



Pontificia Universidad  
Católica del Ecuador

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

" BREVE ESTUDIO GEOTÉCNICO DEL TALUD DE COORDENADAS  
(783998.71 E, 9996547.08N) EN EL BARRIO LA PAMPA, POMASQUI, ECUADOR"

**AUTORES:**

ORTEGA CRIOLLO RICHARD DAVID

QUISHPE COYAGO JOSÉ WASHINGTON

**DIRECTOR:**

MGTR. EDDY FERNANDO SÁNCHEZ SÁNCHEZ

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DE**

**TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**QUITO DM, ENERO 2025**

## **DEDICATORIA**

A Dios, fuente de fortaleza y guía en cada paso de este camino.

A mi abuelo, Bernabé Criollo, quien, aunque ya no está físicamente, partió con la certeza de que aquel a quien amaba alcanzaría sus sueños.

A mi madre, Rosa Criollo, por su amor incondicional, su apoyo inquebrantable y su entrega absoluta, que fueron el pilar de esta gran etapa.

A mi hermana, Geovanna Oña, mi fiel confidente, cuyo cariño, consejos y abrazos han sido fundamentales en la formación de la persona que soy hoy.

A mi amada Sofía, porque su amor, paciencia y apoyo transformaron los días grises en atardeceres de ensueño, llenando mi camino de luz y motivación.

A todos quienes formaron parte de esta etapa llamada universidad, dejando huellas imborrables en mi vida y en mi crecimiento profesional.

A todos quienes creyeron en mí: esto es por y para ustedes. Su confianza y apoyo fueron la chispa que me impulsó a seguir adelante, y con esta meta alcanzada, les devuelvo un poco de todo lo que me han dado.

***Richard David Ortega Criollo***

A mis padres, por su amor incondicional, por su apoyo y por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia y todos los que, de alguna forma, contribuyeron a mi crecimiento personal y académico. Esta tesis es el resultado de un camino que no hubiera sido el mismo sin sus enseñanzas y su influencia.

***José Washington Quishpe Coyago***

## AGRADECIMIENTO

A la Facultad de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, a sus autoridades y profesores, por los conocimientos impartidos y por contribuir al desarrollo de mi formación profesional. A nuestro tutor el **Ingeniero Eddy Sánchez**, por su invaluable guía, disposición y conocimientos, que fueron fundamentales para llevar a buen término este proyecto.

A la **Comitiva del conjunto habitacional Villas La Pampa**, por su generosidad al permitirnos realizar los estudios necesarios para nuestra investigación.

A las **Geólogas Samantha y Marcela**, cuyo apoyo técnico y profesionalismo fueron esenciales para el desarrollo del estudio.

A la **Ingeniera Karina Jácome**, por sus consejos oportunos y sus preguntas desafiantes, que enriquecieron nuestro aprendizaje y fortalecieron este trabajo.

## RESUMEN

La ausencia de estudios sobre la composición estratigráfica y las características mecánicas del talud en el barrio La Pampa representa un riesgo significativo para la seguridad de sus habitantes, especialmente en una zona propensa a deslizamientos. La falta de información detallada dificulta la implementación de medidas preventivas y correctivas efectivas, aumentando la vulnerabilidad de la comunidad ante posibles eventos geológicos.

En este contexto, la combinación de técnicas geotécnicas tradicionales con el uso de fotogrametría surge como una solución prometedora para obtener un análisis más preciso y detallado del talud.

Estas herramientas permiten evaluar las propiedades mecánicas del suelo, como la cohesión y el ángulo de fricción, mientras que la fotogrametría proporciona la capacidad de generar modelos tridimensionales del terreno, ofreciendo una comprensión integral de las áreas críticas.

Esta investigación tiene como objetivo abordar esta falta de estudios, aplicando ambas metodologías para mejorar la evaluación del riesgo y proponer soluciones que fortalezcan la seguridad en La Pampa.

## **ABSTRACT**

The absence of studies on the stratigraphic composition and mechanical characteristics of the slope in the La Pampa neighborhood represents a significant risk to the safety of its inhabitants, especially in an area prone to landslides. The lack of detailed information hinders the implementation of effective preventive and corrective measures, increasing the community's vulnerability to potential geological events.

In this context, the combination of traditional geotechnical techniques with the use of photogrammetry emerges as a promising solution to obtain a more precise and detailed analysis of the slope.

