

# UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

## FACULTAD DE INGENIERÍA

### ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL



#### Tesis

**Influencia de las raíces de plantas herbáceas en la estabilidad de taludes, tramo kilómetro 4+800 del sector de Changas-Uncabamba, distrito de Circa, provincia de Abancay, departamento de Apurímac, 2023**

Asesor:

Mgt. Ing. Maldonado Mendivil, Ángel

Autor:

Guevara Saavedra, Vivian Gueiby

Para optar el Título Profesional de: Ingeniero Civil

Abancay – Apurímac – Perú

2025



# Universidad Tecnológica de los Andes

Transformando vidas

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 025

En la ciudad de Abancay año 2025 en el mes de febrero día viernes del 21 siendo las 09:00 de la mañana, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0151-2025- EPIC-FI-UTEA-SA de fecha 13 de febrero del 2025, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Dra. Vera Teves, Rosa Marina
Dictaminante:	Ph.D. Vásquez Ramírez, Abbon Alex
Replicante :	Ing. Gamarra Mota, Rubén

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis  Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Influencia de las raíces de plantas herbáceas en la estabilidad de taludes, tramo kilómetro 4+800 del sector de Changas-Uncabamba, distrito de Circa, provincia de Abancay, departamento de Apurímac, 2023

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br: Guevara Saavedra, Vivian Gueiby

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

Por: Unanimidad  
(Unanimidad o Mayoría) (\*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Guevara Saavedra, Vivian Gueiby	Aprobado

Siendo las 10:50 de la mañana concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Dra. Vera Teves, Rosa Marina

Dictaminante: Ph.D. Vasquez Ramirez, Abbon Alex

Replicante: Ing. Gamarra Mota, Rubén

Abancay 06 de marzo del 2025

Se expide, la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 315.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES  
Ciudad Universitaria Av. Perú N° 700, Abancay, Central Telefónica 051 (083) 321559  
Filial Cusco, Av. Grau N° 516, Teléfono (084) 251665  
Filial Andahuaylas, Av. Juan Antonio Trellas N° 513 Teléfono (083) 421752  
[www.utea.edu.pe](http://www.utea.edu.pe)

(\*) Mayoría: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RUGAT.  
(\*\*) 0 a 10, Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a

Influencia de las raíces de plantas herbáceas en la estabilidad de taludes, tramo kilómetro 4+800 del sector de Changas-Uncabamba, distrito de Circa, provincia de Abancay, departamento de Apurímac, 20

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>Submitted to Universidad Tecnológica de los Andes</b> Trabajo del estudiante	<b>4%</b>
<b>2</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.utea.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>fdocuments.mx</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>repositorio.puce.edu.ec</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>Aguirre Huilcas, Franklin. "Caracterización de la geohidrología en el movimiento en masa de suelos en la urbanización bellavista - Abancay", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru)</b> Publicación	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>www.coursehero.com</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<b>Submitted to Universidad Cesar Vallejo</b> Trabajo del estudiante	

## Metadatos

<b>Datos del Autor</b>		
Apellidos y nombres	:	Guevara Saavedra, Vivian Gueiby.
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	72893675
URL ORCID	:	<a href="https://orcid.org/0009-0003-8534-1487">https://orcid.org/0009-0003-8534-1487</a>
<b>Datos del Asesor</b>		
Apellidos y nombres	:	Maldonado Mendívil, Ángel.
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	06788424
URL ORCID	:	<a href="https://orcid.org/0000-0001-9002-1910">https://orcid.org/0000-0001-9002-1910</a>
<b>Datos de la investigación</b>		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela Profesional	:	Ingeniería Civil
Línea de Investigación	:	Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	:	2023 - 2024
Fuente de financiamiento	:	Financiamiento propio
Porcentaje de similitud	:	15%
URL DE OCDE	:	<a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford# 2.01.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford# 2.01.01</a>

## **Dedicatoria**

La realización de esta tesis va dedicada a mi persona por la constancia y perseverancia que desarrolle en todo el proceso de mi crecimiento profesional y personal, con el mismo amor se lo dedicó a mi madre quien me dio la vida y su apoyo constante e incondicional; decirte madre linda que ¡logramos juntas, este gran paso!, de igual forma va dedicado a mi esposo e hija, que me motivan para seguir creciendo profesionalmente y personalmente.

## **Agradecimiento**

A mi madre por ser la clave fundamental en el logro de este paso, sin tu empuje y ejemplo, no sería quien soy ahora, del mismo modo a mi amorcito por la motivación y apoyo en este tiempo también a mi hermana por estar conmigo en los momentos de alegrías y tristeza, por compartir mis triunfos y a cada persona que me apoyaron en la culminación de esta etapa y elaboración de la presente tesis.

## Resumen

La tesis tiene el objetivo de determinar la influencia de las raíces de las plantas *herbáceas* en la estabilidad de taludes del tramo km 04+800 sector Changas-Uncabamba, distrito de Circa, provincia de Abancay, departamento de Apurímac, 2023, de esa manera brindar una solución ante los deslizamientos en el tramo elegido. La tesis parte de una metodología no experimental-transversal, además de ser descriptiva-correlacional. La población está comprendida entre el tramo de estudio KM 04+800 hasta el KM 04+870, y dónde las muestras serán tomadas de dos calicatas en forma directa del talud. Los resultados demostraron la presencia de plantas como Chilca, Ichu, Trébol y Yunca rata dónde generan un incremento de humedad entre el 13.84% y 20.9%; en relación a la resistencia mecánica, cambian en porcentaje positivo del 14.47% y negativo del 22.05%, y los valores del factor de seguridad son bajos dónde el máximo valor alcanzado es 0.24, permitiendo la probabilidad de deslizamiento en el talud. Se concluye que la presencia de raíces en el talud genera un cambio en el contenido de humedad, pero en términos de resistencia no hay un aporte favorable, además que los factores de seguridad son inferiores para ser considerado el talud estable.

*Palabras claves:* Raíces de plantas herbáceas, estabilidad de taludes.

## **Abstract**

The thesis aims to understand the influence of the roots of herbaceous plants on the stability of slopes in the section km 04+800 of the Changas-Uncabamba area in the district of Circa, province of Abancay, Apurímac department, 2023, thus providing a solution to landslides in the chosen section. The thesis is based on a non-experimental transversal methodology, as well as being descriptive-correlational. The population is defined between the study section KM 04+800 and KM 04+870, where the sample will consist of two test pits taken directly from the slope. The results demonstrated the presence of plants such as Chilca, Ichu, Trebol, and Yunca rata, which generate an increase in moisture between 13.84% and 20.9%. In relation to mechanical resistance, there are positive changes of 14.47% and negative changes of 22.05%, and the safety factor values are low, with the maximum value reached being 0.24, allowing for the probability of landslides on the slope. It is concluded that the presence of roots in the slope causes a change in moisture content, but in terms of resistance, there is no favorable contribution, and the safety factors are below what is considered stable for the slope.

*Keywords:* Roots of herbaceous plants, slope stability.

## Índice general

<b>Portada .....</b>	<b>i</b>
<b>Acta de sustentación .....</b>	<b>ii</b>
<b>Reporte de similitud.....</b>	<b>iii</b>
<b>Metadatos .....</b>	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria .....</b>	<b>v</b>
<b>Agradecimiento.....</b>	<b>vi</b>
<b>Resumen.....</b>	<b>vii</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>viii</b>
<b>Índice general.....</b>	<b>ix</b>
<b>Índice de tablas.....</b>	<b>xii</b>
<b>Índice de figuras .....</b>	<b>xiii</b>
<b>Índice de anexos.....</b>	<b>xv</b>
<b>I. Introducción.....</b>	<b>16</b>
<b>II. Planteamiento del problema.....</b>	<b>18</b>
2.1 Descripción y formulación del problema .....	18
2.2 Objetivos .....	19
2.2.1 Objetivo General.....	19
2.2.2 Objetivos Específicos .....	19
2.3 Justificación e importancia.....	19
2.4 Hipótesis.....	20
2.4.1 Hipótesis general.....	20
2.4.2 Hipótesis específicas .....	20
2.5 Variables .....	22

<b>III. Marco Teórico .....</b>	<b>24</b>
3.1 Antecedentes .....	24
3.1.1 A nivel internacional.....	24
3.1.2 A nivel nacional.....	25
3.1.3 A nivel regional y local.....	28
3.2 Bases teóricas .....	28
3.2.1 Estabilidad de Taludes.....	28
3.2.2 Falla en el talud.....	28
3.2.3 Factores en la inestabilidad de taludes .....	29
3.2.4 Influencia de la vegetación en la estabilidad del talud .....	33
3.2.5 Métodos para determinar la estabilidad de taludes .....	35
3.2.6 Descripción de ensayos y caracterización de muestras .....	38
3.3 Definición de términos .....	42
3.3.1 Ángulo de fricción.....	42
3.3.2 Arcilla .....	42
3.3.3 Coeficiente de cohesión .....	42
3.3.4 Compresión.....	42
3.3.5 Esfuerzo.....	42
3.3.6 Estabilización del suelo .....	42
3.3.7 Plasticidad.....	42
3.3.8 Propiedades Mecánicas .....	42
3.3.9 Raíz .....	43
3.3.10 Suelo.....	43
3.3.11 Talud.....	43
3.3.12 Tamaño Máximo .....	43
3.3.13 Tracción .....	43
3.3.14 Vegetación .....	43
3.3.15 Plantas Herbáceas.....	43

<b>IV. Metodología .....</b>	<b>44</b>
4.1 Tipo y nivel de investigación .....	44
4.2 Ámbito temporal y espacial .....	46
4.3 Población y muestra .....	46
4.3.1 Población .....	46
4.3.2 Muestra .....	46
4.3.3 Muestreo .....	46
4.4 Instrumentos .....	46
4.4.1 Técnicas .....	46
4.4.2 Instrumentos .....	47
4.5 Procedimiento .....	47
4.6 Análisis de datos .....	47
4.7 Consideraciones éticas .....	48
<b>V. Resultados y discusión .....</b>	<b>49</b>
5.1 Resultados .....	49
5.2 Discusión de resultados .....	67
<b>VI. Conclusiones .....</b>	<b>69</b>
<b>VII. Recomendaciones .....</b>	<b>70</b>
<b>VIII. Referencias .....</b>	<b>71</b>
<b>IX. Anexos .....</b>	<b>76</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> Operacionalización de variables _____	22
<b>Tabla 2</b> Altura del talud _____	49
<b>Tabla 3</b> Características de plantas en talud _____	50
<b>Tabla 4</b> Contenido de humedad de C-1- h=0.50 con presencia de raíces _____	51
<b>Tabla 5</b> Contenido de humedad de C-1- h=1.00 sin presencia de raíces _____	51
<b>Tabla 6</b> Contenido de humedad de C-2- h=0.50 con presencia de raíces _____	51
<b>Tabla 7</b> Contenido de humedad de C-2- h=1.00 sin presencia de raíces _____	52
<b>Tabla 8</b> Resumen del contenido de humedad del suelo _____	52
<b>Tabla 9</b> Ensayo de cohesión del suelo _____	53
<b>Tabla 10</b> Ensayo de corte directo en el suelo calicata 01 _____	53
<b>Tabla 11</b> Ensayo de corte directo en el suelo calicata 02 _____	54
<b>Tabla 12</b> Resumen del corte directo del suelo _____	54
<b>Tabla 13</b> Resumen del factor de seguridad del talud _____	66

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> Mapa de deslizamiento _____	29
<b>Figura 2</b> Modelo de deslizamiento a escala en laboratorio _____	30
<b>Figura 3</b> Idealización de deslizamiento con presencia de agua _____	31
<b>Figura 4</b> Modelamiento de la geomorfología del deslizamiento _____	31
<b>Figura 5</b> Pendientes elevadas en taludes _____	32
<b>Figura 6</b> Presencia de vegetación en taludes _____	33
<b>Figura 7</b> Efecto de las plantas herbáceas en taludes _____	34
<b>Figura 8</b> Flujograma de la tesis _____	45
<b>Figura 9</b> Capas del suelo _____	47
<b>Figura 10</b> Corte Transversal del talud en estudio _____	49
<b>Figura 11</b> Mapa de zona sísmica de Perú _____	50
<b>Figura 12</b> Gráfico del contenido de humedad del suelo _____	52
<b>Figura 13</b> Gráfico del ensayo de corte directo del suelo _____	54
<b>Figura 14</b> Registro de datos calicatas N°01-Con raíz _____	55
<b>Figura 15</b> Definición de materiales calicata N°01-Con raíz _____	56
<b>Figura 16</b> Factor de seguridad método BISHOP calicata N°01-Con raíz _____	56
<b>Figura 17</b> Factor de seguridad método SPENCER calicata n°01-Con raíz _____	57
<b>Figura 18</b> Registro de datos calicata N°01-Sin raíz _____	57
<b>Figura 19</b> Definición de materiales calicata N°01- Sin raíz _____	58
<b>Figura 20</b> Factor de seguridad método BISHOP calicata N°01-Sin raíz _____	58
<b>Figura 21</b> Factor de seguridad método SPENCER calicata N°01-Sin raíz _____	59
<b>Figura 22</b> Registro de datos calicata N°02-Con Raíz _____	59
<b>Figura 23</b> Definición de materiales calicata N°02-Con Raíz _____	60
<b>Figura 24</b> Factor de seguridad método BISHOP calicata N°02- con raíz _____	60
<b>Figura 25</b> Factor de seguridad método SPENCER calicata N°02-Con raíz _____	61
<b>Figura 26</b> Registro de datos calicata N°02-Sin raíz _____	61
<b>Figura 27</b> Definición de materiales calicata N°02-Sin Raíz _____	62

<b>Figura 28</b>	Factor de Seguridad método BISHOP calicata N°02.Sin raíz _____	62
<b>Figura 29</b>	Factor de seguridad método SPENCER calicata N°02-Sin raíz _____	63
<b>Figura 30</b>	Material Orgánico _____	63
<b>Figura 31</b>	Material Arcilla Limo _____	64
<b>Figura 32</b>	Material Arena _____	64
<b>Figura 33</b>	Material Grava _____	65
<b>Figura 34</b>	Detalle de Talud _____	65

## Índice de anexos

<b>Anexo 1</b> Matriz de Consistencia _____	77
<b>Anexo 2</b> Estudios en laboratorio _____	79
<b>Anexo 3</b> Panel fotográfico _____	123
<b>Anexo 4</b> Plano _____	124

## I. Introducción

En el informe de tesis se ha detallado los procedimientos y consideraciones necesarias para lograr conocer la influencia de las raíces de las plantas herbáceas en la estabilidad de taludes del tramo km 4+800 del sector Changas-Uncabamba, distrito de Circa, provincia de Abancay, departamento de Apurímac, 2023.

El principal problema detectado es la alta probabilidad de deslizamiento del talud en el tramo seleccionado, de tal modo que afecte la vía de comunicación y transporte de la población, además de en ciertos casos generar pérdidas humanas, animales y materiales, es por ello que se verifico la influencia de raíces de plantas herbáceas existentes en la zona, En ese sentido se plantea poder generar conocimientos acerca de la influencia de las raíces de plantaciones como la Chilca, Ichu, Trébol y Yunca rata en un talud con dimensiones altas que oscilan entre 4.20 m y 7.64 m, y este objetivo se logró con la ayuda del software SLIDE el cuál determina el factor de seguridad en taludes y con ello define la estabilidad de un talud en estudio.

En ese sentido el informe de tesis presenta dos variables de estudio; la independiente que es raíces de plantas herbáceas, con dimensiones de esfuerzos principales normal que tiene como indicador coeficiente de cohesión con raíces de plantas herbáceas, características de plantas y acuñamiento de las raíces que cuenta con su indicador de profundidad de raíces de las plantas, modificación del contenido de humedad como indicador tiene el contenido de humedad, refuerzo mecánico del suelo el cual su indicador viene a ser la resistencia a la cortante, y la variable dependiente que es la estabilidad de taludes con dimensiones de factor de seguridad que contiene como indicador el esfuerzo al corte de la masa que se desliza, y esfuerzo al corte de la masa que no desliza. Así mismo la tesis ha sido estructurada por capítulos que a continuación se detalla:

**El capítulo I.**, comprende la introducción donde se describe el contenido de la tesis.

**El capítulo II.**, considera la descripción y formulación del problema, los objetivos, justificación, hipótesis y variables

**El capítulo III.**, el marco teórico que contiene los antecedentes, las bases teóricas y definición de términos.

**El capítulo IV.** contempla la metodología de la investigación con sus respectivas hipótesis, la población y muestra, técnicas e instrumentos, el procedimiento análisis de datos y consideraciones éticas.

**El capítulo V.**, los resultados y discusión.

**El capítulo VI.**, Conclusiones

**El capítulo VII.**, Recomendaciones

**El capítulo VIII.**, Referencias

**El capítulo IX.**, Anexos que se detalla la matriz de consistencia, los estudios preliminares de laboratorio, panel fotográfico y plano.

La descripción de la estructura de tesis está elaborada de acuerdo a los lineamientos de la RESOLUCIÓN DE VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN N°011-2024 UTEA-VRI, de la Universidad Tecnológica de los Andes, con fecha 23 de enero del 2024.

