad a deslizamientos. La saturación por agua de infiltración es un factor determinante que desencadena movimientos en masa en la región. Además, se identificaron parámetros geotécnicos críticos, como ángulo de fricción de  $16,1^\circ$  y una cohesión de  $20,58 \text{ kN/m}^2$ , lo que indica una mala conexión entre partículas debido a la baja cohesión del suelo. En consecuencia, la interacción de estas características geológicas, geomorfológicas, hidrológicas y geotécnicas afecta de manera significativa la estabilidad del talud analizado, lo que permite aceptar la hipótesis planteada en la investigación.

**SEGUNDA:** Se observaron grandes contrastes en las variables de bienestar obtenidas utilizando la estrategia de armonía del punto de ruptura y la técnica de componente limitada para la inclinación del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua en 2023. Utilizando la técnica de equilibrio de corte (Spencer), se obtuvo una componente de bienestar de 1.393 en circunstancias no saturadas y sin temblor sísmico, mientras que en condiciones empapadas y con sismo, la variable de seguridad fue de 0.68. Por otra parte, la estrategia de componentes limitados arrojó una variable de bienestar de 1,11 en



circunstancias no saturadas y sin temblor, y un elemento de seguridad de 0,35 en condiciones de inmersión y con temblor sísmico. Estos resultados corroboran que el factor de seguridad calculado mediante el método de elementos finitos es más conservador, ya que toma en cuenta la deformación del suelo, lo que respalda la aceptación de la hipótesis planteada en la investigación.

**TERCERA:** Se determina que la alternativa de escalonamiento del talud se presenta como la solución adecuada para mejorar la estabilidad del talud del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua. Según los resultados obtenidos La estrategia de equilibrio de corte arrojó un elemento de bienestar de 1,547 en circunstancias estáticas y de 1,261 en circunstancias sísmicas. La técnica de componentes limitados arrojó una variable de bienestar de 1,5 en circunstancias no sísmicas y de 1,249 en circunstancias sísmicas. En los dos casos, se cumplen las directrices de regularización, lo que confirma el reconocimiento de la especulación planteada en la exploración.



## RECOMENDACIONES

**PRIMERA:** Se recomienda a las autoridades locales llevar a cabo un monitoreo continuo de los parámetros geotécnicos y hidrológicos del talud del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua para anticipar y mitigar posibles deslizamientos. Es crucial realizar estudios adicionales que evalúen la influencia de la saturación por agua de infiltración en la estabilidad del talud, así como ensayos de laboratorio para obtener datos más precisos sobre la cohesión y el ángulo de fricción del suelo.

**SEGUNDA:** Se recomienda a los profesionales y autoridades de la región considerar el uso del método de elementos finitos para futuros análisis de estabilidad de taludes en la carretera Puno-Moquegua, dada su capacidad para proporcionar un enfoque más conservador y detallado en la evaluación de la estabilidad del talud.

**TERCERA:** Se recomienda a las autoridades regionales implementar la alternativa de escalonamiento del talud en el kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua como medida prioritaria para mejorar la estabilidad del talud. Dado que los factores de seguridad calculados tanto por el método de equilibrio límite como por el método de elementos finitos cumplen con los estándares normativos, esta solución no solo es viable sino también necesaria para minimizar el riesgo de deslizamientos en condiciones estáticas y sísmicas.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, O., & Zuñiga, C. (2015). *Análisis comparativo de estabilidad de taludes mediante los metodos de equilibrio límite aplicado a taludes o laderas aledañas al cerro de la Popa, casco urbano de Cartagena*. [Universidad de Cartagena]. <https://doi.org/10.57799/11227/7840>
- Alberti, J., Canales, R., & Elizabeth, B. (2006). *Tecnicas de mitigacion para el control de deslizamientos en taludes y su aplicacion a un caso especifico* [Universidad de el Salvador]. <https://opac.biblioteca.ues.edu.sv>
- Alva, J. E. (1994). *Analisis de estabilidad de taludes*. [www.jorgealvahurtado.com](http://www.jorgealvahurtado.com)
- Bishop, A. W. (1955). The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slope. *Géotechnique*, 10, 129–150. <https://doi.org/10.1680/geot.1955.5.1.7>
- Cuentas, M. (2023). *Análisis de estabilidad de taludes en el macizo rocoso Quellorco mediante el método de elementos finitos, equilibrio limite, probabilístico y propuesta de estabilización - Puno*. [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7104/Molleapaz\\_a\\_Mamani\\_Joel\\_Neftali.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7104/Molleapaz_a_Mamani_Joel_Neftali.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Den Hartog, S. (2021). *Verification of an XFEM based slope stability analysis method* [Delft University of Technology]. <http://resolver.tudelft.nl/uuid:254e18d4-2e17-4f7d-a808-3567ee6d3647>
- Fernandez, H., & Hinojosa, S. (2014). *Estudio de inestabilidad y estabilizacion de taludes en el cerro espinal de la ciudad de juliaca*. Universidad Andina "Nestor Caceres Velasquez."
- Gerscovich, D. (2012). *Estabilidad de Taludes* (Lemoine (ed.)).