These tools allow evaluating the mechanical properties of the soil, such as cohesion and friction angle, while photogrammetry provides the ability to generate three-dimensional models of the terrain, offering a comprehensive understanding of critical areas. This research aims to address this lack of studies, applying both methodologies to improve risk assessment and propose solutions that strengthen safety in La Pampa.

## ÍNDICE

CAPÍTULO I.....	13
1 GENERALIDADES .....	13
1.1 Introducción.....	13
1.2 Justificación .....	14
1.3 Planteamiento del problema.....	15
1.4 Objetivos.....	16
1.4.1 <i>Objetivo general</i> .....	16
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	16
1.5 Alcance.....	16
CAPÍTULO II .....	17
2 MARCO TEÓRICO.....	17
2.1 Estabilidad de Taludes .....	17
2.1.1 <i>Tipos de fallas</i> .....	17
2.1.2 <i>Factores que influyen en la estabilidad de los taludes</i> .....	18
2.1.3 <i>Teorías sobre mecánica de suelos y estabilidad de taludes</i> .....	19
2.1.3.1 Teoría de la Plasticidad .....	19
2.1.3.2 Modelo de Mohr-Coulomb .....	19
2.1.3.3 Factor de seguridad.....	23
2.1.4 <i>Factores de deslizamiento: cohesión, fricción y saturación.</i> .....	23
2.1.4.1 Cohesión (c).....	24
2.1.4.2 Fricción ( $\phi$ ).....	25
2.1.4.3 Saturación (contenido de agua).....	25
2.2 Ensayos Geotécnicos.....	26
2.2.1 Corte directo .....	26
2.2.2 Clasificación SUCS .....	28
2.2.3 Granulometría.....	28

2.2.4	Densidad.....	28
2.3	Fotogrametría.....	29
2.3.1	Uso de drones para modelado tridimensional.....	29
3	METODOLOGÍA .....	31
3.1	Levantamiento fotogramétrico.....	31
3.1.1	Toma de fotografías con dron.....	31
3.1.2	Ubicación y topografía del área de estudio .....	33
3.2	Levantamiento geológico de columna estratigráfica y recolección de muestras ..	34
3.2.1	Procedimiento de recolección de muestras.....	34
3.2.2	Elaboración de la columna estratigráfica.....	38
3.1	Ensayos de laboratorio.....	40
3.1.1	Ensayo clasificación de suelos (SUCS) y granulometría. ....	40
3.1.2	Ensayo de corte directo, compresión simple y densidad.....	44
3.2	Cálculo del factor de seguridad.....	48
	CAPÍTULO IV .....	55
4	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	55
4.1	Presentación de resultados .....	55
4.2	Interpretación de los resultados obtenidos .....	57
4.2.1	Ensayo de compresión simple .....	57
4.2.2	Estabilidad del Talud.....	57
4.2.3	Composición del talud.....	58
4.2.4	Distribución de esfuerzos y propiedades mecánicas .....	58
	CAPÍTULO V .....	59
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	59
5.1	Conclusiones.....	59
5.2	Recomendaciones.....	61
	BIBLIOGRAFÍA.....	63