## II. Planteamiento del problema

### 2.1 Descripción y formulación del problema

La problemática asociada a los deslizamientos de taludes es de suma relevancia, ya que los colapsos de estas pendientes pueden desencadenar consecuencias devastadoras. Es por ello que la estabilidad de taludes se ha vuelto tema de gran relevancia dentro de los estudios especializados en ingeniería (Kardani, Zhou, Nazem, & Shen, 2021). La magnitud de los efectos catastróficos generados por los deslizamientos de taludes no solo impacta en la infraestructura y el entorno natural, sino que también tiene repercusiones directas en la seguridad y bienestar de las comunidades afectadas, por ello es que actualmente buscan diversos métodos y software que permitan hacer frente a este problema (Yang, Sun, Zheng, & Yan, 2020).

En la localidad de Uncabamba, situada en el distrito de Circa, provincia de Abancay, dentro del departamento de Apurímac, se registró un deslizamiento de suelos en taludes, expuestos a la intemperie del km 04+800 de la carretera (trocha carrozal) Changas-Uncabamba. La posible causa identificada incluye el tipo de suelo y las precipitaciones pluviales, provocando perjuicios tanto a nivel social como económico. Familias colindantes al área, se vieron afectada por el deslizamiento de forma negativa, con pérdidas en cultivos agrícolas, así mismo dificultando a los medios de transporte peatonal y vehicular, entre otros aspectos. Debido a este motivo el presente informe de tesis se centra en el tramo específico ubicado en el km 04+800 del sector de Changas-Uncabamba como punto de partida, donde se ha observado una serie constante de deslizamientos de suelos en áreas con ausencia o escasez de vegetación. Un aspecto destacado es la presencia de parcelas agrícolas en la parte superior del talud, donde se lleva a cabo temporalmente la remoción del suelo como parte de la actividad agrícola. Esta acción debilita la resistencia a la carga de los taludes, especialmente en comparación con las áreas del talud que cuentan con un recubrimiento adecuado de vegetación. Esta observación motiva la formulación de la siguiente pregunta como problema general; ¿Cuál es la influencia de las raíces de las plantas *herbáceas* en la estabilidad de taludes del tramo km 04+800 sector Changas-

Uncabamba, distrito de Circa, provincia de Abancay, departamento de Apurímac, 2023?

Y como problemas específicos, se tiene:

- ¿Cuál es la influencia del reforzamiento mecánico del suelo en la estabilidad de taludes del tramo km 4+800 sector Changas-Uncabamba, distrito de Circa, provincia de Abancay, departamento de Apurímac, 2023?
- ¿Cuál es la influencia de las raíces de las plantas *herbáceas* en el factor de seguridad del tramo km 4+800 sector Changas-Uncabamba, distrito de Circa, provincia de Abancay, departamento de Apurímac, 2023?

## **2.2 Objetivos**

### **2.2.1 Objetivo General**

Determinar la influencia de las raíces de las plantas *herbáceas* en la estabilidad de taludes del tramo km 4+800 sector Changas-Uncabamba, distrito de Circa, provincia de Abancay, departamento de Apurímac, 2023

### **2.2.2 Objetivos Específicos**

- Identificar la influencia del reforzamiento mecánico del suelo en la estabilidad de taludes del tramo km 4+800 sector Changas-Uncabamba, distrito de Circa, provincia de Abancay, departamento de Apurímac, 2023
- Calcular la influencia de las raíces de las plantas *herbáceas* en el factor de seguridad del tramo km 4+800 sector Changas-Uncabamba, distrito de Circa, provincia de Abancay, departamento de Apurímac, 2023

## **2.3 Justificación e importancia**

Se justifica de manera práctica, ya que se ha observado un notable aumento en la creación de accesos terrestres hacia diversas poblaciones que anteriormente no contaban con ellos, incluyendo vías de primer y segundo orden. En este contexto, las trochas carrozables y caminos vecinales han ganado relevancia como parte fundamental de esta expansión, involucrando la ejecución de cortes de taludes con especial atención a los parámetros de estabilidad. Esta medida se adopta con el propósito de prevenir la pérdida de la humanidad y bienes materiales. Dado ello, la tesis busca hacer frente a estos

deslizamientos desde un punto de vista objetivo al ser evaluada la influencia de la estabilidad del talud bajo la presencia de raíces de plantas herbáceas de la zona.

Se justifica de manera social, ya que en la zona de Uncabamba se visualiza inestabilidad en el talud, afectando la infraestructura vial y, consecuentemente, el transporte de productos agrícolas y ganaderos hacia localidades cercanas como Nicolani, Uncabamba y Mariasco. Siendo estas poblaciones las que serán beneficiadas con los resultados y conclusiones del presente proyecto investigativo.

Se justifica de manera técnica ya que este estudio pretende contribuir con información valiosa para futuros proyectos en la región o aquellos que utilicen esta tesis como referencia para dar soluciones de estabilidad en taludes, especialmente para carreteras y por el desarrollo constante y el crecimiento poblacional hace que las vías de transporte cada vez sean mayores.

Se justifica de manera económica y medio ambiental, dado que la tesis busca conocer la influencia de materiales naturales como las raíces de plantas herbáceas en la estabilidad de taludes en carreteras, generando así un ahorro considerable en técnicas de estabilización que incluyen costos por materiales fabricados para ese fin, además que con el uso de plantas de la zona se fomenta la construcción sostenible permitiendo en cierta medida disminuir la contaminación del ambiente.

## **2.4 Hipótesis**

### **2.4.1 Hipótesis general**

La Influencia de las raíces de las plantas *herbáceas* tiene un efecto positivo en la estabilidad de taludes, del tramo km 4+800 sector Changas-Uncabamba, distrito de Circa, provincia de Abancay, departamento de Apurímac, 2023.

### **2.4.2 Hipótesis específicas**

- Las raíces de las plantas *herbáceas* tienen influencia un efecto positivo del reforzamiento mecánico del suelo en la estabilidad de taludes del tramo km 4+800 sector Changas-Uncabamba, distrito de Circa, provincia de Abancay, departamento de Apurímac, 2023

- Las raíces de las plantas herbáceas tienen una influencia positiva en el factor de seguridad del tramo km 4+800 sector Changas-Uncabamba, distrito de Circa, provincia de Abancay, departamento de Apurímac, 2023

## 2.5 Variables

**Tabla 1**

*Operacionalización de variables*

Variables	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Medición	Instrumentos
<b>Variable Independiente</b>						
<b>Raíces de las plantas herbáceas</b>	Las plantas herbáceas, también conocidas como hierbas, se caracterizan por carecer de tallos leñosos en comparación con árboles y arbustos, presentando hojas y tallos de color verde, y en algunas ocasiones, floraciones terminales. Estas plantas herbáceas desempeñan un papel esencial en la estabilización de taludes al fortalecer el suelo, controlar la erosión, absorber el exceso de agua y proporcionar una cobertura rápida. Su habilidad de adaptarse y establecerse de manera veloz las convierte en una opción valiosa para el alcance de mejoras en los taludes sobre su estabilidad en diversas condiciones (Bordoloi &	Representa la descripción detallada de manera física de sus características para la obtención de datos requeridos.	Esfuerzos principales normal.	Coficiente de cohesión con raíces de plantas herbáceas y sin raíces planta	Kg/cm <sup>2</sup> (kilogramos por centímetro cuadrado)	Formato para recolección de datos de límite líquido. MTC E110
			Características de plantas y acuífamiento de las raíces.	Profundidad de raíces de las plantas herbáceas.	Cm (centímetro)	Formato para recolección de datos de límite plástico. MTC E111
			Modificación del contenido de humedad.	Contenido de humedad (%)	% (Porcentaje)	Formato para recolección de datos de granulometría. MTC E107
			Reforzamiento mecánico del suelo.	sistencia a la tante.	Kg/cm <sup>2</sup> (kilogramos por centímetro cuadrado)	Formato para recolección de datos del ensayo de corte directo. MTC E123
					Formato para cálculo de ángulo de fricción interna. BRAJA M. DAS	Formato para

Wai, 2020),.		cálculo de cohesión no drenada. BRAJA M. DAS			
<b>Variable Dependiente</b>					
<b>Estabilidad de taludes</b>	El estudio de taludes, tanto naturales como artificiales, implica evaluar la estabilidad a través de factores como el punto resistente del suelo, el talud según su perfil y el estado de filtración de aguas. Se selecciona una de las superficies de falla y se calcula uno de los factores de seguridad, determinando así la superficie crítica (Singh, Bardhan, Han, Samui, & Zhang, 2022).	Capacidad ante un deslizamiento de una superficie inclinada de roca o tierra.	(F) Factor de Seguridad	(FS) esfuerzo al corte de la masa que se desliza, y esfuerzo al corte de la masa que no se desliza.	Adimensional  SOFTWARE SLIDE

*Nota.* Elaboración propia.

### **III. Marco Teórico**

#### **3.1 Antecedentes**

##### **3.1.1 A nivel internacional**

Vallarino, R., Mejia, G., & Centella, D. (2021), "Bioingeniería de taludes: evaluación del uso de árboles y arbustos como posible mecanismo para incrementar el factor de seguridad." Por medio de la Revista de Iniciación Científica, dio nos muestra como una investigación analítica y documental de forma conceptual en un párrafo de la investigación nos explica sobre las raíces con poca profundidad teniendo como ejemplo al plátano, siendo este un factor que aumenta la carga a la pendiente y la estructura del suelo apoyándose del software Optum G2 2020.

Chaparro, et al. (2020), "Influencia del vetiver y eucalipto en la estabilidad de taludes." Por medio del trabajo investigativo que presentan como objetivo conocer los efectos del vetiver y el eucalipto como un estabilizante en taludes. La investigación cuenta con una metodología de diseño no experimental y de enfoque cuantitativo, dónde evalúan el estado actual de 4 diferentes terrenos con presencia de estas plantas y de suelos saturados y secas, además con ayuda del programa SLIDE 7.0 buscan analizar uno de los factores de seguridad del talud. Demostraron en los resultados que el suelo de arenas limosas en presencia de agua con suelo desnudo alcanza un factor de seguridad de 1.35, por otro lado, con vetiver un valor de 1.36 y con eucalipto un factor de seguridad de 1.583. Por otro lado, en condiciones secas los valores son de 1.548, 1.56 y 1.901. La investigación concluye que la presencia de vetiver y eucalipto en el talud genera incrementos considerables del 9.29% con vetiver y del 12% con eucalipto en el factor de seguridad del talud.

Gobinath, et al. (2021), "Stabilisation of natural slopes using natural plant root as reinforcing agent." En el trabajo investigativo presentan por objetivo el conocimiento del valor influyente en la estabilidad de taludes por medio de las raíces de plantas naturales. La investigación cuenta con una metodología de diseño experimental, aplicativo y de enfoque cuantitativo, dónde evalúan el estado actual de 5 diferentes muestras con

presencia de estas plantas con presencia de raíces de 10, 13, 13, 14 y 13%. Los resultados demostraron que el suelo evaluado con cada porcentaje encontrado de raíces de plantas presenta una resistencia al corte de 13.53, 14.68, 17.06, 20.12 y 22.8 N/cm<sup>2</sup>. La investigación concluye que las raíces de plantas en el suelo es un estabilizante natural que favorece en zonas de deslizamiento.

Islam M., et al. (2020), "Effectiveness of Vetiver Grass on Stabilizing Hill Slopes: A Numerical Approach." En el trabajo investigativo presentan como objetivo analizar la estabilidad de laderas con la presencia de raíces de plantación. La investigación cuenta con una metodología de diseño no experimental, aplicativo y de enfoque cuantitativo, dónde evalúan suelos arenosos y arcilloso magro con presencia de raíces de plantación. Los resultados demostraron que el suelo disminuye su factor de seguridad de acuerdo a diferentes pendientes. Por otro lado, con ayuda del software PLAXIS 2D se demostró que el factor de seguridad se incrementó en un 2% y 15% con presencia de raíces de plantación en el suelo. La investigación concluye que la presencia de raíces de plantación en el suelo genera un incremento considerable del factor de seguridad y permite ser usado como un estabilizante natural en laderas con pendientes considerables.

Soto (2023), "Analizar el impacto de las raíces de árboles en la estabilidad de taludes." Su objetivo es analizar el valor influyente de la vegetación para estabilizar taludes. Su metodología de diseño es no experimental, aplicativo y de enfoque cuantitativo, donde se evalúan 3 tipos de suelos con presencia de vegetación. Los resultados demostraron que el suelo incrementa su factor de seguridad en 1.5% llegando a un máximo de 3.7% demostrando la influencia en la estabilidad de taludes positiva con la presencia de vegetación. La investigación concluye que la presencia de vegetación en el suelo es de importancia para mantener estabilidad en los taludes.

### **3.1.2 A nivel nacional**

Mujica y Reymundo (2022), "Análisis de Estabilidad de Taludes desde el Puente Posanca hasta el Poblado Licahuasi de la Carretera LM 111 en el Distrito de Arahua." en el trabajo investigativo presentan como objetivo conocer qué factores influyen en la

estabilización de un talud mediante banquetas y vegetación. La investigación cuenta con una metodología de diseño no experimental, aplicativo y de enfoque cuantitativo, dónde evalúan el estado actual de 5 perfiles diferentes terrenos con presencia de plantas y de banquetas, además con ayuda del programa Geo5 buscan analizar el factor de seguridad del talud. Los resultados demostraron que el suelo con presencia de vegetación el factor seguridad para el perfil 1 es de 0.748, el perfil 2 de 0.748, el perfil 3 de 0.69, el perfil 4 de 0.69 y el perfil 5 un valor de 6. La investigación concluye que los factores de seguridad se incrementan en un 48.16% con un ángulo de inclinación de 30% considerando así un talud estable.

Sutta y Sutta (2021), "Evaluación de la estabilidad del talud en función a la variación granulométrica del suelo de soporte del puente de Mayunmarca del distrito de Quiquijana, Cusco-2019." En el trabajo investigativo presentan como objetivo conocer la estabilidad del talud y su factor de seguridad por medio del software SLIDE. La investigación cuenta con una metodología de diseño no experimental, aplicativo y de enfoque cuantitativo, dónde evalúan el estado actual del talud, analizando los diferentes tamaños de las partículas, además con ayuda del programa SLIDE buscan analizar al talud sobre su estabilidad en base a sus resultados de ángulo de fricción y parámetros de resistencia. Los resultados demostraron que el suelo con presencia de agregados de  $\frac{3}{4}$ " el factor de seguridad es de 2.4, con suelo de  $\frac{1}{2}$ " el F.S es de 1.74 y con partículas de  $\frac{1}{4}$ " el F.S es de 1.54. La investigación concluye que el tamaño de partículas influye positivamente en la resistencia mecánica del talud y por ende en su estabilidad y que el software brinda eficiencia en cálculos.

Hospinal y Laureano (2020), "Propuesta de estabilidad de taludes en tramos sinuosos en la carretera Mollepata – Pallasca". En el trabajo investigativo presentan como objetivo dar un plan para la estabilidad de taludes en tramos serpenteados. La investigación cuenta con una metodología de diseño no experimental, aplicativo y de enfoque cuantitativo, a través de ello evalúan el estado actual del talud, analizando los diferentes estratos encontrados y sus propiedades, además con ayuda del programa SLIDE 6.0

buscan analizar la estabilidad del talud naturalmente y por medio del sistema Soil Nailing. Los resultados demostraron un análisis de 7 tramos de la carretera donde el estado natural ofrece un factor de seguridad de 1.01, 1.42, 0.925, 1.18, 1.33, 0.97 y 0.88 respectivamente a cada tramo y con la presencia de Soil Nailing los factores de seguridad se incrementan a valores de 1.61, 1.65, 1.53, 1.54, 1.52, 1.51 y 1.59. La investigación concluye que los factores de seguridad encontrados son suficientes para definir al talud como estable después de su análisis estático.

Barboza (2021), "Factor de seguridad para estabilidad de taludes usando métodos geotécnicos, con el software SLIDE, en los tramos de la carretera Lacamarca y sector San Agustín - Hualgayoc - Cajamarca. Cajamarca." su objetivo es conocer el factor de seguridad del talud con el software SLIDE. su metodología de diseño es no experimental, aplicativo y de enfoque cuantitativo, evalúan el estado actual del talud con ayuda del programa SLIDE 6.0. Los resultados demostraron un análisis de 3 muestras de las cuales el método Bishop brindó factores de seguridad de 2.8, 2.7 y 2.6. La investigación concluye que la aplicación del software favorece este tipo de investigación y el método Bishop favorece a la conservación.

Julca, et al. (2021), "Estabilización de los taludes de la costa verde empleando el método de la hidrosiembra en el tramo entre la calle colón y la bajada Malecón Balta del distrito de Miraflores." presentan como objetivo dar una solución a la estabilidad de taludes por medio de la hidrosiembra. La investigación cuenta con una metodología de diseño no experimental, aplicativo y de enfoque cuantitativo, a través de ello evalúan el estado actual del talud, analizando los diferentes estratos encontrados y sus propiedades, además con ayuda del programa SLIDE, Civil 3D buscan examinar el talud según su estabilidad. Demostraron por resultados un análisis de 3 secciones de las cuales el factor de seguridad es de 1.51, 1.58 y 1.63 superiores al estado actual de 1.3 que se considera no estable por ser menor a 1.5. La investigación concluye que la aplicación de la hidrosiembra efectuará una minimización en las repercusiones generadas por el punto erosivo, el desprendimiento y deslizamiento de rocas.