- Göktepe, F., & Keskin, I. (2018). A comparison study between traditional and Finite Element methods for slope stability evaluations. *J Geol Soc India*, 91, 373–379. <https://doi.org/10.1007/s12594-018-0864-3>
- Griffiths, D. ., Huang, J., & Fenton, G. . (2015). Probabilistic slope stability analysis using RFEM with non - stationary random fields. *Geotechnical Safety and Risk V. IOS Press*, 704–709. <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-580-7-704>
- Gurruchaga R., D., & Viscarra A., F. (2020). Slope stability analysis by finite elements: A case study in la Paz-Boliva. *Investigacion & Desarrollo*, 20(1), 99–111. <https://doi.org/10.23881/idupbo.020.1-8i>
- Hammah, R., Yacoub, T., Corkum, B., & Curran, J. (2005). *A comparison of finite element slope stability analysis with conventional limit-equilibrium investigation.* 1–8. [https://www.researchgate.net/publication/282250880\\_A\\_COMPARISON\\_OF\\_FINITE\\_ELEMENT\\_SLOPE\\_STABILITY\\_ANALYSIS\\_WITH\\_CONVENTIONAL\\_LIMIT-EQUILIBRIUM\\_INVESTIGATION](https://www.researchgate.net/publication/282250880_A_COMPARISON_OF_FINITE_ELEMENT_SLOPE_STABILITY_ANALYSIS_WITH_CONVENTIONAL_LIMIT-EQUILIBRIUM_INVESTIGATION)
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2010). Metodología de la investigación. In *Metodología de la investigación*. <https://doi.org/-> ISBN 978-92-75-32913-9
- Herrera, F. (2000). Guía de cálculo de estabilidad de taludes. In *Análisis de estabilidad de taludes* (Geotecnia, p. 32).
- Huaman, M. (2023). *Implementación del método de reducción de resistencia para el análisis de estabilidad de taludes* [PUCP]. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/25416>
- Janbu, N. (1954). Application of Composite Slip Surface for Stability Analysis. *In:*



- Proceedings of European Conference on Stability of Earth Slopes*, 43–49.
- Jia, X., Jiang, X., Huang, J., Yu, S., & Liu, B. (2024). Slope stability analysis based on the explicit smoothed particle finite element method. *Sustainability*, 16(702). <https://doi.org/10.3390/su16020702>
- Liu, Y., Xiao, H., Yao, K., Hu, J., & Wei, H. (2018). Rock-soil slope stability analysis by two-phase random media and finite elements. *Geoscience Frontiers*, 9(6), 1649–1655. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2017.10.007>
- Machaca Fernández, Y. N. (2019). “Análisis comparativo entre los métodos Bishop Simplificado y Fellenius aplicado al Talud del Tramo km 3+00 al km 5+00 de la Carretera Puno Moquegua de la Región de Puno en el 2017”.
- Melentijevic, S. (2005). *Estabilidad de taludes en macizos rocosos con criterios de rotura no lineales y leyes de fluencia no asociada* [Universidad Politécnica de Madrid]. <http://oa.upm.es>
- Norma CE.020 “Suelos y Taludes,” El Peruano 1 (2012). <https://ww.cdn.www.gob.pe>
- Norma tecnica E.030 “Diseño Sismorresistente”, El Peruano 1 (2018). <https://ww.cdn.www.gob.pe>
- Morgenstern, N. R., & Price, V. E. (1965). The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces. *Géotechnique*, 15, 79–93. <https://doi.org/10.1680/geot.1965.15.1.79>
- Palacios, O., & Sanchez, A. (1995). Movimientos en masa en la region Andina (una guía para la evaluacion de amenazas). *INGEMMET, Boletín N°*.
- Pérez de Agreda, E. A. (2005). *Estabilidad de taludes* (Vol. 41). [www.tcpdf.org](http://www.tcpdf.org)