ANEXOS ..... 66

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1.-</b> Tipos de superficies de rotura en suelos.....	18
<b>Ilustración 2.-</b> Criterio de rotura de Morh Coulomb.....	21
<b>Ilustración 3.-</b> Envolvente de falla de Morh .....	22
<b>Ilustración 4.-</b> (a) Triangulo elemental de una masa sometida a tensiones. (b) Diagrama de Mohr correspondiente a la figura a.....	22
<b>Ilustración 5.-</b> Gráfica de esfuerzo cortante vs esfuerzo normal. (Geotecnia Fácil, 2017) .....	27
<b>Ilustración 6.-</b> Dron DJI Phantom 4 Pro .....	31
<b>Ilustración 7.-</b> Topografía obtenida con el dron del área de estudio.....	32
<b>Ilustración 8.-</b> Curvas de nivel y Topografía .....	32
<b>Ilustración 9.-</b> Vuelo del dron para obtención de datos. ....	33
<b>Ilustración 10.-</b> Mapa de ubicación del área de estudio. Elaborado por: Ortega. D & Quishpe. J. ....	34
<b>Ilustración 11.-</b> Accesorios para toma de muestras y descendimiento del talud.....	35
<b>Ilustración 12.-</b> Instalación de cuerda para el descendimiento del talud, realizado por personal calificado para este proceso. ....	35
<b>Ilustración 13.-</b> Descendimiento por el talud y toma de muestras, realizado por personal calificado para este proceso.....	36
<b>Ilustración 14.-</b> Muestras recolectadas de cada estrato con su identificación.....	36
<b>Ilustración 15.-</b> Talud de estudio con los diferentes estratos visibles.....	37
<b>Ilustración 16.-</b> Martillo guía para escala fotográfica.....	37
<b>Ilustración 17.-</b> Penetrómetro de bolsillo usado en el estrato uno. ....	38
<b>Ilustración 18.-</b> Columna Estratigráfica del talud en estudio. Elaborado por: Ortega. D & Quishpe. J .....	39
<b>Ilustración 19.-</b> Tabla 1 modelo de análisis granulométrico - Estrato 1 .....	41
<b>Ilustración 20.-</b> Diagrama de flujo para clasificar suelos de grano grueso (más de 50% retenido en la malla #200) (ASTM D2487, 2017).....	43
<b>Ilustración 21.-</b> Extracción de calicata Est-9 a 25 metros para ensayos.....	45
<b>Ilustración 22.-</b> Transporte de las muestras al laboratorio.....	45
<b>Ilustración 23.-</b> Moldeo de muestra para el ensayo de compresión simple .....	46
<b>Ilustración 24.-</b> Moldeo de muestra para el ensayo de corte directo.....	46

<b>Ilustración 25.-</b> Valores de cohesión y ángulo de fricción de suelos típicos (Braja M., 2015; Hoek & Bray, 1991) .....	47
<b>Ilustración 26.-</b> Modelado tridimensional del talud en Agisoft PhotoSacan Pro.....	48
<b>Ilustración 27.-</b> Análisis corte dos del talud.....	49
<b>Ilustración 28.-</b> Perfil del dos tres del talud .....	49
<b>Ilustración 29.-</b> Análisis corte cinco del talud.....	50
<b>Ilustración 30.-</b> Perfil del corte cinco del talud.....	50
<b>Ilustración 31.-</b> Valores de coordenadas del corte. ....	51
<b>Ilustración 32.-</b> Elección del método Morgenstern-Price .....	52
<b>Ilustración 33.-</b> Método Morgenstern-Price y sus características de evaluación de la falla. .....	52
<b>Ilustración 34.-</b> Líneas de referencia de cada estrato del talud. ....	53
<b>Ilustración 35.-</b> Delimitación de las áreas de los estratos. ....	53
<b>Ilustración 36.-</b> Ingreso de las propiedades de los materiales.....	54
<b>Ilustración 37.-</b> Corrida del programa para determinar el factor de seguridad.....	54
<b>Ilustración 38.-</b> Corte 2, corrida con el promedio de los materiales .....	56
<b>Ilustración 39.-</b> Erosión del talud a través de los años.....	60

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.-</b> Tabla resumen de análisis granulométrico y clasificación SUCS de todos los estratos.....	44
<b>Tabla 2.-</b> Valores del ensayo de corte directo.....	47
<b>Tabla 3.-</b> Valores del ensayo de compresión simple .....	47
<b>Tabla 4.-</b> Cohesión, fricción y peso unitario de los materiales.....	55
<b>Tabla 5.-</b> Promedio de los valores de cohesión y ángulo de fricción de los datos de laboratorio.....	56
<b>Tabla 6.-</b> Presentación del factor de seguridad método Morgenstern-Price.....	57

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1.-</b> Combinación de esfuerzos.....	20
<b>Ecuación 2.-</b> Factor de seguridad con respecto a la resistencia. (Braja M., 2015).....	23
<b>Ecuación 3.-</b> Criterio de falla de Mohr-Coulomb. (Braja M., 2015).....	24
<b>Ecuación 4.-</b> Coeficiente de uniformidad. (ASTM D2487, 2017) .....	40
<b>Ecuación 5.-</b> Coeficiente de curvatura. (ASTM D2487, 2017) .....	40