### **3.1.3 A nivel regional y local**

No se encontraron investigaciones

## **3.2 Bases teóricas**

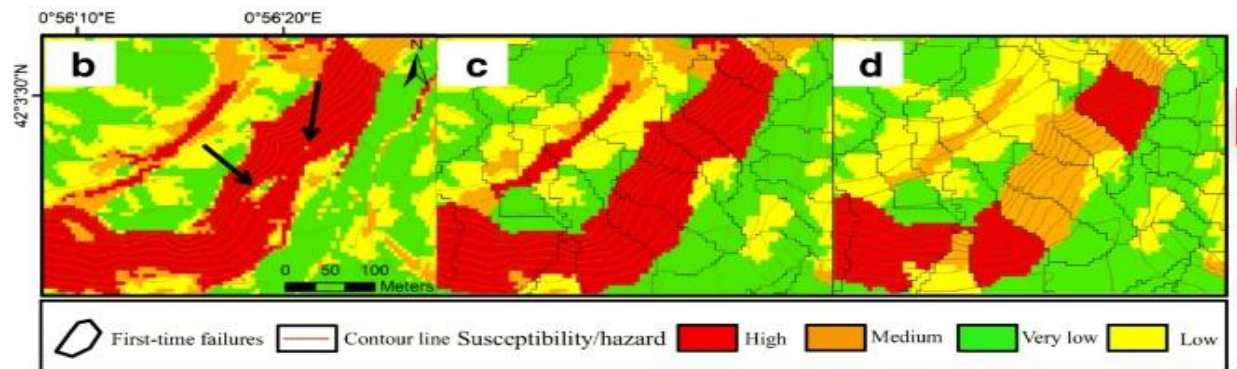
### **3.2.1 Estabilidad de Taludes**

El estudio de taludes, tanto naturales como artificiales, implica evaluar la estabilidad a través de factores como el punto resistente del suelo, el talud según su perfil y el estado de filtración de aguas. Se selecciona una de las superficies de falla y se calcula uno de los factores de seguridad, determinando así la superficie crítica (Singh, Bardhan, Han, Samui, & Zhang, 2022).

El análisis computarizado, especialmente mediante métodos de elementos finitos como el incremento de gravedad y la reducción de resistencia, contribuye al avance del conocimiento para diseñar de manera eficiente y realista. En este contexto, se enfocó en la forma en que se comportan los suelos, explorando diversas metodologías a razón de analizar a los taludes según su estabilidad (Zhang, Li, Han, Chen, & Wang, 2022).

### **3.2.2 Falla en el talud**

Las fuerzas gravitatorias se incrementan gradualmente en el momento que el talud se sienta, donde los factores de seguridad logran ser descritos como el vínculo presente en la aceleración gravitacional en la falla ( $g_f$ ) y la aceleración gravitacional actual ( $g$ ). Este enfoque se aplica al estudio de la estabilidad de terraplenes durante la construcción. Por otro lado, uno de los métodos reductores de resistencia logra ser empleado a fin de analizar a los taludes existentes según su estabilidad. Aunque los métodos de elementos finitos los cuales ayudan a resolver en taludes problemas de estabilidad, están en constante desarrollo y evaluación, representan una herramienta computacional que simula comportamientos físicos sin simplificaciones excesivas, proporcionando resultados más precisos y confiables (Domenech, Alvioli, & Corominas, 2020).

**Figura 1***Mapa de deslizamiento*

*Nota.* La imagen muestra las zonas afectadas y cada color define su gravedad, Tomado de Domenech, et al (2020).

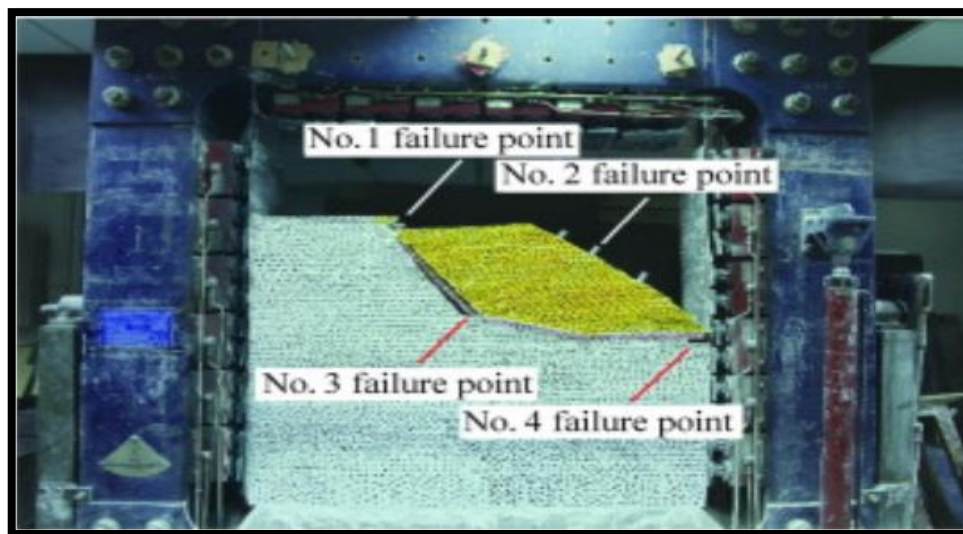
### 3.2.3 Factores en la inestabilidad de taludes

#### La litología.

Desde la perspectiva litológica, se clasifican los materiales según su origen o formación, dividiéndose en dos grupos distintos: la roca y el suelo. Al momento en que el talud logra estar compuesto por diversos tipos de roca, su comportamiento geotécnico de la agrupación difiere del material de forma separada. En otras palabras, la litología presente en el material flotante y su grado de alteración condicionan sus propiedades físico-mecánicas, y consecuentemente, su estabilidad potencial. Este comportamiento varía entre diferentes materiales, incluso cuando son sometidos a factores de igual intensidad. Los parámetros de resistencia dependen de cómo está conformada meteorológicamente y de la cimentación, intercambio, forma, tamaño y textura de cada partícula, constituyendo al sedimento o roca. Dado ello, componentes como los segmentados, con presencia de granos finos (limos, arcillas o arena limo arcilla), o con un extenso espectro de granulometría (derrumbe de laderas) tienden ser propensos a deslizarse desde un punto de vista litológico (Tao, et al., 2020).

## Figura 2

*Modelo de deslizamiento a escala en laboratorio*



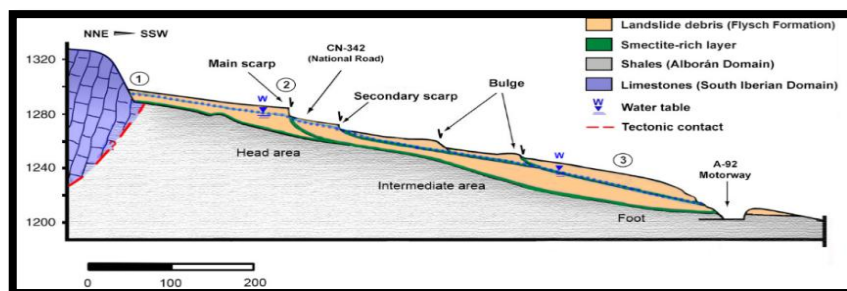
*Nota.* La figura muestra el cómo se desarrolla el deslizamiento y separación de suelos simulando un deslizamiento de talud, Tomado de Tao, et al (2020).

### **La estructura geológica.**

Considerar la estabilidad implica analizar el vínculo y fusión entre las disposiciones geométricas de los componentes expuestos y la altura, pendiente y orientación de las laderas naturales (estructura geológica). Dado este contexto, es necesario examinar la presencia de discontinuidad, como el plano estratigráfico, esquistosidad, diaclasas y fallas, prestando atención a la forma en que se inclina, orienta, morfología, naturaleza, densidad y número. Dichas particularidades son especialmente relevantes dentro del caso de materiales rocosos como calicatas y areniscas. Además, dichas condiciones pueden verse afectadas tras la circulación de agua infiltrada por medio de las discontinuidades, estas tienden a comportarse como superficie de desprendimiento durante periodos de lluvia (Castro, Asta, Galve, & Azañón, 2020).

**Figura 3**

*Idealización de deslizamiento con presencia de agua*



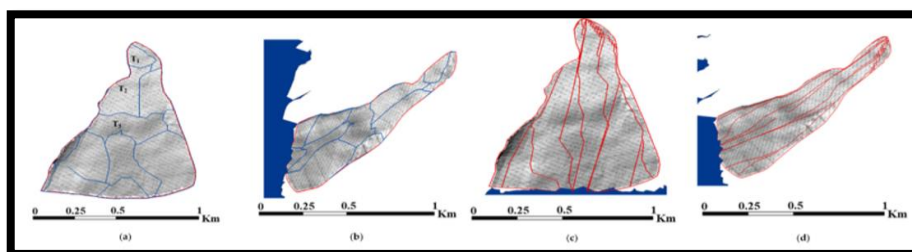
*Nota.* Se observa en la figura el deslizamiento efectuado con presencia de agua y las características de ello. Tomado de Castro, et al (2020).

### La geomorfología.

A razón de desarrollar el modelo de cómo se comportan los taludes, es crucial examinar su punto geomorfológico, al igual que el impacto en los procesos inestables. Tanto el proceso actual como los del pasado sirven como base para comprender los eventos futuros. Las condiciones geomorfológicas actuales desempeñan un papel fundamental al ser analizada la posibilidad de deslizamientos, ya que uno de los procesos de vertientes son una de las partes integrales del proceso dinámico y actúa en forma de variable clave la cual controla la manera en que evolucionan los paisajes (Wang, Xu, Zhang, Wei, & Xie, 2020).

**Figura 4**

*Modelamiento de la geomorfología del deslizamiento*



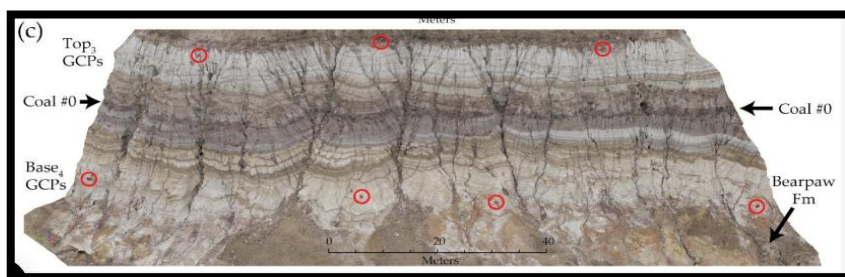
*Nota.* Se observa en la figura el modelamiento de la geomorfología del deslizamiento, Tomado de Wang, et al (2020).

## Pendiente y relieve

La inclinación en la topografía y la altitud de las laderas logran ser determinantes para propiciar la propagación de deslizamientos, ya que influyen en la inestabilidad de los materiales. A través de terrenos uniformes, la tipología en los materiales presentará elevaciones críticas y ángulos máximos, por medio de ellos se desencadenará el denominado desequilibrio gravitacional que podría llevar a una posible ruptura. Sin embargo, en áreas altamente con humedad, la morfología no necesariamente debe ser abrupta para el material arcilloso, ya que al saturarse puede producir un movimiento rápido, como flujos, con una velocidad sustancial (Nesbit, Hubbard, & Hugenholtz, 2022).

### Figura 5

*Pendientes elevadas en taludes*



*Nota.* Se observa la pendiente de un talud con su pie y corona, Tomado de Nesbit, et al (2022).

## Clima e hidrología

Durante la temporada de lluvias, los taludes experimentan impactos debido a la saturación de los suelos que los constituyen. Esto resulta en la crecida de los pesos en la masa, la reducción en el punto resistente a esfuerzos cortantes y el medio erosivo de las superficies expuestas. La entrada de agua sobre cada grieta del talud genera un aumento sobre las fuerzas aplicadas o el surgimiento de fuerzas filtrantes, lo que podría desencadenar su falla.

## Cargas externas

En el talud la imposición de cargas en su parte superior, resulta sobre la masa de suelo en un incremento de las fuerzas ejercidas, lo que podría resultar en las fallas de los

taludes si las cargas no logran ser gestionadas o consideradas adecuadamente en el transcurso al ser examinada su estabilidad.

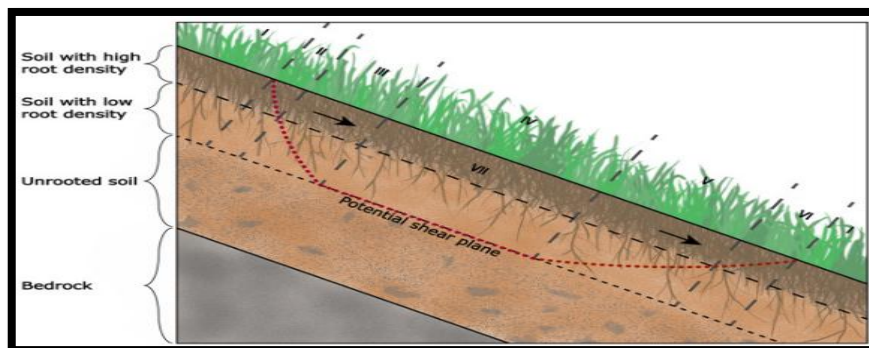
### 3.2.4 Influencia de la vegetación en la estabilidad del talud

#### Vegetación

La utilización de vegetación emerge como una solución efectiva para el alcance de mejoras en los taludes sobre su estabilidad. La presencia de vegetación en los taludes contribuye a diversos aspectos que contrarrestan los riesgos de deslizamientos y promueven la estabilidad del terreno con pendientes. Además, la planificación cuidadosa y al ser implementada medidas que prevengan la erosión inicial durante la fase de construcción son fundamentales para el aseguramiento del éxito con el transcurrir del tiempo de la vegetación como solución a la estabilidad de taludes (Lobmann, Geitner, Wellstein, & Zerbe, 2020).

#### Figura 6

*Presencia de vegetación en taludes*



*Nota.* La figura muestra la profundidad de las raíces que afecta la vegetación con raíces de poca profundidad, Tomado de Lobmann, et al (2020).

#### Plantas herbáceas.

Las plantas herbáceas, también conocidas como hierbas, son distribuidas en todo el mundo gracias a su capacidad para adaptarse a diversos climas y zonas. Se caracterizan por carecer de tallos leñosos en comparación con árboles y arbustos, presentando hojas y tallos de color verde, y en algunas ocasiones, floraciones terminales. Estas plantas herbáceas desempeñan un papel esencial en la estabilización de taludes al fortalecer el

suelo, controlar la erosión, absorber el exceso de agua y proporcionar una cobertura rápida. Su habilidad de adaptarse y establecerse de manera veloz las convierte en una opción valiosa para el alcance de mejoras en los taludes sobre su estabilidad en diversas condiciones (Bordoloi & Wai, 2020).

### Figura 7

*Efecto de las plantas herbáceas en taludes*



*Nota.* Se muestra raíces de plantas herbáceas, Tomado de Bordoli y Wai (2020).

Las plantas herbáceas son aquellas que tienen un tallo blando y flexible, a diferencia de las plantas leñosas que poseen un tallo duro y leñoso. Aquí te presento algunas características clave de las plantas herbáceas:

*Tallo blando:* Su tallo es generalmente suave y no se lignifica, lo que les da una estructura más flexible.

*Crecimiento rápido:* Suelen tener un crecimiento más rápido en comparación con las plantas leñosas, lo que les permite adaptarse rápidamente a su entorno.

*Ciclo de vida corto:* Muchas plantas herbáceas son anuales o bienales, lo que significa que completan su ciclo de vida en uno o dos años.

*Hojas:* Las hojas suelen ser grandes y verdes, lo que les permite realizar la fotosíntesis de manera eficiente.

*Raíces:* Tienen sistemas radiculares que pueden ser superficiales o profundos, dependiendo de la especie y el entorno en el que crecen.

*Diversidad:* Incluyen una amplia variedad de especies, desde hierbas comunes hasta flores ornamentales y cultivos agrícolas.

*Reproducción:* Pueden reproducirse tanto sexual como asexualmente, utilizando

semillas o esquejes.

*Adaptabilidad:* Muchas especies son altamente adaptables a diferentes condiciones ambientales, lo que les permite colonizar diversos hábitats.

### **3.2.5 Métodos para determinar la estabilidad de taludes**

#### ***Método heurístico***

Se fundamentan en el conocimiento previo de las prioridades de cada factor que genera puntos inestables de la zona que se desee estudiar. Cada uno de ellos se organizan y ponderan de acuerdo con su importancia atribuida o anticipada dentro de la ocurrencia de deslizamientos. A fin de analizar ello, se realiza a través de la examinación del deslizamiento en su estado susceptible. Un método heurístico para ser evaluado el talud según su estabilidad implica la aplicación de reglas prácticas y la experiencia del ingeniero, en lugar de depender exclusivamente de cálculos precisos. Es crucial destacar que, aunque los enfoques heurísticos ofrecen una evaluación rápida, no sustituyen la necesidad de análisis detallados y cuantitativos en situaciones críticas. La experiencia y el juicio del ingeniero son esenciales para el éxito de este enfoque (Volpe, Gariano, Ardizzone, Fiorucci, & Salciarini, 2022).