- Ramos Vásquez, A. A. (2017). Análisis de estabilidad de taludes en rocas. simulación con Is-dyna y comparación con slide. In *Universidad politécnica de Madrid*.  
[https://oa.upm.es/47326/1/TFM\\_ABEL\\_ANTONIO\\_RAMOS\\_VASQUE Z.pdf](https://oa.upm.es/47326/1/TFM_ABEL_ANTONIO_RAMOS_VASQUE_Z.pdf)
- Spencer, E. (1967). A Method of Analysis of the Stability of Embankments Assuming Parallel Inter-Slice Forces. *Geotechnique*, 17, 11–26.  
<https://doi.org/10.1680/geot.1967.17.1.11>
- Suarez, J. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. In Ingeniería de suelos (Ed.), *Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos* (p. 40).
- Suárez, J. (2016). Análisis de estabilidad. In Ingeniería de suelos (Ed.), *Deslizamientos: Analisis geotecnico* (p. 46). [www.erosion.com.co](http://www.erosion.com.co)
- Torres, C. (2007). *Valoración Del Riesgo En Deslizamientos*. Universidad de Ricardo Palma.
- Valiente, R., Sobrecases, S., & Díaz, A. (2015). Estabilidad de Taludes: Conceptos Básicos, Parámetros de Diseño y Métodos de Cálculo. *PUCP*, 1, 1–5.  
<https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/civilizate/article/download/16157/16579>
- Wang, Z., & Lin, M. (2021). Finite element analysis method of slope stability based on fuzzy statistics. *Earth Sciences Research Journal*, 25(1), 123–130. <https://doi.org/10.15446/esrj.v25n1.93320>



# ANEXOS



Anexo 1  
MATRIZ DE CONSISTENCIA

ANÁLISIS DE MÉTODOS DE ESTABILIDAD DE TALUDES APLICADO AL TALUD DEL KILOMETRO 3+950 DE LA CARRETERA PUNO - MOQUEGUA DE LA REGIÓN DE PUNO EN EL 2023