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.-</b> Características del suelo para columna estratigráfica.....	66
<b>Anexo 2.-</b> Descripción in situ del talud.....	68
<b>Anexo 3.-</b> Ensayo de corte directo de los estratos 6, 9 y 12.....	75
<b>Anexo 4.-</b> Ensayos de compresión simple de los estratos 6 y 12.....	84
<b>Anexo 5.-</b> Corrida del programa para las diferentes situaciones del corte 2.....	86
<b>Anexo 6.-</b> Corrida del programa para las diferentes situaciones del corte 5.....	88

# CAPÍTULO I

## 1 GENERALIDADES

### 1.1 Introducción

En ingeniería civil, se denomina talud a una pendiente o superficie inclinada con respecto a la horizontal que se crea en el terreno para que este resista la presión ejercida por la tierra detrás de él. Estos pueden ser de origen natural o artificial.

El mayor problema que se tiene con los taludes, sobre todo en los naturales, son deslizamientos, meteorización, erosión y hundimiento; siendo los deslizamientos los más graves. (INGEOM, 2023) Por esta razón se debe realizar un estudio geotécnico a estas estructuras para determinar su factor de seguridad y con este garantizar su estabilidad, seguridad, así como también prevenir daños a infraestructuras, medio ambiente y sobre todo resguardar la vida de las personas que se encuentran cerca de ellos.

Con la realización del estudio geotécnico se podrá tener:

- Identificación de riesgos: un estudio geotécnico identifica los riesgos potenciales de deslizamientos de tierra, erosión y otros fenómenos geotécnicos.
- Evaluación de la estabilidad: se evalúa la estabilidad del talud y se determina si es necesario tomar medidas para mejorarla.
- Reducción de costos: un estudio geotécnico puede ayudar a reducir costos al identificar problemas potenciales antes de que ocurran.
- Reducción de riesgos: el estudio reduce los riesgos asociados con la construcción y el mantenimiento del talud.
- Protección de la vida humana y de la infraestructura: ayuda a proteger la vida humana, infraestructura y bienes materiales al identificar y mitigar riesgos geotécnicos.

En un mundo de constantes cambios y con la implementación de la era digital, hoy en día se pueden realizar estos estudios geotécnicos implementando herramientas como la fotogrametría, la cual ayuda a medir objetos físicos a partir de imágenes.

La combinación de un estudio geotécnico con la fotogrametría en un talud ayudará a evaluar su estabilidad y predecir su comportamiento bajo diferentes condiciones de carga y ambiente. Pero para determinar estas condiciones se deberá recolectar información del área de estudio teniendo así:

- Reconocimiento del sitio con una inspección visual para identificar características geológicas y topográficas.
- Investigación de campo con la realización de sondeos, pruebas de penetración y otras técnicas para recopilar datos sobre el subsuelo.
- Toma de imágenes fotogramétricas las cuales serán imágenes aéreas o terrestres para obtener información sobre la forma y la posición del talud.
- Procesamiento y análisis de los datos recopilados para evaluar la estabilidad, la forma y la posición del talud.

Así, el presente trabajo se concentrará en la utilización de geotecnia, la fotogrametría y ensayos de laboratorio característicos para determinar las características físico-mecánicas de suelo que posee el talud de coordenadas (783998.71 E, 9996547.08 N) en el barrio La Pampa, Parroquia de Pomasqui.

## **1.2 Justificación**

El barrio La Pampa, ubicado al noroeste del Distrito Metropolitano de Quito, en la provincia de Pichincha, parroquia de Pomasqui ha sufrido varios deslizamientos de tierra a lo largo del tiempo. Estos eventos han generado pánico y alarma entre los habitantes, especialmente debido a su proximidad al río Monjas.

La principal preocupación radica en las áreas residenciales elevadas, que están en constante peligro de deslaves, exacerbados por la sismicidad característica del callejón andino. Además, se han identificado fallas en el sistema de alcantarillado y agua potable, lo que contribuye a la inestabilidad del terreno.

El barrio ha experimentado varios movimientos de masas a lo largo de los años, siendo los más recientes y significativos los ocurridos en los meses de mayo y noviembre del 2024. (Diario El Comercio, 2024; El Universo, 2024).

Estos deslizamientos causaron daños considerables a las viviendas, la pérdida de terrenos, cultivos y la ruptura del sistema de alcantarillado. El evento se presentó a tan solo 12 metros de la vía principal, generando preocupación entre los transeúntes, propietarios de predios y negocios cercanos. Asimismo, el sistema de alumbrado público y electricidad, ubicado a escasa distancia del deslizamiento, corre el riesgo de ser afectado.