#### ***Método de Bishop simplificado***

Método que comprende una técnica clásica para ser analizado en los taludes su estabilidad dentro de la ingeniería geotécnica. Se emplea con el fin de conocer el factor de seguridad de un talud en función de diversos parámetros, como la geometría del talud, las propiedades del suelo y las cargas aplicadas (Ma, Zhao, Zhang, & Xiao, 2021).

***Método de Sarma.*** Método que determina la aceleración sísmica, considerando a la masa de terreno en “n” franjas verticales de poco espesor, necesario para lograr el equilibrio límite (Kc). Este método se fundamenta en el principio de equilibrio límite en traslación horizontal y vertical y en la ecuación de equilibrio de momentos (Harabinova, Kotrasova, Kormanikova, & Hegedusova, 2021).

Condiciones de equilibrio en traslación horizontal y vertical:

$$N_i \cos \alpha_i + T_i \sin \alpha_i = W_i - \Delta X_i$$

$$T_i \cos \alpha_i - N_i \sin \alpha_i = KW_i + \Delta E_i$$

Donde:

$T_i$  : Esfuerzo Tangencial

$N_i$  : Esfuerzo normal

$W_i$  : Peso

$X_i$  : Fuerzas verticales

$E_i$  : Fuerzas Horizontales

$K_i$  : Aceleración

Se asume que la sumatoria de fuerzas horizontales y verticales es igual a cero por ausencia de fuerzas externas en la superficie.

#### ***Ecuaciones de equilibrio de momentos***

$$\begin{aligned} \sum \Delta X_i \tan(\Psi'_i - \alpha_i) + \sum \Delta E_i &= \sum \Delta_i - K \sum W_i \\ \sum \Delta X_i [(y_{mi} - y_g) \tan(\Psi'_i - \alpha_i) + (x'_i - x_g)] \\ &= \sum W_i (x_{mi} - x_g) + \sum \Delta_i (y_{mi} - y_g) \end{aligned}$$

#### ***Esfuerzos principales normal (esfuerzo axial)***

Son esfuerzos normales que accionan encima de una superficie donde estos miembros del esfuerzo cortante son nulos es decir igual a cero.

También podemos decir que el esfuerzo normal la resultante de las tensiones perpendiculares a la sección transversal y es una fuerza multiplicada por la unidad de un área que sostiene una masa, calculando la formula  $\sigma = P/A$ , donde P es la magnitud de la fuerza y A es el área donde esta aplicada cuya unidad de medida es N/m<sup>2</sup> (newton/metro cuadrado) o también es Pa. (pascales).

Esfuerzo normal máximo se da en una ruptura debido a que el esfuerzo máximo tiene un mínimo valor, en tipo de esfuerzo esta comprensión, tracción, flexión, torsión, cortante.

### ***Modificación del contenido de humedad***

se refiere a la relación entre el peso del agua y el peso de las partículas sólidas del suelo, y se expresa en porcentaje. Es interesante notar que puede variar bastante, desde 0 hasta valores muy altos, dependiendo de las condiciones del lugar. Además, su capacidad de retención de humedad puede cambiar rápidamente, lo que significa que el suelo puede absorber agua en minutos u horas, pero el proceso de secado puede ser mucho más lento, tomando semanas o incluso meses.

Los factores que influyen en el contenido de humedad incluyen el clima, el tipo de terreno y la vegetación presente, lo que hace que cada situación sea única. Para medirlo, se pueden utilizar diferentes métodos, desde análisis directos en campo hasta técnicas más avanzadas como sensores o el método termogravimétrico. Es crucial entender el contenido de humedad porque afecta propiedades importantes del suelo, como su peso, densidad y conductividad eléctrica.

### ***Modificación del Contenido de Humedad en Taludes***

El contenido de humedad en taludes afecta su estabilidad y comportamiento. Un aumento en la humedad puede reducir la cohesión del suelo, aumentando el riesgo de deslizamientos. La gestión adecuada del contenido de humedad es esencial para prevenir fallas en taludes, especialmente en áreas propensas a lluvias intensas o cambios estacionales.

#### *Métodos de Modificación:*

- Drenaje: Implementar sistemas de drenaje para reducir el agua en el suelo. Esto puede incluir zanjas, tuberías de drenaje o sistemas de drenaje superficial.
- Revegetación: Plantar vegetación en taludes puede ayudar a absorber el agua y estabilizar el suelo, además de mejorar la cohesión del terreno.
- Uso de Geotextiles: Los geotextiles pueden ayudar a controlar la erosión y gestionar el agua en la superficie del talud.
- Aditivos: En algunos casos, se pueden utilizar aditivos químicos para modificar las propiedades del suelo y mejorar su capacidad de retención de humedad.

*Monitoreo:*

Es fundamental realizar un monitoreo continuo del contenido de humedad en taludes, utilizando sensores y técnicas de medición para detectar cambios que puedan afectar la estabilidad.

***Reforzamiento mecánico del suelo***

es una técnica utilizada en ingeniería geotécnica para mejorar la estabilidad de pendientes o taludes. Esta técnica implica la incorporación de elementos estructurales, como anclajes, geogrietas, mallas metálicas o sistemas de refuerzo, que ayudan a aumentar la resistencia del suelo y prevenir deslizamientos o colapsos.

Existen diferentes métodos de reforzamiento mecánico, entre los cuales se incluyen:

*Anclajes:* Se instalan cables o varillas en el suelo que se fijan a estructuras más estables, proporcionando soporte adicional.

*Geogrietas y geotextiles:* Se utilizan para distribuir las cargas y mejorar la cohesión del suelo, además de estabilizar la superficie.

*Muros de contención:* Estructuras construidas para soportar el terreno detrás de ellas y evitar el deslizamiento.

*Terraplenes y rellenos:* Se pueden utilizar materiales compactados para crear una base más estable.

*Drenaje:* La gestión adecuada del agua es crucial; se implementan sistemas de drenaje para reducir la presión del agua en el suelo.

El objetivo principal del reforzamiento mecánico es aumentar la seguridad y durabilidad de los taludes, especialmente en áreas propensas a deslizamientos debido a factores como la lluvia, erosión o actividad sísmica.

**3.2.6 Descripción de ensayos y caracterización de muestras**

Los ensayos dependen en mayor longitud de las medidas de muestreo in-situ para lograr con los resultados reales del suelo, el tipo de muestreo debe realizarse de acuerdo al tipo de información que se requiera extraer del suelo.

### **Análisis granulométrico.**

Para llevar a cabo el análisis granulométrico, se aplicarán las normas NTP 400.012 y NTP 400.018. La primera norma se utilizará para calcular la distribución porcentual de partículas que atraviesan los tamices desde el N°4 hasta el N°200. Mientras que la segunda norma se emplea para determinar la distribución porcentual de las partículas que superen el tamiz N°200. El análisis granulométrico en suelos es un procedimiento utilizado en la geotecnia y en el ámbito ingenieril con el fin de conocer los tamaños distribuidos de partículas en las muestras del suelo. Este análisis es vital para la comprensión de las propiedades físicas y mecánicas presentes en el suelo, así como su comportamiento en diversas aplicaciones de ingeniería. La distribución granulométrica proporciona información sobre la proporción relativa de partículas de diferentes tamaños presentes en una muestra de suelo (*Cherif, Mahmoudi, Azaiez, & Belkhatir, 2023*).

### **Límites de Atterberg**

Estos límites presentes en la mecánica de suelos son propiedades que definen su comportamiento vinculado al contenido de agua. Además, logran ser indicadores importantes que ayudan a clasificar y comprender el comportamiento del suelo en distintas condiciones. Los límites de consistencia más comunes son los límites líquidos, plástico y de contracción.

### **Contenido de humedad**

Dicho parámetro dentro de la mecánica de suelos se refiere a la medida de agua presente en una muestra de suelo al ser comparada por medio de su peso seco. Este parámetro es crucial en la caracterización de los suelos, ya que el contenido de humedad afecta significativamente al suelo en sus propiedades físico-mecánicas, así como la forma en que se comporta tras diversas aplicaciones de ingeniería geotécnica (*Mohamed, Ali, Shirbeny, Abutaleb, & Shaddad, 2020*).

Para llevar a cabo esta medición, se seguirán los protocolos establecidos en la norma MTC E 108, la cual detalla los procedimientos, equipos e insumos requeridos para la realización del ensayo en un entorno de laboratorio. La fórmula empleada con el fin de

calcular el contenido de humedad será la adjunta:

$$W = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso seco del suelo}} \times 100$$

Donde:

W = Contenido de humedad en %

Según la norma E.080, se sugiere que el contenido de humedad no debería exceder el 20%.

### ***Clasificación de suelo.***

Es clasificado el suelo de acuerdo al SUCS es un sistema estándar utilizado en ingeniería geotécnica para categorizar y describir diferentes tipos de suelos. Este sistema proporciona una forma consistente de comunicar las particularidades de los suelos en correspondencia a sus propiedades de grano y su comportamiento bajo condiciones específicas. La clasificación SUCS se enfoca en distribuir los tamaños de los granos y en la plasticidad del suelo (Almeida, Lopes, Cortês, & Rodrigues, 2022).

### ***Corte directo***

Es uno de los ensayos o prueba común en mecánica de suelos que se emplea a razón de hallar en el suelo su resistencia al corte bajo condiciones específicas. Este ensayo es particularmente útil para suelos cohesivos y se realiza típicamente en muestras no consolidadas no drenadas o consolidadas no drenadas, dependiendo de las condiciones del suelo y del propósito de la prueba.

### ***Ángulo de fricción y coeficiente de cohesión***

El ángulo de fricción interna nos indica el ángulo máximo en el cual el suelo puede mantener su pendiente mientras que el coeficiente de cohesión indica el valor gradual adherente presente en el suelo sobre sus partículas, lo cual nos permite definir la permeabilidad existente; dichos parámetros son fundamentales a la hora de estabilizar un talud y se calculan en base a los resultados del estudio por corte directo y el ensayo de compresión no confinada (Zhang, et al., 2021).

Si bien es cierto, tenemos que tener como consideración que para casos prácticos

no se considera suelos cohesivo-friccionante; sino que al contener mayor valor de  $c$ , se considera suelo cohesivo y se desprecia la fricción considerándolo  $\phi = 0$  y si  $\phi$  es mayor, se considera suelo friccionante con una cohesión despreciable de  $c = 0$ ; no obstante, al realizar un análisis completo para llegar a esta conclusión de si es un suelo cohesivo, es necesario calcular ambos parámetros (Zhang, et al., 2021). En base al estudio por corte directo:

Primero se determina el contenido de humedad, la densidad natural y la densidad seca para cada una de las probetas que se vayan a analizar:

$$CH(\%) = \frac{\text{Peso de la muestra} - \text{Peso de la muestra seca}}{\text{Peso de la muestra seca}}$$

$$\gamma_{nat} = \frac{\text{Peso de la muestra}}{\text{Volumen}}$$

$$\gamma_{seca} = \frac{\gamma_{nat}}{1 + CH(\%)}$$

La deformación unitaria se determina con la relación deformación tangencial y lado de la muestra.

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L}$$

El esfuerzo cortante proviene del vínculo relacionado a la fuerza cortante y al área corregida:

$$\tau = \frac{F}{A'}$$

Para una sección rectangular el área corregida se determina en base a:

$$A' = BL(1 - \varepsilon)$$

Por último, se grafica el “esfuerzo normal vs esfuerzo cortante”:

### **Factor de seguridad**

El factor de seguridad en taludes es un concepto fundamental en la ingeniería geotécnica y se utiliza para evaluar la estabilidad de un talud, que puede ser natural (como una ladera) o artificial (como un terraplén). El factor de seguridad (FS) se define como la relación entre las fuerzas que estabilizan el talud y las fuerzas que tienden a desestabilizarlo. La fórmula general para calcular el factor de seguridad es:

$$\mathbf{FS= F estabilizadoras/F desestabilizadoras}$$

### **3.3 Definición de términos**

#### **3.3.1 *Ángulo de fricción***

Es uno de los ángulos entre la línea de tendencia del estudio por corte directo y la envolvente de falla, este es una propiedad que depende de la homogeneidad, diámetro y geometría de distribución de partículas en el suelo (Castro, Asta, Galve, & Azañón, 2020).

#### **3.3.2 *Arcilla***

Es un tipo de suelo que posee propiedades plásticas cuando se encuentra con el agua y posee una resistencia alta al secarse (Almeida, Lopes, Cortês, & Rodrigues, 2022).

#### **3.3.3 *Coefficiente de cohesión***

Es la representación numérica de la capacidad de adherencia que posee un suelo en sus partículas componentes (Zhang, et al., 2021).

#### **3.3.4 *Compresión***

Proceso en el cual se le aplican dos fuerzas de igual magnitud a un cuerpo, reduciendo su volumen, hasta llegar a la falla (Almeida, Lopes, Cortês, & Rodrigues, 2022).

#### **3.3.5 *Esfuerzo***

Es la resistencia que el cuerpo ofrece cuando es sometido a cualquier tipo de fuerza (Almeida, Lopes, Cortês, & Rodrigues, 2022).

#### **3.3.6 *Estabilización del suelo***

Proceso mediante el cual un suelo adquiere propiedades de resistencia a las cargas que se le apliquen como también al efecto de las condiciones atmosféricas, logrando evitar grandes deformaciones (Castro, Asta, Galve, & Azañón, 2020).

#### **3.3.7 *Plasticidad.***

Propiedad mediante la cual un cuerpo puede lograr deformarse sin quebrarse, pero esa deformación es limitada (Castro, Asta, Galve, & Azañón, 2020).

#### **3.3.8 *Propiedades Mecánicas***

Es el comportamiento que un cuerpo adquiere luego de ser afectado por alguna fuerza externa (Almeida, Lopes, Cortês, & Rodrigues, 2022).

### **3.3.9 Raíz**

Es el órgano de los vegetales encargado de otorgarle agua y sales minerales para la producción de sus nutrientes. Esta se encuentra situado por lo general en la parte inferior del suelo bajo tierra. Pueden alcanzar grandes distancias a lo largo de los años y llegan a ser muy resistentes (Bordoloi & Wai, 2020).

### **3.3.10 Suelo**

Son los sedimentos no consolidados producto de la erosión y transporte de otros suelos por acción del viento y el agua, el cual puede tener o no componentes orgánicos, los cuales pueden ser clasificados mediante SUCS o AASHTO y sobre los cuales se realizan la mayoría de edificaciones (Bordoloi & Wai, 2020).

### **3.3.11 Talud**

Es la pendiente de una superficie que garantiza la resistencia a las fuerzas internas que producen los suelos que se encuentran en contacto con el mismo (Nesbit, Hubbard, & Hugenholtz, 2022).

### **3.3.12 Tamaño Máximo**

Es el tamaño inmediato superior del agregado que se tiene como requerimiento, el cual se obtiene mediante el ensayo granulométrico (Nesbit, Hubbard, & Hugenholtz, 2022).

### **3.3.13 Tracción**

Proceso en el cual se le aplica dos fuerzas opuestas tratando de estirar un cuerpo, hasta llegar a la falla (Zhang, et al., 2021).

### **3.3.14 Vegetación**

Es la flora que cubre la superficie del suelo, el cual puede abarcar desde hierbas hasta grandes manglares (Bordoloi & Wai, 2020).

### **3.3.15 Plantas Herbáceas**

Es hierba con tallos verdes y que no presentan órganos leñosos (Bordoloi & Wai, 2020).