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTOS A UTILIZAR	VALORACIÓN
<p><b>Pregunta general</b> ¿Cuál de los métodos de estabilidad de taludes, proporciona un factor de seguridad más conservador al talud del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua de la región de Puno en el 2023?</p>	<p><b>Objetivo general</b> Analizar los métodos de estabilidad de taludes aplicado al talud del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua de la región de Puno en el 2023, con el fin de determinar cuál de ellos proporciona un factor de seguridad más conservador.</p>	<p><b>Hipótesis general</b> El método de elementos finitos proporciona un factor de seguridad más conservador en comparación con el método de equilibrio limite para el talud del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua de la región de Puno en el 2023.</p>	<p><b>INDEPENDIENTE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Método de equilibrio limite</li> <li>Método elementos finitos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cohesión</li> <li>Angulo de Fricción</li> <li>Peso Especifico</li> <li>Factor de Seguridad</li> <li>Módulo de elasticidad</li> <li>Coefficiente de Poisson</li> <li>Cohesión</li> <li>Angulo de Fricción</li> <li>Peso Especifico</li> <li>Factor de Seguridad</li> </ul>	<p>Laboratorio</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Contenido de humedad</li> <li>Limite liquido</li> <li>Limite plástico</li> <li>Índice de plasticidad</li> <li>Análisis granulométrico</li> <li>Ensayos de corte directo</li> </ul> <p>Software</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Slide</li> <li>Geo5</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>C (kN/m2)</li> <li><math>\sigma</math> (°)</li> <li><math>\gamma</math> (kN/m3)</li> <li>E (P.a)</li> <li><math>\nu</math> (-)</li> <li>C (kN/m2)</li> <li><math>\sigma</math> (°)</li> <li><math>\gamma</math> (kN/m3)</li> </ul>
<p><b>Preguntas específicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cuáles son los parámetros que influyen en la estabilidad del talud del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua de la región de Puno en el 2023?</li> <li>¿Qué diferencias se observan en los factores de seguridad obtenidos con el método de equilibrio limite y el método de elementos finitos para el talud del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua de la región de Puno en 2023?</li> <li>¿Cuál es la alternativa adecuada para mejorar la estabilidad del talud del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua de la región de Puno en 2023?</li> </ul>	<p><b>Objetivos específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Identificar los parámetros que influyen en la estabilidad del talud del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua de la región de Puno en el 2023.</li> <li>Comparar los factores de seguridad obtenidos con el método de equilibrio limite y el método de elementos finitos para el talud del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua de la región de Puno en el 2023.</li> <li>Determinar la alternativa adecuada para mejorar la estabilidad del talud del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua de la región de Puno en el 2023.</li> </ul>	<p><b>Hipótesis específicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Los parámetros que influyen en la estabilidad del talud del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua de la región de Puno en el 2023 son las características geológicas, hidrológicas y geomorfológicas, así como las propiedades fisico-mecánicas del suelo.</li> <li>Existen diferencias significativas en los factores de seguridad obtenidos mediante el método de equilibrio limite y el método de elementos finitos para el talud del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua en 2023, siendo el método de elementos finitos el que proporciona un factor de seguridad más conservador debido a su capacidad para modelar condiciones complejas del talud.</li> <li>La alternativa de escalonamiento del talud, es la adecuada para mejorar la estabilidad del talud del kilómetro 3+950 de la carretera Puno-Moquegua, ya que reduce las fuerzas desestabilizadoras y mejora el equilibrio de las masas del talud, minimizando así el riesgo de deslizamientos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Talud</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Topografía</li> <li>Pendiente</li> <li>Geología</li> <li>Hidrología</li> <li>Geomorfología</li> </ul>	<p>Dron</p> <p>Libreta de campo</p> <p>Observación Visual</p> <p>Registro Fotográfico</p> <p>Revisión de Literatura</p>	<p>Ortomosaico</p> <p>Porcentaje (%)</p> <p>Formación geológica</p> <p>Unidades geomorfológicas</p>



ANEXO 1  
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS  
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN  
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: 17/12/2024

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: YESSICA NOEMI MACHACA FERNANDEZ

Dirección: AV. LA TORRE N° 710

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 70316688

Teléfono: 987678312 email: machacayessica@gmail.com

Nombres y Apellidos: \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: \_\_\_\_\_

Teléfono: \_\_\_\_\_ email: \_\_\_\_\_

Facultad y/o Escuela de Posgrado: MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

Escuela Profesional o Mención: GEOTECNIA Y TRANSPORTES

Título o Grado Académico a optar: MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL

Asesor: Dr. MILTON QUISPE HUANCA

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación  Tesis  Trabajo de Suficiencia Profesional  Trabajo Académico

Título: ANÁLISIS DE MÉTODOS DE ESTABILIDAD DE TALUDES APLICADO AL TALUD DEL KILOMETRO 3+950 DE LA CARRETERA PUNO - MOQUEGUA DE LA REGIÓN DE PUNO EN EL 2023

Palabras claves, (3 a 5 términos): DESlizamiento, ESTABILIDAD, FACTOR DE SEGURIDAD Y TALUD

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV <sup>1,2?</sup>

2

<sup>1</sup> Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.

<sup>2</sup> Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

Bachiller  Título  2da Especialidad  Maestría  Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

**Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.**

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

**Autorizo su publicación (marque con una X)**

Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.  
 Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): \_\_\_\_\_  
 No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

**¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?**

**Sí:** significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

**No:** significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

Sí autorizo  
 No autorizo



### Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.** Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

Internacional

Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P50

Firma de Autor



huella digital

17 de diciembre del 2024

Fecha