Dado el contexto de riesgo continuo en la zona, resulta crucial realizar un análisis estratigráfico y mecánico del talud en La Pampa. Este estudio no solo permitirá evaluar el estado actual del terreno, sino que, al compararlo con técnicas de fotogrametría, proporcionará una visión más precisa y eficiente para la prevención y mitigación de futuros deslizamientos, mejorando así la seguridad del área.

### **1.3 Planteamiento del problema**

La ausencia de estudios sobre la composición estratigráfica y las características mecánicas del talud en el barrio La Pampa representa un riesgo significativo para la seguridad de sus habitantes, especialmente en una zona propensa a deslizamientos de tierra. La falta de información detallada dificulta la implementación de medidas preventivas y correctivas efectivas, incrementando la vulnerabilidad de la comunidad ante posibles eventos geológicos.

En este contexto, la combinación de técnicas geotécnicas tradicionales con el uso de la fotogrametría surge como una solución prometedora para obtener un análisis más preciso y detallado del talud. Estas herramientas permiten evaluar las propiedades mecánicas del suelo, como la cohesión y el ángulo de fricción, mientras que la fotogrametría ofrece la capacidad de generar modelos tridimensionales del terreno, proporcionando una comprensión integral de las áreas críticas.

Esta investigación busca abordar esta carencia de estudios, aplicando ambas metodologías para mejorar la evaluación del riesgo y proponer soluciones que fortalezcan la seguridad en La Pampa.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

- Determinar el factor de seguridad del talud de coordenadas (783998.71 E, 9996547.08N), en el barrio La Pampa, utilizando fotogrametría y ensayos de laboratorio.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Elaborar un estudio estratigráfico del talud en el barrio La Pampa.
- Determinar las características físico-mecánicas como SUCS, peso específico y corte directo en tres calicatas mediante ensayos de laboratorio.
- Aplicar técnicas de fotogrametría para generar modelos tridimensionales del talud.
- Calcular el factor de seguridad del talud.

## **1.5 Alcance**

El proyecto se centrará en determinar el factor de seguridad y analizar la estabilidad del talud de coordenadas (783998.71 E, 9996547.08 N) que se encuentra en el barrio La Pampa, parroquia de Pomasqui utilizando sensores remotos, fotogrametría y ensayos de laboratorio de suelos específicos.

Para el análisis realizado, se utilizan los parámetros que están dentro de un escenario que contempla un desconocimiento sobre todos los desencadenantes reales que puedan estar actuando y corresponde a un análisis específico bajo condiciones geomecánicas, que poseen en el instante que fueron tomadas las muestras inalteradas del talud. Los datos de laboratorio son referenciales, no son representativos, ya que el número de muestras extraídas son escasas para un talud de aproximadamente 33 metros altura.

## CAPÍTULO II

### 2 MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Estabilidad de Taludes

Cuando se hace un estudio geotécnico a un talud, uno de los parámetros que se debe abordar es su estabilidad, la cual, es la capacidad de una pendiente para mantenerse estable o sufrir deslizamiento. Esto depende de varios factores involucrados como fenómenos de estado último o de rotura de masas de suelo. Un ejemplo de esto es el peso, el cual, es una fuerza de masa externo que es responsable de la inestabilidad al igual que los efectos de filtración, estratificación del suelo y sus parámetros de resistencia al corte como cohesión y ángulo de fricción interna. (Braja M., 2015; Pérez de Ágreda, 2005)