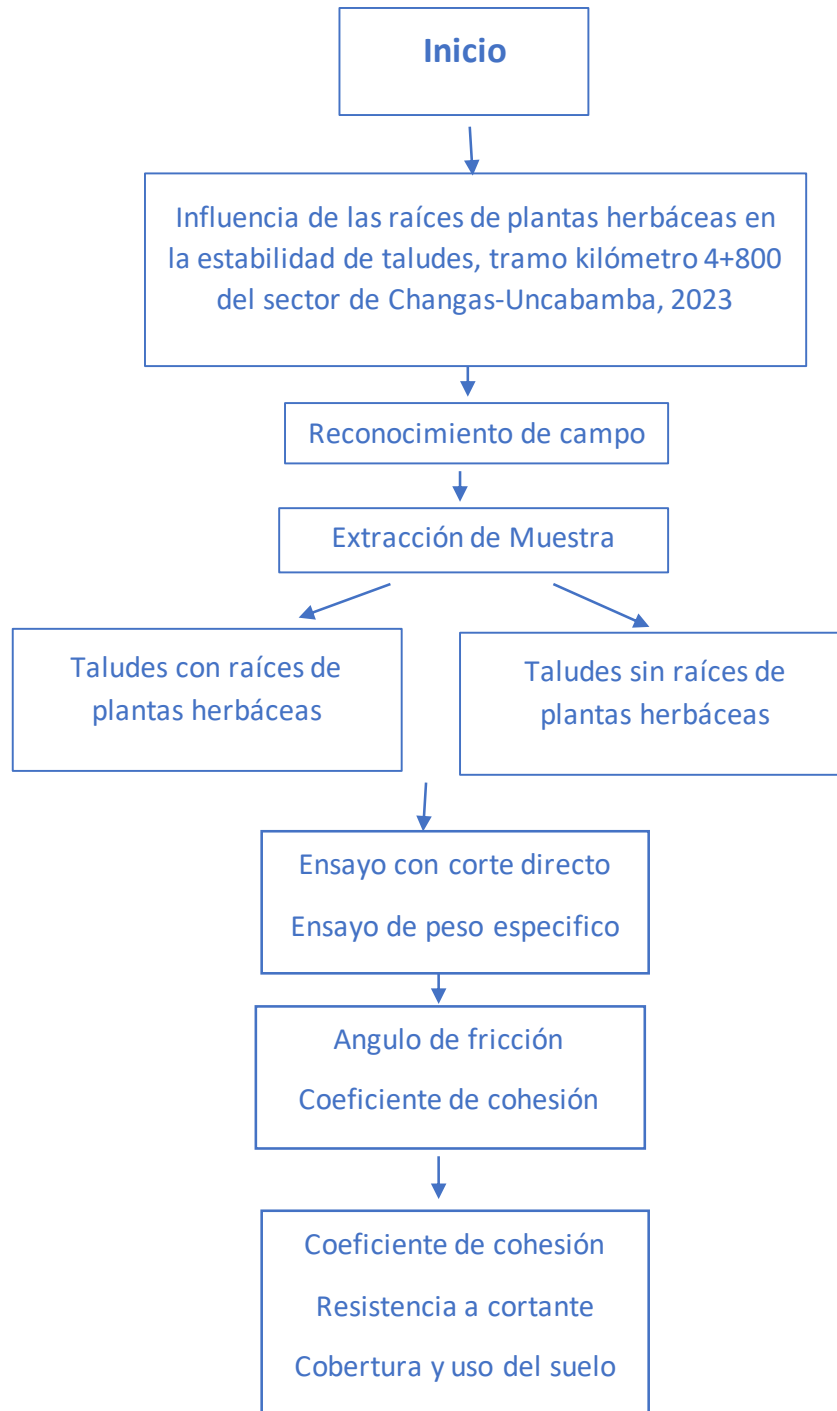
## **IV. Metodología**

### **4.1 Tipo y nivel de investigación**

La tesis, en correspondencia a las particularidades que presenta, fue de tipo básico, esto porque se realizó una recopilación de información y datos con la finalidad de obtener una correlación entre las variables que se analizan y cuantifican, todo ello en base a pruebas o ensayos (Fernández, Purihuaman, López, & Sánchez, 2021).

La tesis de nivel descriptivo se caracterizó por describir de manera detallada los fenómenos o situaciones que manifiesta el objeto en estudio, es decir, a través de este nivel se midió o recogió la información sobre las variables de interés (Hadi, Martel, Huayta, Rojas, & Arias, 2023). Por ello la tesis fue del nivel descriptivo con implicancias correlacionales ya que el objetivo se centró en medir al suelo estabilizado con las raíces de las plantas *herbáceas* sus propiedades mecánicas en el sector Changas-Uncabamba tramo km 04+800, distrito Circa, provincia Abancay.

El diseño de investigación de la tesis fue no experimental y transversal. Se clasificó como no experimental porque se llevó a cabo en un entorno natural sin manipular las variables, y se considera transversal ya que el estudio de la zona se realizó en un momento específico, por ello no se realizó un análisis estadístico. (Fernández, Purihuaman, López, & Sánchez, 2021).

**Figura 8***Flujograma de la tesis*

*Nota.* Elaboración propia.

## **4.2    Ámbito temporal y espacial**

La tesis se desarrolla en un ámbito temporal del año 2023 al 2024 y en un ámbito espacial del sector Changas-Uncabamba tramo km 4+800, distrito Circa, provincia Abancay, departamento de Apurímac.

## **4.3    Población y muestra**

### **4.3.1   Población**

Estuvo conformada por la totalidad de partículas del talud del sector Changas-Uncabamba tramo km 4+800, distrito Circa, provincia Abancay, se hizo el proceso de muestreo, para obtener muestras homogéneas y representativas del talud.

### **4.3.2   Muestra**

- La muestra considerada fue el material extraído de diferentes alturas del talud en sector Changas-Uncabamba tramo km 04+800 al tramo km 04+870, para los dos grupos de ensayos (corte directo y compresión simple), se determinó la cohesión y el ángulo de fricción, a su vez se midió las características y su influencia en las propiedades del suelo, obteniendo estos datos que se modelaron en el software SLIDE para medir la estabilidad del talud por medio del factor de seguridad.

### **4.3.3   Muestreo**

El método de muestreo fue no probabilístico ya que se seleccionaron los puntos de calicata más representativos, en los cuales se llevó a cabo la obtención de muestras y la validación de la hipótesis.

## **4.4    Instrumentos**

### **4.4.1   Técnicas**

La tesis tuvo un carácter descriptivo, por lo cual se realizó una documentación del tipo analítico, mediante formatos de tablas establecidas para la recolección de datos, esto permitió analizar de forma ordenada y precisa la validación de la hipótesis, además de la observación directa debido a los ensayos que fueron aplicados en el suelo con el fin de conocer sus propiedades y los efectos en la estabilidad del talud.

#### 4.4.2 Instrumentos

Como instrumentos se usó guías de observación para la recolección y almacenamiento de datos que especialmente son brindadas en laboratorios las cuales están calibradas y validadas por un juicio de expertos, tales como:

Formato para recolección de datos de límite líquido. MTC E110

Formato para recolección de datos de límite plástico. MTC E111

Formato para recolección de datos de granulometría. MTC E107

Formato para recolección de datos del ensayo de corte directo. MTC E123

Formato para cálculo de ángulo de fricción interna. BRAJA M. DAS

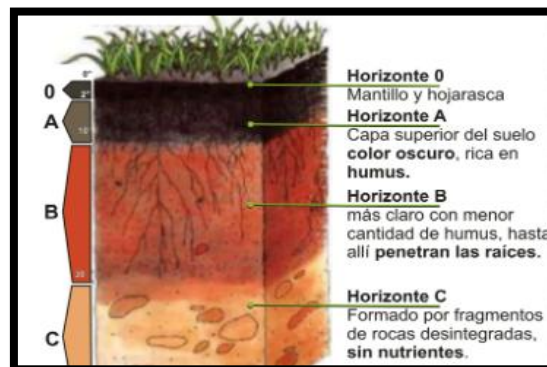
Formato para cálculo de cohesión no drenada. BRAJA M. DAS

#### 4.5 Procedimiento

La tesis tiene un carácter analítico, entre el talud estabilizado con presencia de raíces y sin presencia de raíces, afectando las capas horizonte O, horizonte A y parte del horizonte B, se realizaron los ensayos correspondientes en base a la normativa utilizada.

#### Figura 9

Capas del suelo



*Nota.* Las capas de suelo divididas en su horizonte.

#### 4.6 Análisis de datos

Todo el análisis y procesamiento de los valores logrados se realizó mediante hojas de cálculo elaborados en el programa Ms Excel, los análisis estadísticos se realizaron con ayuda de las mismas hojas de cálculo, mediante la aplicación y presentación de Dashboard con presencia de tablas y gráficos estadísticos

#### **4.7 Consideraciones éticas**

El compromiso y la responsabilidad desempeñan un papel crucial en la presente tesis, incluyendo el apego al cronograma establecido, el seguimiento de las directrices normativas y las recomendaciones del asesor. El comité de ética vela por la vida, la integridad y el bienestar de todos los participantes en la tesis, al mismo tiempo que resguarda la propiedad intelectual de todo lo generado en el proyecto, además que se realizará un correcto citado de todo argumento que no sea de autoría propia y el documento tendrá un porcentaje de similitud mínima respecto a otras tesis siguiendo lo indicado por el reglamento de la universidad.

## V. Resultados y discusión

### 5.1 Resultados

- **Características de la zona**

- Talud

En el análisis de la zona se identificaron diversas alturas para el talud en evaluación que parten desde una altura menor de 4.20 hasta una máxima altura de 7.00 m, tal como se muestra en la tabla 02 y figura 09.

**Tabla 2**

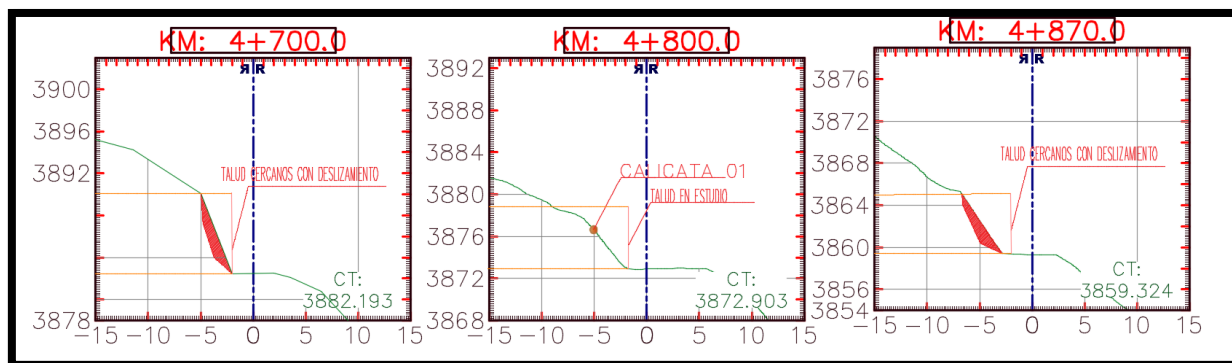
*Altura del talud*

Muestra (km)	Altura(m)	Muestra (km)	Altura(m)	Muestra (km)	Altura(m)
4+700	7.64	4+760	6.60	4+820	6.60
4+720	7.00	4+780	4.20	4+840	6.60
4+740	6.60	4+800	5.90	4+870	5.72

*Nota:* Elaboración propia

**Figura 10**

*Corte Transversal del talud en estudio*



*Nota.* Elaboración propia en el programa AutoCAD.

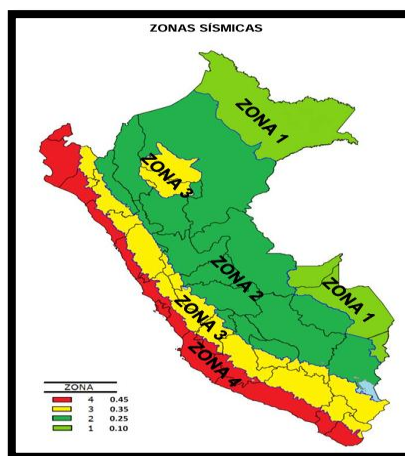
- Sismicidad de la zona

La ubicación de Uncabamba según el reglamento nacional de edificaciones RNE

E0.30 se cataloga como Zona 2 (0.25), peligro sísmico.

## Figura 11

Mapa de zona sísmica de Perú



Nota. Mapa de las zonas sísmicas divididas en colores, Tomado de RNE E0.30 (Perú, 2019).

- **Tipos de plantas:**

Se analizaron las diferentes plantas ubicadas en la zona las cuales posee las siguientes características:

**Tabla 3**

*Características de plantas en talud*

Tipo de planta	Longitud de tallo (cm)	Longitud de raíces (cm)
Chilca ( <i>Baccharis Latifolia</i> )	90	22
Ichu, paja brava o paja ichu ( <i>Stipa ichu</i> )	70	19
Trebol ( <i>Trifolium</i> )	27	29
Yunca rata rata ( <i>Trinfetta bogotensis</i> )	21	140
Yunca rata ( <i>Trinfetta bogotensis</i> )	15	35

Nota: Elaboración propia

En la tabla 03 se observan las diferentes plantas que crecen en la zona como la Chilca, Ichu, Trebol y Yunca rata de las cuales los tallos pueden llegar a medir con máximo 90 cm y mínimo de 15 cm, algunas de ellas crecen en alturas y otras se arrastran por la superficie del suelo, además que presentan raíces con una longitud mínima de 19cm y una longitud máxima de 140 cm.

- **Análisis de Calicatas**

Se realizó la extracción de 2 calicatas en la zona de estudio, dónde se extrajeron 4 muestras, 2 de ellas tienen presencia de raíces y 2 no presentan raíces con la finalidad de poder evaluar la influencia que tienen las diferentes raíces de plantas en las propiedades y estabilidad de un talud.

- Contenido de humedad

**Tabla 4**

*Contenido de humedad de C-1- h=0.50 con presencia de raíces*

<b>Características</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Peso de muestra humedad + cápsula (gr)	61	53	67	65
Peso de cápsula (gr)	23	19	23	23
Peso muestra seca horno (gr)	32	27	37	35
Contenido % humedad	18.75	25.93	18.92	20.00
Promedio (%)	<b>20.90</b>			

*Nota:* Elaboración propia

**Tabla 5**

*Contenido de humedad de C-1- h=1.00 sin presencia de raíces*

<b>Características</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Peso de muestra humedad + cápsula (gr)	57	72	67	64
Peso de cápsula (gr)	23	23	22	23
Peso muestra seca horno (gr)	31	45	41	37
Contenido % humedad	9.68	8.89	9.76	10.81
Promedio (%)	<b>9.78</b>			

*Nota:* Elaboración propia

**Tabla 6**

*Contenido de humedad de C-2- h=0.50 con presencia de raíces*

<b>Características</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Peso de muestra humedad + cápsula (gr)	62	64	69	67

Peso de cápsula (gr)	23	24	24	24
Peso muestra seca horno (gr)	33	35	39	37
Contenido % humedad	18.18	14.29	15.38	16.22
Promedio (%)	<b>16.02</b>			

Nota: Elaboración propia

**Tabla 7**

*Contenido de humedad de C-2- h=1.00 sin presencia de raíces*

<b>Características</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Peso de muestra humedad + cápsula (gr)	63	61	60	57
Peso de cápsula (gr)	23	23	23	24
Peso muestra seca horno (gr)	35	33	33	29
Contenido % humedad	14.29	15.15	12.12	13.79
Promedio (%)	<b>13.84</b>			

Nota: Elaboración propia

**Tabla 8**

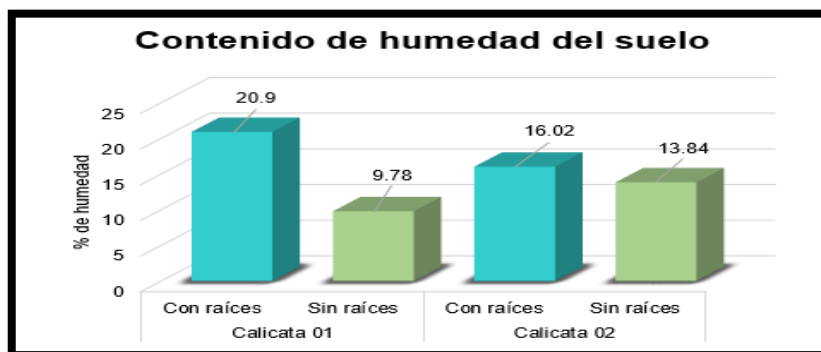
*Resumen del contenido de humedad del suelo*

<b>Calicata</b>	<b>Contenido de humedad</b>
C-1- h:0.50 (con raíces)	20.9
C-1- h:1.00 (sin raíces)	9.78
C-2- h:0.50 (con raíces)	16.02
C-2- h:1.00 (sin raíces)	13.84

Nota: Elaboración propia

**Figura 12**

*Gráfico del contenido de humedad del suelo*



Nota. Elaboración propia en el programa Excel.

En la tabla 8 y figura 11 se observa la variación del contenido de humedad del suelo con presencia de raíces y sin presencia de ellas, en la calicata N°01 con presencia de raíces el contenido de humedad es de 20.9% y sin raíces disminuye a un 9.78%, de la misma manera sucede en la calicata N°02 dónde alcanza un valor de 16.02% con presencia de raíces y sin raíces un valor de 13.84%, de los resultados se observa que efectivamente la presencia de raíces en el suelo genera un incremento de humedad de manera significativa.

- Cohesión

**Tabla 9**

*Ensayo de cohesión del suelo*

Calicata	Ángulo de fricción interna	Cohesión
C-1- h:0.50 (con raíces)	16.0	0.0
C-1- h:1.00 (sin raíces)	16.0	0.0
C-2- h:0.50 (con raíces)	16.0	0.0
C-2- h:1.00 (sin raíces)	16.0	0.0

*Nota:* Elaboración propia

En la tabla 9 se observa que la presencia de raíces o la ausencia de esta en ambas calicatas no ha generado algún cambio, ya que los resultados son iguales de 0.0 como valor de cohesión.