##### 2.1.1 Tipos de fallas

- **Fallas Traslacionales**

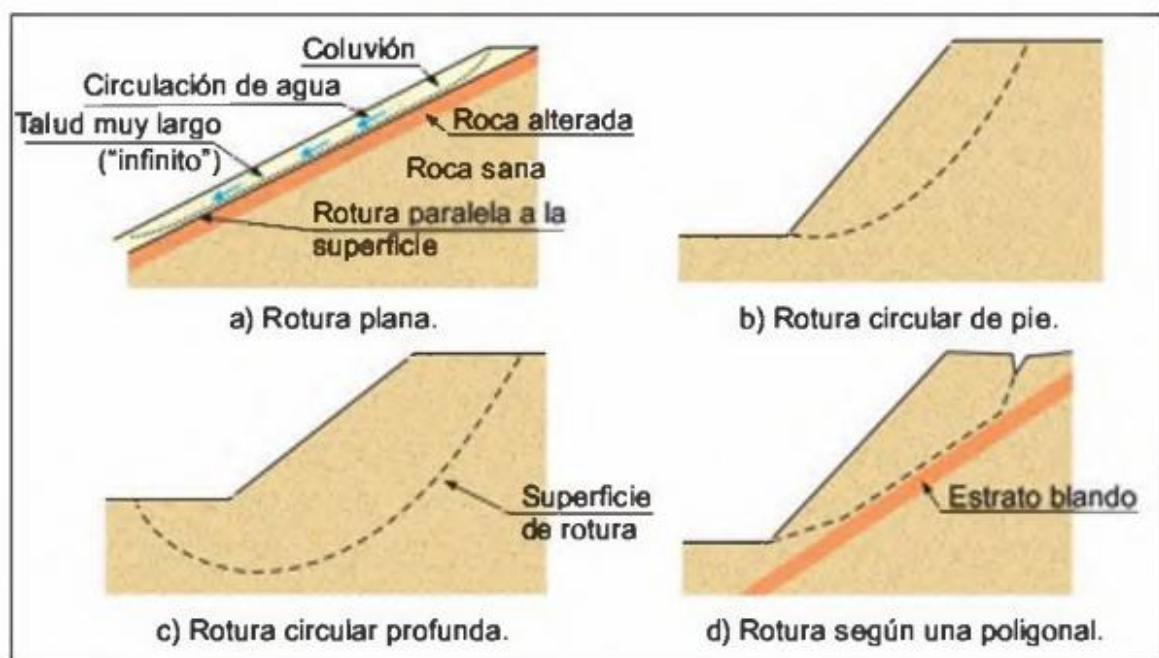
Esta falla se presenta como un movimiento importante del cuerpo del talud sobre una superficie relativamente plana asociada a estratos poco resistente localizada en las cercanías del pie del talud. La superficie de falla se desarrolla paralela a la estratificación de suelos débiles, terminando generalmente sobre planos de agrietamientos verticales. Los estratos débiles que propician la aparición de este mecanismo de falla. Generalmente el factor que provoca la activación del mecanismo de falla es un aumento en las condiciones de presión de poro en el estrato débil y hay formaciones de cuñas.(Gonzáles de Vallejo, 2002)

- **Fallas circulares**

Las fallas circulares son típicas de las formaciones en suelos homogéneos, El deslizamiento como sólido rígido de la zona superior sobre la inferior a lo largo de una línea circular, los deslizamientos planos como caso límite, las fallas circulares se pueden producir mediante “círculos de talud” que intersecan a éste parcialmente, mediante “círculos de pie” que pasan por el pie del talud o mediante “círculos profundos” que intersecan más allá del pie del talud.(Gonzáles de Vallejo, 2002)

- **Fallas Mixtas**

Se denomina falla mixta a la rotura, parte traslacional y parte circular, en cual se han deslizado los dos bloques el uno respecto al otro. se producen por esfuerzos tectónicos, incluida la gravedad y empujes horizontales, actuantes en la corteza. La zona de ruptura tiene una superficie ampliamente bien definida denominada plano de falla, aunque puede hablarse de banda de falla cuando la fractura y la deformación asociada tienen una cierta anchura. (González de Vallejo, 2002)



**Ilustración 1.-** Tipos de superficies de rotura en suelos. (González de Vallejo, 2002)

### 2.1.2 Factores que influyen en la estabilidad de los taludes

Existen diferentes factores que influyen en la estabilidad de un talud como son:

- **Factores condicionantes**
  - Estratigrafía y litología.
  - Estructura geológica.
  - Condiciones hidrogeológicas y comportamiento hidrogeológico de los materiales.
  - Propiedades físicas, resistentes y deformacionales.
  - Tensiones naturales y estado tenso-deformacional.