- Resistencia al corte

**Tabla 10**

*Ensayo de corte directo en el suelo calicata 01*

Características	Calicata 01					
	Muestra 01		Muestra 02		Muestra 03	
	Con raíz	Sin raíz	Con raíz	Sin raíz	Con raíz	Sin raíz
Desplazamiento horizontal (mm)	2.5	2.35	2.37	2.59	2.33	2.54
Deformación unitaria (mm)	4.916	4.621	4.661	5.093	4.582	4.995
Deformación vertical (mm)	25.937	25.938	25.94	26.48	25.938	25.944
Área (mm <sup>2</sup> )	2030.82	2030.82	2030.82	2030.82	2030.82	2030.82
Fuerza máxima (N)	81.8	138.6	108	129.6	134.4	143.2
Esfuerzo máximo (MPa)	0.04	0.068	0.053	0.064	0.066	0.071

Nota: Elaboración propia

**Tabla 11**

*Ensayo de corte directo en el suelo calicata 02*

Características	Calicata 02					
	Muestra 01		Muestra 02		Muestra 03	
	Con raíz	Sin raíz	Con raíz	Sin raíz	Con raíz	Sin raíz
Desplazamiento horizontal (mm)	2.36	2.42	2.59	2.4	3.28	2.59
Deformación unitaria (mm)	4.641	4.759	5.093	4.72	6.431	5.093
Deformación vertical (mm)	25.938	25.939	25.938	25.959	25.937	26.175
Área (mm <sup>2</sup> )	2030.82	2030.82	2030.82	2030.82	2030.82	2030.82
Fuerza máxima (N)	204	179	154.8	137.2	173.4	143.8
Esfuerzo máximo (MPa)	0.1	0.088	0.076	0.068	0.085	0.071

Nota: Elaboración propia

**Tabla 12**

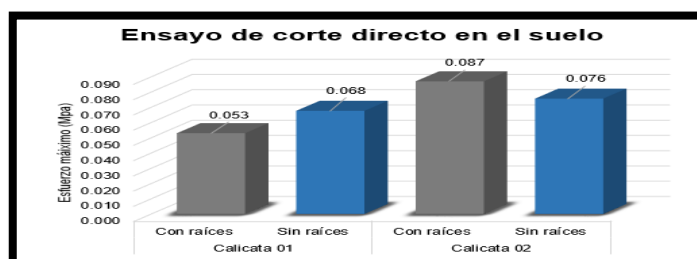
*Resumen del corte directo del suelo*

Calicata	Esfuerzo máximo del suelo (MPa)
C-1- h:0.50 (con raíces)	0.053
C-1- h:1.00 (sin raíces)	0.068
C-2- h:0.50 (con raíces)	0.087
C-2- h:1.00 (sin raíces)	0.076

Nota: Elaboración propia

**Figura 13**

*Gráfico del ensayo de corte directo del suelo*



Nota. En la figura se observa las muestras con raíces y sin raíces y su factor de seguridad. Elaboración propia en el software Excel con datos extraídos del ensayo de corte directo.

En la tabla 12 y figura 12 se observa un esfuerzo de carga variado en la calicata 1 y 2, la calicata N°01 experimenta un valor de 0.053 MPa con presencia de raíces y sin

presencia de esta el valor se incrementa hasta un 0.068 MPa, por otro lado, la calicata experimenta una condición inversa, ya que con raíces el valor es máximo de 0.087 MPa y sin raíces este valor decrece hasta un 0.076 MPa, por lo que sí existe una variación en resistencia del suelo con la presencia de raíces.

- **Estabilidad**

- Factor de seguridad

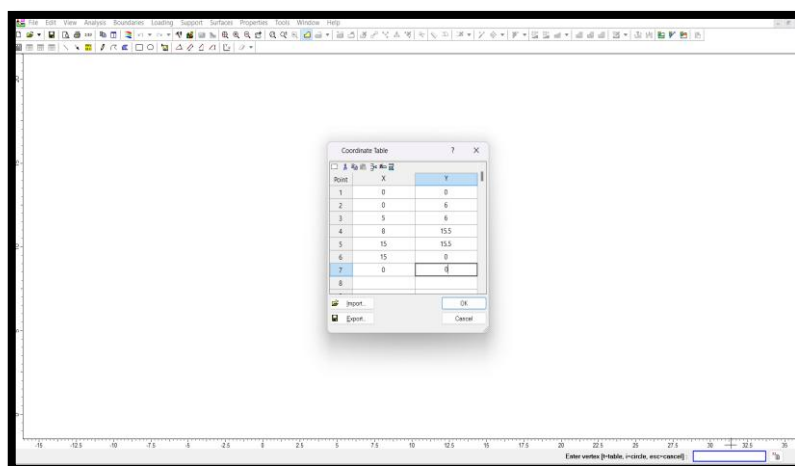
Con el software SLIDE se logra demostrar la influencia que tiene un suelo con presencia de raíces y también de un solo natural, con el fin de evaluar su factor de seguridad y demostrar la estabilidad del talud, en ese sentido es que se muestran las siguientes consideraciones:

Calicata 01: Con presencia de raíces

En el software se colocan las consideraciones de ubicación correspondientes del talud en estudio con ubicación en “X” y “Y”, además de las consideraciones del suelo como corte directo como se observa en las imágenes siguientes:

### Figura 14

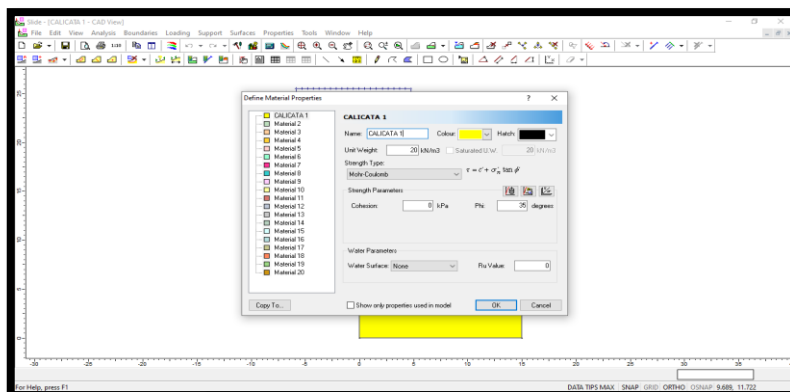
*Registro de datos calicatas N°01-Con raíz*



*Nota.* Se ingresa los datos del talud para en el programa slide, Elaboración propia.

**Figura 15**

*Definición de materiales calicata N°01-Con raíz*

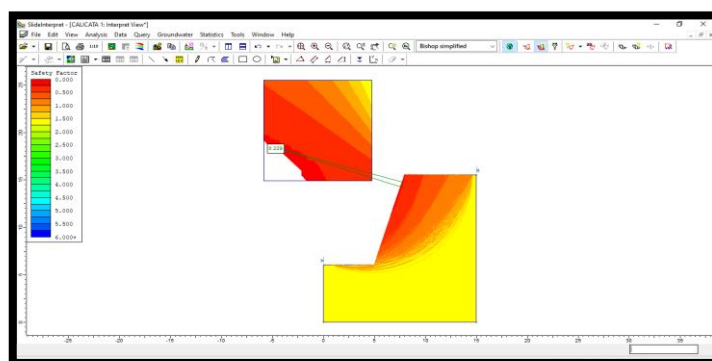


*Nota.* Se ingresa datos y características del tipo de suelo y capa del suelo, Elaboración propia.

Así mismo con los valores ya programados en el software SLIDE se realizan dos métodos de procesamiento, uno que es el método BISHOP SIMPLIFIED e cuál demuestra un valor de seguridad de 0.229 y con método SPENCER el factor de seguridad alcanzado fue de 0.230, demostrando ambos que con presencia de raíces el factor de seguridad es bajo lo cual indicaría una alta probabilidad de deslizamiento del talud.

**Figura 16**

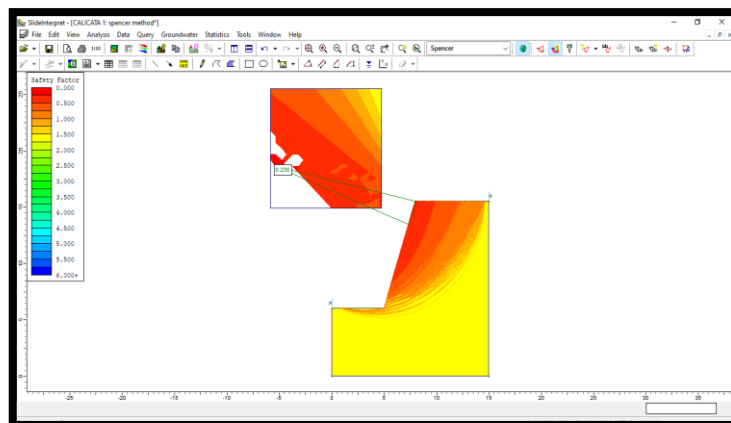
*Factor de seguridad método BISHOP calicata N°01-Con raíz*



*Nota.* En la imagen se muestra el factor de seguridad bajo por ello se clasifica en color rojo, Elaboración propia en el software slide.

**Figura 17**

*Factor de seguridad método SPENCER calicata n°01-Con raíz*



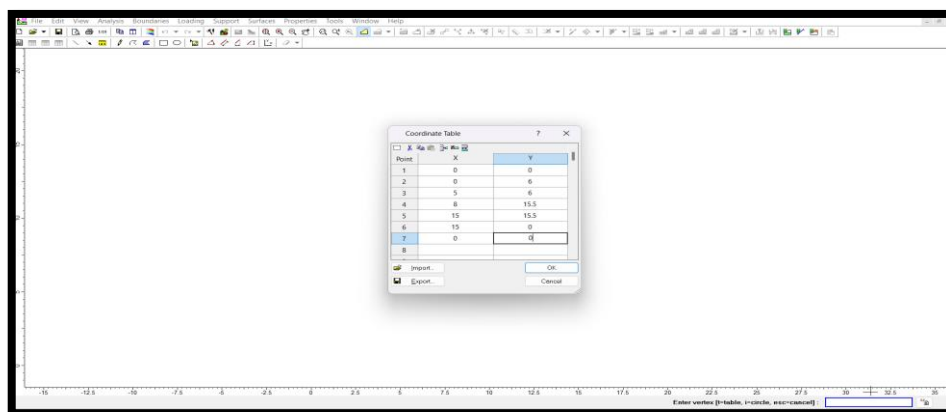
*Nota.* En la imagen se muestra el factor de seguridad bajo por ello se clasifica en color rojo en el software slide, Elaboración propia.

Calicata 01: Sin presencia de raíces

En el software se colocan las consideraciones de ubicación correspondientes del talud en estudio con ubicación en “X” y “Y”, además de las consideraciones del suelo como corte directo como se observa en las imágenes siguientes:

**Figura 18**

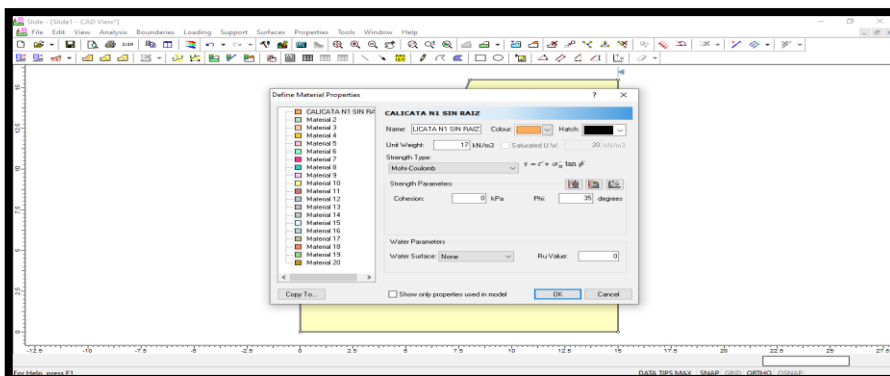
*Registro de datos calicata N°01-Sin raíz*



*Nota.* Se ingresa los datos del talud para en el programa slide, Elaboración propia.

**Figura 19**

*Definición de materiales calicata N°01- Sin raíz*

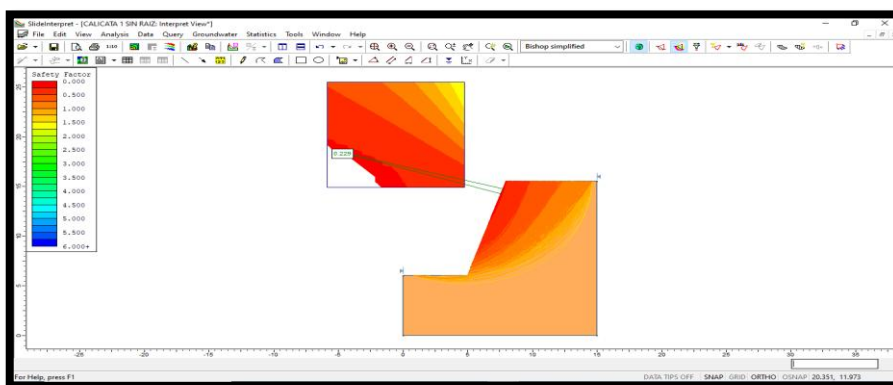


*Nota.* Se ingresa datos y características del tipo de suelo y capa del suelo, Elaboración propia.

Así mismo con los valores ya programados en el software SLIDE se realizan dos métodos de procesamiento, uno que es el método BISHOP SIMPLIFIED e cuál demuestra un valor de seguridad de 0.229 y con método SPENCER el factor de seguridad alcanzado fue de 0.230, demostrando ambos que con presencia de raíces el factor de seguridad es bajo lo cual indicaría una alta probabilidad de deslizamiento del talud.

**Figura 20**

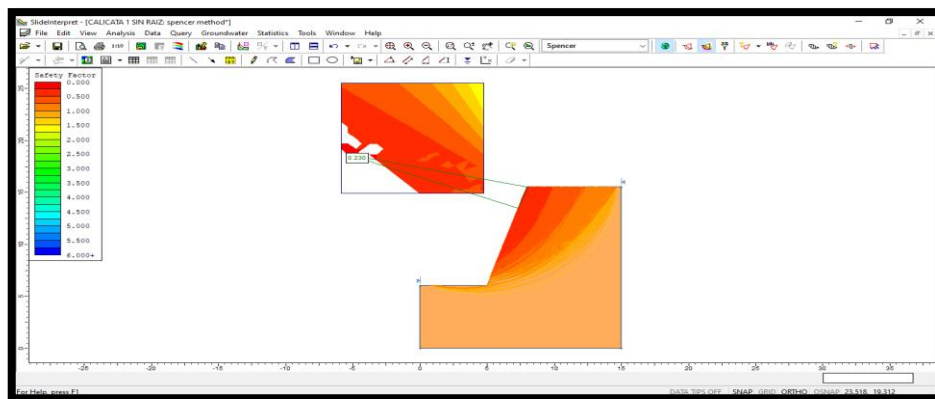
*Factor de seguridad método BISHOP calicata N°01-Sin raíz*



*Nota.* En la imagen se muestra el factor de seguridad bajo por ello se clasifica en color rojo en el software slide, Elaboración propia.

**Figura 21**

*Factor de seguridad método SPENCER calicata N°01-Sin raíz*



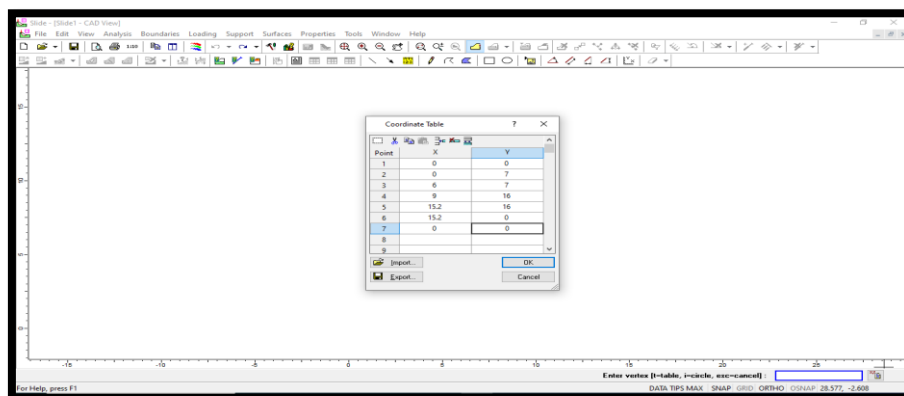
*Nota.* En la imagen se muestra el factor de seguridad bajo por ello se clasifica en color rojo en el software slide Elaboración propia.

Calicata 02: Con presencia de raíces

En el software se colocan las consideraciones de ubicación correspondientes del talud en estudio con ubicación en “X” y “Y”, además de las consideraciones del suelo como corte directo como se observa en las imágenes siguientes:

**Figura 22**

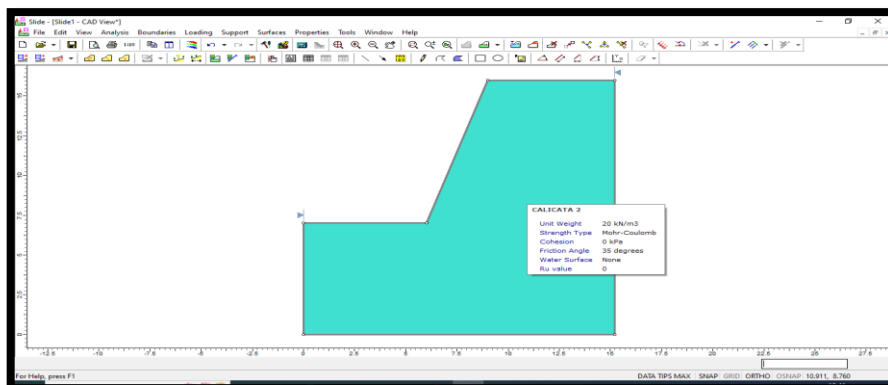
*Registro de datos calicata N°02-Con Raíz*



*Nota.* Se ingresa los datos del talud para en el programa slide, Elaboración propia.