- **Factores desencadenantes**

- Sobrecargas estáticas.
- Cargas dinámicas.
- Cambios en las condiciones hidrogeológicas.
- Factores climáticos - Variaciones en la geometría.
- Reducción de parámetros resistentes.(González de Vallejo, 2002)

### ***2.1.3 Teorías sobre mecánica de suelos y estabilidad de taludes***

#### ***2.1.3.1 Teoría de la Plasticidad***

La teoría de la plasticidad es fundamental para entender cómo los suelos reaccionan bajo esfuerzos cuando el factor de seguridad es menor a 1 y el talud se considera inestable y propenso a deslizamientos. Los suelos suelen comportarse como materiales plásticos bajo ciertas condiciones de carga, lo que significa que después de cierto límite (el límite plástico), pueden deformarse sin que se libere tensión. Esta teoría se utiliza para modelar y entender como los suelos llegan al estado de deformación y fallan bajo condiciones de carga intensa al igual que el comportamiento no lineal del suelo en la ingeniería geotécnica. (Zuloaga, 2024)

#### ***2.1.3.2 Modelo de Mohr-Coulomb***

Dentro de la teoría de la plasticidad, se tiene como modelo de aplicación a la teoría de Mohr-Coulomb, este es uno de los modelos más simples y utilizados en la mecánica de suelos, en donde se describe la relación entre el esfuerzo cortante y el esfuerzo normal en el suelo. Define un criterio de falla basado en la cohesión del suelo y el ángulo de fricción interna. Según este modelo, la falla ocurre cuando la combinación de tensiones de corte y normales supera la resistencia del suelo. (Braja M., 2015; Pérez de Ágreda, 2005)

Se define como Cohesión ( $c$ ) a la fuerza interna del suelo que mantiene las partículas unidas y al ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) al ángulo que representa la resistencia al deslizamiento entre partículas. (Braja M., 2015)

### 2.1.3.2.1 Teoría de fallo de Mohr-Coulomb

Mohr (1900) (Braja M., 2015) presentó una teoría para la ruptura en los materiales. Esta teoría sostiene que un material falla debido a una combinación crítica de esfuerzo normal y esfuerzo cortante, y no de cualquier esfuerzo máximo normal o cortante solo. Por lo tanto, la relación funcional entre el esfuerzo normal y el esfuerzo cortante en un plano de falla se puede expresar en la forma:

$$\tau_f = f(\sigma)$$

**Ecuación 1.-** Combinación de esfuerzos

Donde:

$\tau_f$  : esfuerzo cortante en el plano de falla

$\sigma$  : esfuerzo normal en el plano de falla

La envolvente de falla definida por la **Ecuación 1** es una curva. Para la mayoría de los problemas de mecánica de suelos, es suficiente para aproximarse al esfuerzo cortante sobre el plano de falla como una función lineal del esfuerzo normal (Coulomb, 1776). Esta relación puede escribirse como:

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi$$

Donde:

c: cohesión

$\phi$ : ángulo de fricción interna

La ecuación anterior se denomina criterio de falla de Mohr-Coulomb. En suelo saturado, el esfuerzo normal total en un punto es la suma del esfuerzo efectivo y la presión del agua intersticial, o

$$\sigma = \sigma' + u$$

El esfuerzo efectivo,  $\sigma'$ , lo realizan los sólidos del suelo. Por lo tanto, para aplicar la ecuación a la mecánica de suelos, es necesario reescribirla como:

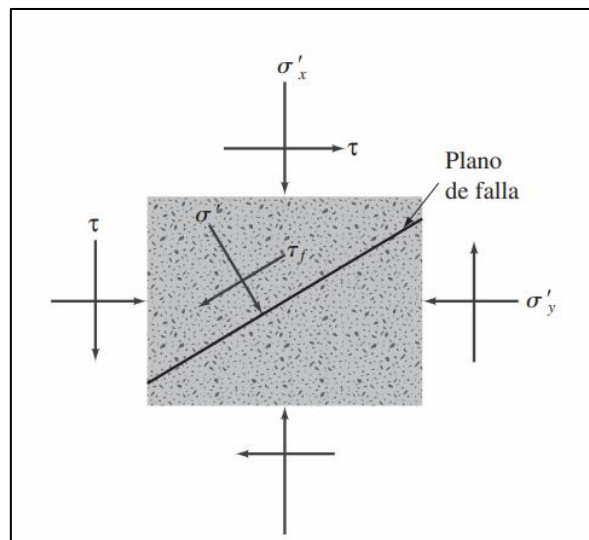
$$\tau_f = c' + (\sigma + u) \tan \phi' = c' + \sigma' \tan \phi'$$