**Figura 23**

*Definición de materiales calicata N°02-Con Raíz*

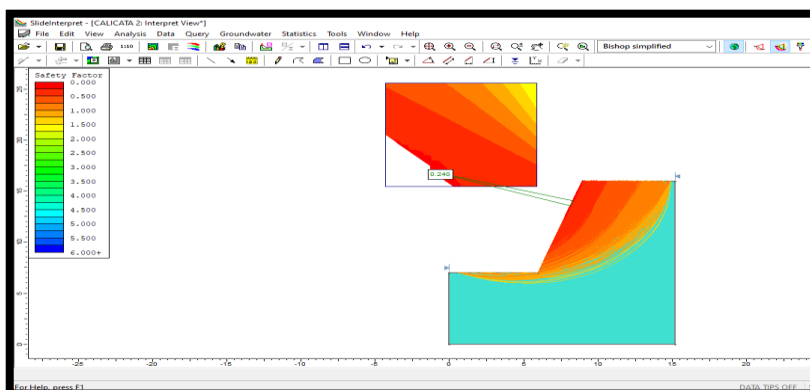


*Nota.* diseño del talud en el software slide, Elaboración propia.

Así mismo con los valores ya programados en el software SLIDE se realizan dos métodos de procesamiento, uno que es el método BISHOP SIMPLIFIED e cuál demuestra un valor de seguridad de 0.240 y con método SPENCER el factor de seguridad alcanzado fue de 0.239, demostrando ambos que con presencia de raíces el factor de seguridad es bajo lo cual indicaría una alta probabilidad de deslizamiento del talud.

**Figura 24**

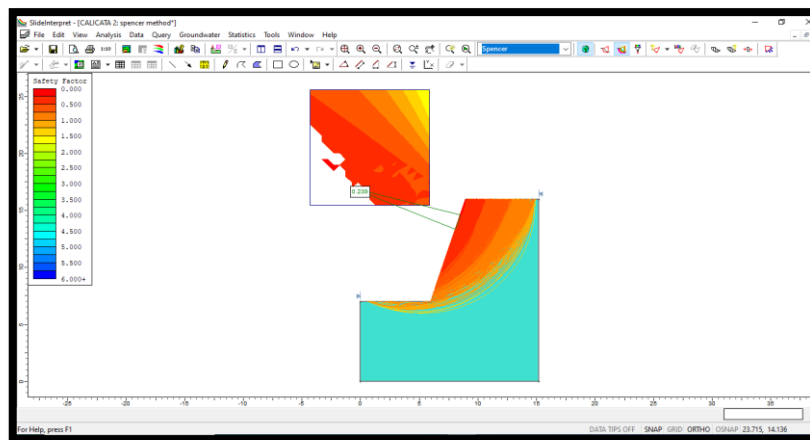
*Factor de seguridad método BISHOP calicata N°02- con raíz*



*Nota.* se clasifica en colores el nivel de factor de seguridad aceptable en el software slide, Elaboración propia.

**Figura 25**

*Factor de seguridad método SPENCER calicata N°02-Con raíz*



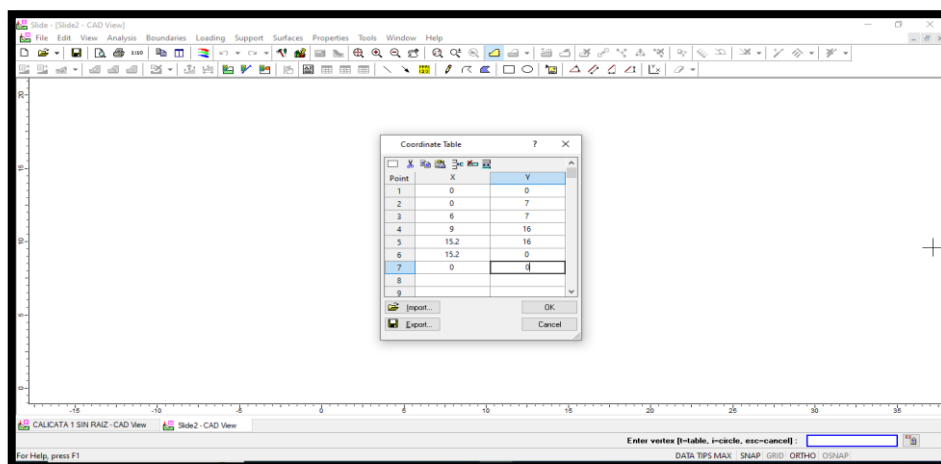
*Nota.* Se clasifica en colores el nivel de factor de seguridad aceptable en el software slide, Elaboración propia, Elaboración propia.

Calicata 02: Sin presencia de raíces

En el software se colocan las consideraciones de ubicación correspondientes del talud en estudio con ubicación en "X" y "Y", además de las consideraciones del suelo como corte directo como se observa en las imágenes siguientes:

**Figura 26**

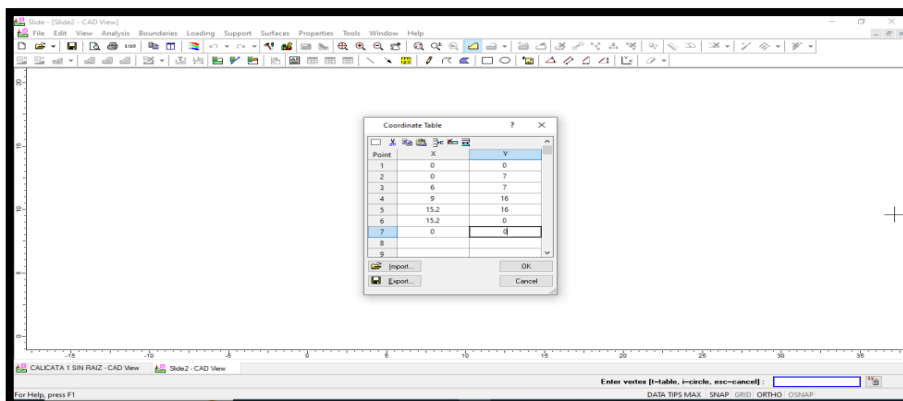
*Registro de datos calicata N°02-Sin raíz*



*Nota.* Se ingresan los datos del talud para en el programa slide, Elaboración propia.

**Figura 27**

Definición de materiales calicata N°02-Sin Raíz

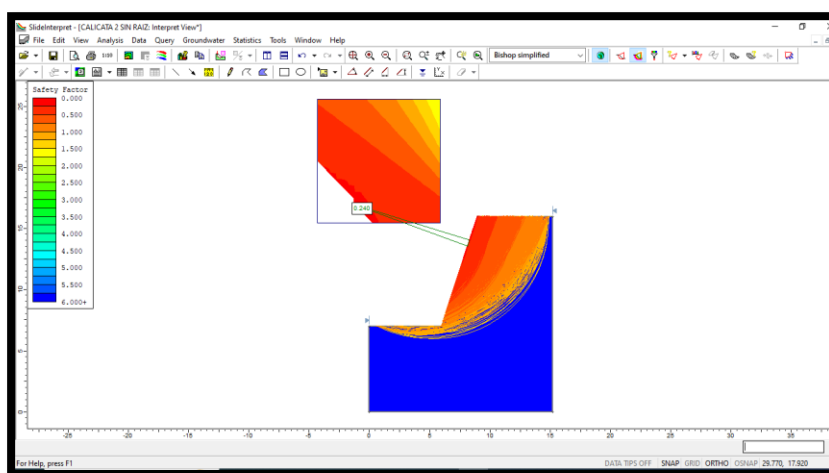


*Nota.* datos para el diseño del talud en el software slide, elaboración propia.

Así mismo con los valores ya programados en el software SLIDE se realizan dos métodos de procesamiento, uno que es el método BISHOP SIMPLIFIED e cuál demuestra un valor de seguridad de 0.240 y con método SPENCER el factor de seguridad alcanzado fue de 0.239, demostrando ambos que con presencia de raíces el factor de seguridad es bajo lo cual indicaría una alta probabilidad de deslizamiento del talud.

**Figura 28**

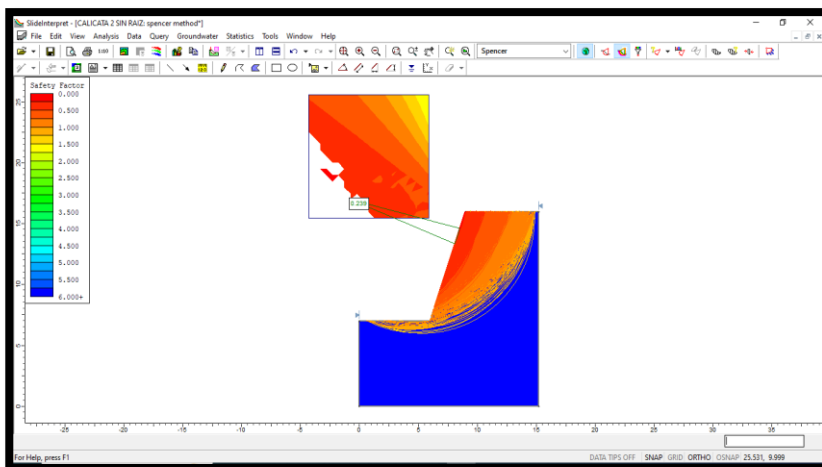
Factor de Seguridad método BISHOP calicata N°02.Sin raíz



*Nota.* Se ingresa los datos del talud para en el programa slide, Elaboración propia.

**Figura 29**

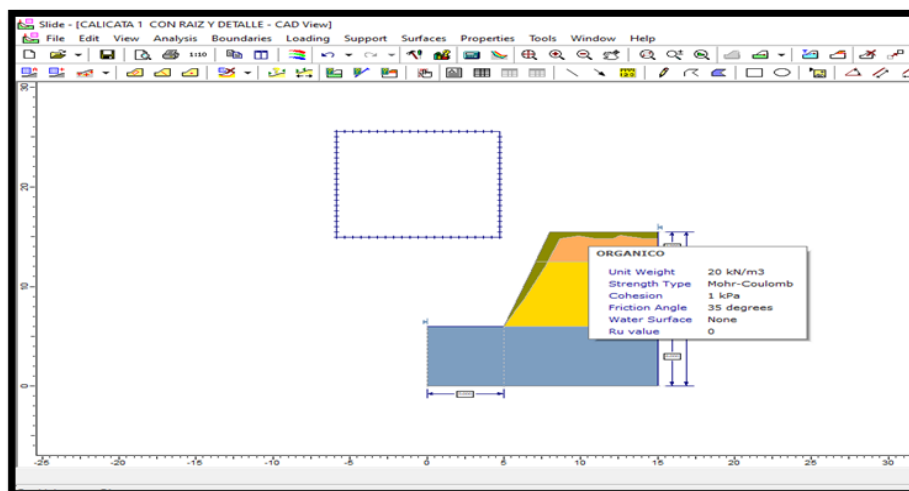
*Factor de seguridad método SPENCER calicata N°02-Sin raíz*



*Nota.* Se ingresa los datos del talud para en el programa slide, Elaboración propia.

**Figura 30**

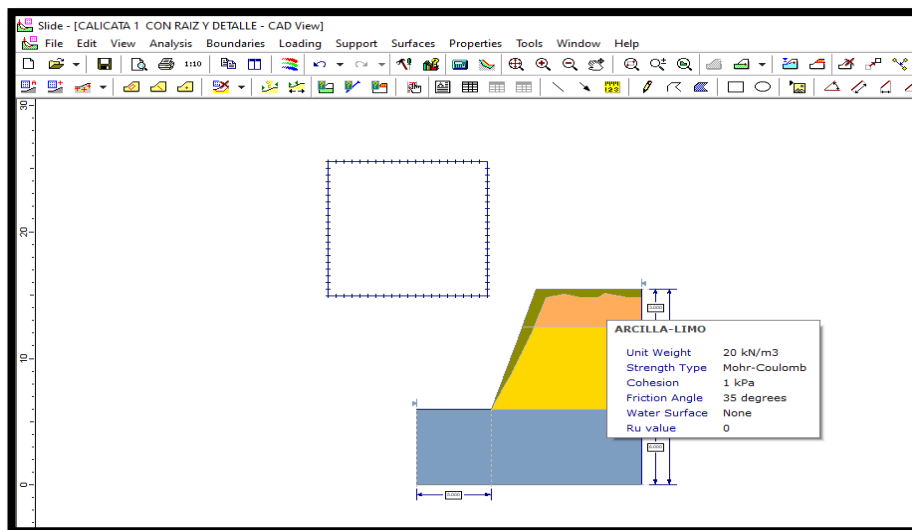
*Material Orgánico*



*Nota.* Modelamiento de las capas de suelo y características del talud en el software slide, Elaboración propia.

**Figura 31**

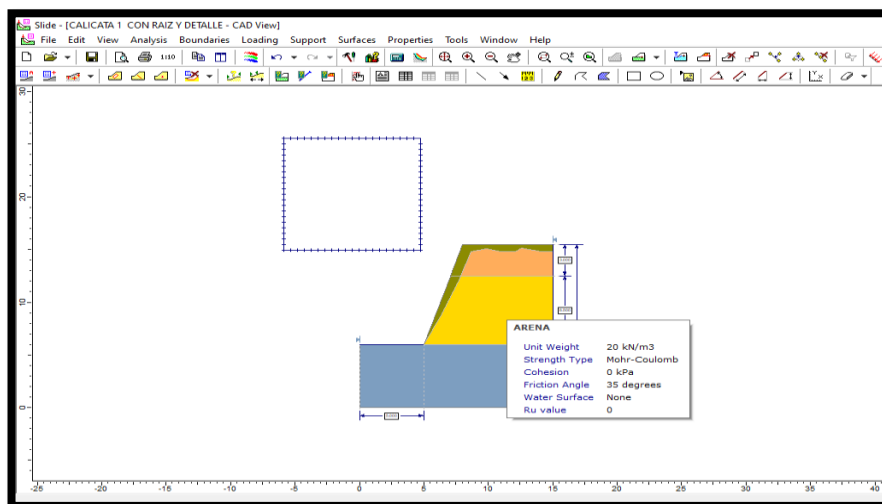
*Material Arcilla Limo*



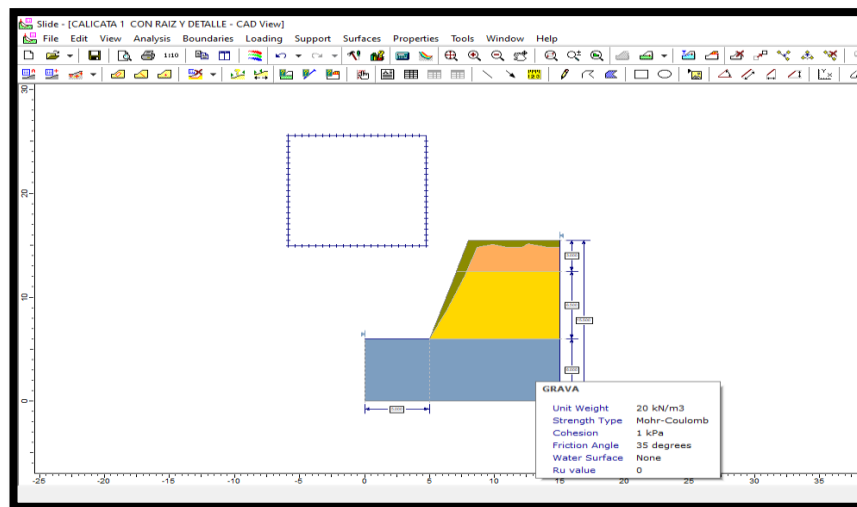
*Nota.* Modelamiento de las capas de suelo y características del talud en el software slide, Elaboración propia.

**Figura 32**

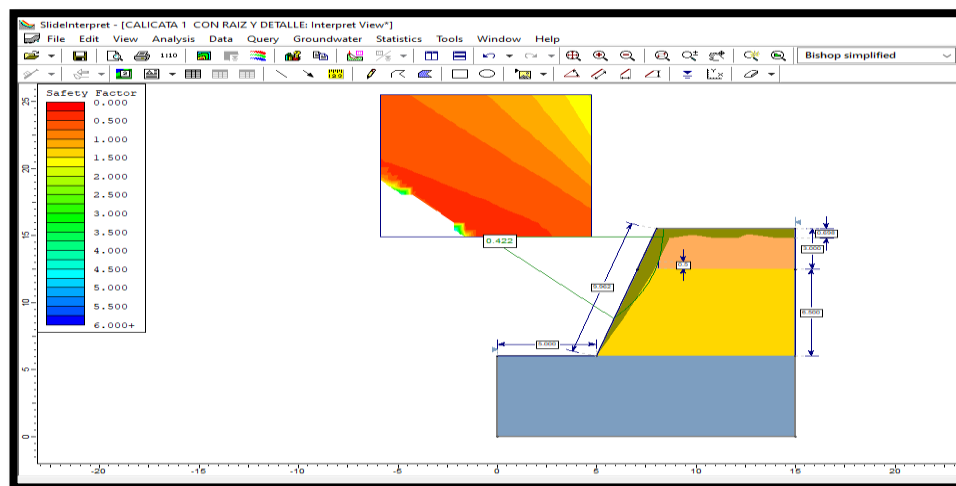
*Material Arena*



*Nota.* Modelamiento de las capas de suelo y características del talud en el software slide, Elaboración propia.

**Figura 33***Material Grava*

*Nota.* Modelamiento de las capas de suelo y características del talud en el software slide, Elaboración propia.

**Figura 34***Detalle de Talud*

*Nota.* Modelamiento de las capas de suelo y características del talud en el software slide, Elaboración propia.

En el análisis final se tiene la siguiente tabla resumen que demuestra que en ninguna de las muestras tomadas de calicata 1 y 2 con ambos métodos y presencia de raíces y ausencia de estas los factores de seguridad son bajos permitiendo una probabilidad alta de deslizamiento en el talud.:

**Tabla 13***Resumen del factor de seguridad del talud*

<b>Calicata</b>	<b>Método BISHOP</b>	<b>Método SPENCER</b>
C-1- h:0.50 (con raíces)	0.229	0.230
C-1- h:1.00 (sin raíces)	0.229	0.230
C-2- h:0.50 (con raíces)	0.240	0.239
C-2- h:1.00 (sin raíces)	0.240	0.239

*Nota:* Elaboración propia

## 5.2 Discusión de resultados

En este apartado de la tesis se realiza una discusión a manera de comparación de resultados en base a otros autores que comparten los mismos criterios de evaluación.

En relación al reforzamiento mecánico en el talud con la presencia de raíces se muestra que fue de efecto negativo en la calicata N°01 con un decrecimiento de 22.05%, ya que la muestra sin raíces presenta una resistencia de 0.068 MPa y con raíces el valor se decrece hasta 0.053 MPa; por otro lado, en la calicata N°02 el valor de resistencia de la muestra sin raíces es de 0.076 MPa y con raíces un valor máximo de 0.087 MPa, lo que representa un incremento de resistencia del 14.47%. En ese sentido se discrepa con Gobanath, et al. (2021), ya que en su tesis muestra que con presencia de raíces la capacidad de soporte del suelo se incrementa con un valor máximo de 22.8 N/cm<sup>2</sup> y sin presencia de raíces el valor máximo es de 14.68 N/cm<sup>2</sup>. Así mismo se discrepa con Chaparro, et al. (2020) ya que en su investigación demuestran que la presencia de raíces en la muestra de suelo permite un incremento ligero de resistencia mecánica a diferencia que cuando no existen estas raíces dentro del suelo. Por otro lado, se concuerda con Soto (2023), ya que en su investigación demostró que la presencia de vegetación en el talud no genera ningún cambio en la resistencia mecánica del suelo por lo que no existe una influencia de las raíces en el suelo.

Así mismo en relación al factor de seguridad se utilizó el software SLIDE y en base a dos métodos el BISHOP y el SPENCER se demostraron los valores de factor de seguridad del suelo con raíces y sin raíces, el suelo con raíces demostró valores de 0.229 y 0.240 con el método BISHOP y con el método SPENCER valores de 0.230 y 0.239 y con presencia de raíces en el suelo los valores fueron de 0.229 y 0.230 con el método BISHOP y de 0.240 y 0.239 con el método SPENCER, quedando demostrado que los valores de factor de seguridad son muy bajos. En ese sentido se discrepa con Chaparro, et al. (2020), ya que en su investigación al contener vetiver en el suelo se generó un incremento del factor de seguridad con un valor máximo de 1.901 y sin presencia de vetiver el valor máximo fue de 1.548. De la misma manera se discrepa con Badhon, et al. (2021), ya que en su

investigación se demuestra que la presencia de raíces de vetiver en suelo arcillosos el factor de seguridad se incrementa en un 20.6% generando un mejoramiento de la muestra. Finalmente se discrepa también con Islam, et al. (2020), ya que en su investigación muestra que la presencia de raíces de plantación en suelo arenosos y arcillosos incrementan el valor del factor de seguridad en un 2% y 15% respectivamente.

Por otro lado, en relación a la estabilidad se demuestra que el talud sin presencia de raíces y en base a sus resultados de factor de seguridad son inestables y con presencia de raíces igual, teniendo gran probabilidad de deslizamiento en el talud. En ese sentido se discrepa con Islam, et al. (2020) ya que en su investigación se logró incrementar el factor de seguridad de manera significativa porque permitiría un mejoramiento de estabilidad en el talud. Así mismo se discrepa con Soto (2023), ya que con la presencia de vegetación en el talud genera un efecto positivo en la estabilidad del talud, generando una mejora en términos de resistencia y de seguridad. Finalmente se discrepa con Sutta y Sutta (2021), ya que en la investigación mediante el uso del software SLIDE muestran que la presencia de raíces en el talud genera un incremento del valor de factor de seguridad y por ende un mejoramiento positivo de la estabilidad en el talud.

## VI. Conclusiones

Las raíces de plantas herbáceas encontradas como Chilca, Ichu, Trebol y Yunca rata en el talud de estudio, no presentan una influencia significativa en el tramo kilómetro 4+800, ya que generan un efecto negativo en la calicata N°01 con un valor de 0.068 MPa sin presencia de raíces y con presencia de ellas el valor decrece a 0.053 MPa, por otro lado, en la calicata N°02 si genera una mejora significativa ya que sin raíces el valor es de 0.076 MPa y con raíces se incrementa a 0.087 MPa.

Las raíces de las plantas herbáceas no poseen alguna influencia positiva en los valores de resistencia mecánica de la muestra ya que cambian en porcentaje positivo del 14.47% y negativo del 22.05%, la cohesión es de 0 en todas las muestras y no genera un cambio significativo en los actores de seguridad.

El factor de seguridad no guarda relación de significancia ya que sin la presencia de raíces en el talud el factor de seguridad oscila entre 0.229 – 0.24 con el método BISHOP y de 0.23 - 0.239 con el método SPENCER, y con presencia de estas el factor de seguridad oscila entre 0.229 – 0.24 con el método BISHOP y de 0.23 - 0.239 con el método SPENCER, por lo que ambos factores son muy bajos e iguales para generar un cambio en el talud, además que el talud no es estable y existe gran probabilidad de deslizamiento en el talud.

## **VII. Recomendaciones**

- Se recomienda ampliar la zona de estudio evaluando más de dos calicatas dónde se pueda evaluar mayores criterios o de mayor presencia de raíces de plantas herbáceas en el talud para así determinar la influencia de manera positiva.
- Analizar la posibilidad de generar una plantación con raíces profundas que generen una influencia positiva en el reforzamiento mecánico como el Vetiver que tiene ciertos antecedentes que avalan un buen comportamiento en estabilidad de taludes.
- Realizar plantaciones con raíces profundas que influyan de manera positiva en el factor de seguridad, y su parámetro sea óptimo para la misma.

## VIII. Referencias

- Almeida, B., Lopes, P., Cortês, A., & Rodrigues, A. (2022). Da classificação dos solos: uma abordagem estatística – plataforma ferroviária – estudo de caso ferrovia centro atlântica. *Brazilian Journal of Development*, 8(8), 54734-54744. Retrieved from <https://doi.org/10.34117/bjdv8n8-002>
- Alva, J., Soto, J., & Ortiz, E. (2023). Estimation of the permanent seismic displacements of the costa verde cliffs, Lima, Peru. *Proceedings of the 9ICEG*, 1(1), 1-10. Retrieved from <https://doi.org/10.53243/ICEG2023-228>
- Badhon, F., Islam, M., & Islam, M. (2021). Contribution of Vetiver Root on the Improvement of Slope Stability. *Indian Geotechnical Journal*, 51(1), 829-840. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s40098-021-00557-0>
- Barboza, A. (2021). *Factor de seguridad para estabilidad de taludes usando métodos geotécnicos, con el software SLIDE, en los tramos de la carretera Lacamarca y sector San Agustín - Hualgayoc - Cajamarca*. Cajamarca: [Tesis de Pregrado, Universidad Privada del Norte]. Retrieved from <https://hdl.handle.net/11537/28349>
- Bordoloi, S., & Wai, C. (2020). The effects of vegetation traits and their stability functions in bio-engineered slopes: A perspective review. *Engineering Geology*, 275(1), 1-11. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105742>
- Castro, J., Asta, M., Galve, J., & Azañón, J. (2020). Formation of clay-rich layers at the slip surface of slope instabilities: The role of groundwater. *Water*, 12(9), 1-12. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/w12092639>
- Chaparro, L., Castañeda, W., & Sánchez, Ó. (2020). Influencia del vetiver y eucalipto en la estabilidad de taludes. *Revista UIS Ingenierías*, 20(4), 171-188. Retrieved from <https://doi.org/10.18273/revuin.v20n4-2021014>.
- Cherif, A., Mahmoudi, Y., Azaiez, H., & Belkhatir, M. (2023). Impact of the overall regularity and related granulometric characteristics on the critical state soil mechanics of natural sands: a

- state-of-the-art review. *Geomechanics and Geoengineering*, 18(4), 1-12. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/17486025.2022.2044076>
- Domenech, G., Alvioli, M., & Corominas, J. (2020). Preparing first-time slope failures hazard maps: from pixel-based to slope unit-based. *Landslides*, 17(1), 249-265. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s10346-019-01279-4>
- Fernández, J., Purihuan, C., López, O., & Sánchez, M. (2021). *Metodología de la investigación científica y tecnología*. ColloQUIUM.
- Gobierno Regional de Apurímac. (2022). *Se entregó Represa de Arumiri en Lambrama - Abancay*. Obtenido de Gobierno Regional de Apurímac: <https://www.gob.pe/institucion/regionapurimac/noticias/670496-se-entrego-represa-de-arumiri-en-lambrama-abancay>
- Gobinath, R., Ganapathy, G., & Akinwumi, I. (2021). Stabilisation of natural slopes using natural plant root as reinforcing agent. *Materials Today: Proceedings*, 33(1), 493-499. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.227>
- Hadi, M., Martel, C. P., Huayta, F., Rojas, C., & Arias, J. (2023). *Metodología de la Investigación*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. Retrieved from <https://doi.org/10.35622/inudi.b.073>
- Harabinova, S., Kotrasova, K., Kormanikova, E., & Hegedusova, I. (2021). Analysis of slope stability. *Civil and Environmental Engineering*, 17(1), 192-199. Retrieved from <https://doi.org/10.2478/cee-2021-0020>
- Hearn, G., Howell, J., & Hunt, T. (2020). Performance of slope stabilization trials on the road network of Laos. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 54(1), 1-13. Retrieved from <https://doi.org/10.1144/qjegh2020-064>
- Hospinal, M., & Laureano, D. (2020). *Propuesta de estabilidad de taludes en tramos sinuosos en la carretera Mollepata - Pallasca*. Lima: [Tesis de Pregrado, Universidad Ricardo Palma]. Retrieved from <https://hdl.handle.net/20.500.14138/3831>
- Islam, M., Islam, M., & Elahi, T. (2020). Effectiveness of Vetiver Grass on Stabilizing Hill Slopes: A Numerical Approach. *Geo-Congress*, 1(1), 1-12. doi:10.1061/9780784482797.011

- Julca, C., Linares, R., & Quinteros, E. (2021). *Estabilización de los taludes de la costa verde empleando el método de la hidrosiembra en el tramo entre la calle colón y la bajada Malecón Balta del distrito de Miraflores*. 2021: [Tesis de Pregrado, Universidad San Ignacio de Loyola]. Retrieved from <https://hdl.handle.net/20.500.14005/11566>
- Kardani, N., Zhou, A., Nazem, M., & Shen, S. (2021). Improved prediction of slope stability using a hybrid stacking ensemble method based on finite element analysis and field data. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 13(1), 188-201. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2020.05.011>
- Lobmann, M., Geitner, C., Wellstein, C., & Zerbe, S. (2020). The influence of herbaceous vegetation on slope stability – A review. *Earth-Science Reviews*, 209(1), 1-12. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103328>
- Ma, L., Zhao, J., Zhang, J., & Xiao, S. (2021). Slope stability analysis based on leader dolphins herd algorithm and simplified bishop method. *IEEE Xplore*, 9(1), 28251-28259. doi:10.1109/ACCESS.2021.3058117
- Mogrovejo, R., Contreras, E., & Miranda, L. (2022). Flow Analysis of Slope Stability for Landslide 1- Hill Huayhuaca- Andahuaylas-Perú. *IEEE Xplore*, 1(1), 1-10. doi:10.1109/CONIITI57704.2022.9953684.
- Mohamed, E., Ali, A., Shirbeny, M., Abutaleb, K., & Shaddad, S. (2020). Mapping soil moisture and their correlation with crop pattern using remotely sensed data in arid region. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 23(3), 1-12. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2019.04.003>
- Mujica, J., & Reymundo, J. (2022). *Análisis de Estabilidad de Taludes desde el Puente Posanca hasta el Poblado Licahuasi de la Carretera LM 111 en el Distrito de Arahua*. Lima: [Tesis de Pregrado, Universidad Tecnológica del Perú]. Retrieved from <https://hdl.handle.net/20.500.12867/6737>
- Nesbit, P., Hubbard, S., & Hugenholtz, C. (2022). Direct georeferencing UAV-SfM in high-relief topography: accuracy assessment and alternative ground control strategies along steep

- inaccessible rock slopes. *Remote Sens*, 14(3), 1-15. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/rs14030490>
- Perú, G. d. (2019). *Norma Técnica E0.30, Diseño Sismorresistente*. Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Quincho, R., Cárdenas, J., Inga, V., Bada, W., Espinoza, G., & Yangali, H. (2022). *Metodología de la investigación científica: El sentido crítico, ante todo con uno mismo*. Instituto de Innovación Ciencia y Tecnología INUDI Perú. doi:10.35622/inudi.b.39
- Singh, P., Bardhan, A., Han, F., Samui, P., & Zhang, W. (2022). A critical review of conventional and soft computing methods for slope stability analysis. *Modeling Earth Systems and Environment*, 9(1), 1-17. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s40808-022-01489-1>
- Soto, D. (2023). *Analizar el impacto de las raíces de árboles en la estabilidad de taludes*. [Tesis de Pregrado, Universidad de Concepción]. Retrieved from <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/10873>
- Sutta, L., & Sutta, E. (2021). *Evaluación de la estabilidad del talud en función a la variación granulométrica del suelo de soporte del puente de Mayunmarca del distrito de Quiquijana, Cusco-2019*. [Tesis de Pregrado, Universidad Andina del Cusco]. Retrieved from <https://hdl.handle.net/20.500.12557/4086>
- Tao, Z., Shu, Y., Yang, X., Peng, X., Chen, Q., & Zhang, H. (2020). Physical model test study on shear strength characteristics of slope sliding surface in Nanfen open-pit mine. *International Journal of Mining Science and Technology*, 30(3), 421-429. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2020.05.006>
- Vallarino R, M. G. (2021). Bioingeniería de taludes: evaluación del uso de árboles y arbustos como posible mecanismo para incrementar el factor de seguridad. *Revista de Iniciación Científica*, 30.
- Volpe, E., Gariano, S., Ardizzone, F., Fiorucci, F., & Salciarini, D. (2022). A heuristic method to evaluate the effect of soil tillage on slope stability: A pilot case in central italy. *Land*, 11(6), 1-11. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/land11060912>

- Wang, K., Xu, H., Zhang, S., Wei, F., & Xie, W. (2020). Identification and extraction of geomorphological features of landslides using slope units for landslide analysis. *ISPRS Int. J. Geo-Inf*, 9(4), 1-13. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/ijgi9040274>
- Yang, Y., Sun, G., Zheng, H., & Yan, C. (2020). Engineering Geology. *An improved numerical manifold method with multiple layers of mathematical cover systems for the stability analysis of soil-rock-mixture slopes*, 264(1), 1-12. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.105373>
- Zhang, H., Nguyen, H., Nam, X., Pradhan, B., Asteris, P., Costache, R., & Aryal, J. (2021). A generalized artificial intelligence model for estimating the friction angle of clays in evaluating slope stability using a deep neural network and Harris Hawks optimization algorithm. *Engineering with Computers*, 38(1), 3901-3914. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s00366-020-01272-9>
- Zhang, W., Li, H., Han, L., Chen, L., & Wang, L. (2022). Slope stability prediction using ensemble learning techniques: A case study in Yunyang County, Chongqing, China. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 14(4), 1-11. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2021.12.011>

/RV DQH[RV SDQHO IRWRJUiILFR \ RWURV GRFXPHQW  
 UHSRVLWRULR GLJLWDO LQVWLWXFLRQDO HQ OD %LE  
 \$QGHV