Donde:

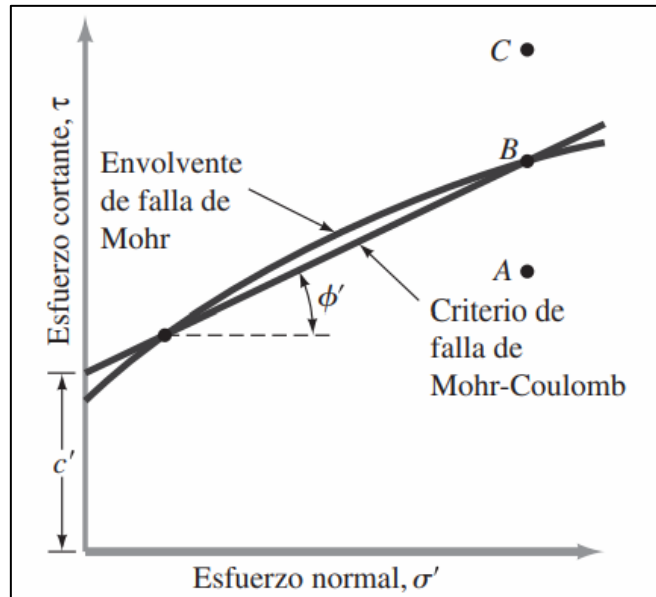
$c'$ : esfuerzo de cohesión efectivo

$\phi'$ : ángulo de fricción efectivo

La importancia de la envolvente de falla se puede explicar de la siguiente manera: si el esfuerzo normal y el esfuerzo cortante sobre un plano en una masa de suelo (**Ilustración 2**) son tales que se grafican como el punto A en la (**Ilustración 3**), entonces la falla de cizalla o corte se produce a lo largo de ese plano. Si el esfuerzo normal y el esfuerzo cortante sobre el plano se grafican como el punto B (que cae sobre la envolvente de falla), entonces la falla de corte se producirá a lo largo de ese plano. Un estado de esfuerzo sobre un plano representado por el punto C no puede existir porque su gráfica está por encima de la envolvente de falla, y la falla de corte en un terreno se habría producido. (Braja M., 2015)



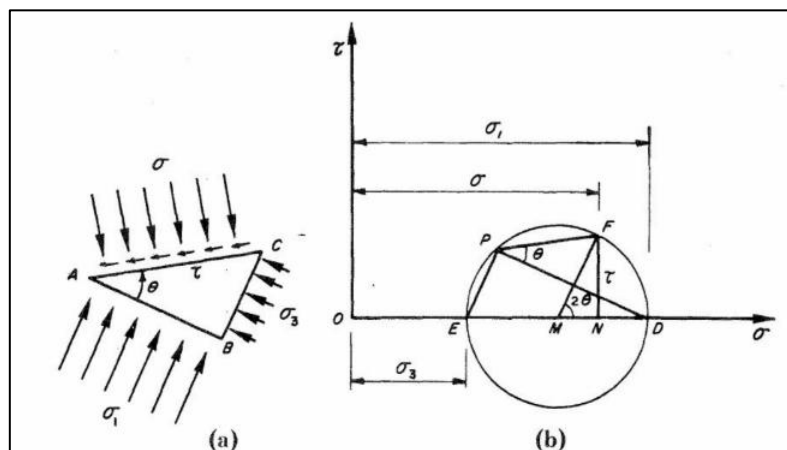
**Ilustración 2.-** Criterio de rotura de Morh Coulomb. (Braja M., 2015)



**Ilustración 3.-** Envolvente de falla de Mohr. (Braja M., 2015)

#### 2.1.3.2.2 El Círculo de Mohr en Geotecnia

En geotecnia, al contrario de lo que sucede en Resistencia de Materiales, se consideran las compresiones positivas y las tracciones negativas. En cuanto a los esfuerzos cortantes, se consideran positivos si se ven girar, desde el lado opuesto del plano elemental a aquel en que actúan, en sentido antihorario. El esfuerzo cortante representado en la figura siguiente será, pues, positivo. (Alva Hurtado, 2011)



**Ilustración 4.-** (a) Triángulo elemental de una masa sometida a tensiones. (b) Diagrama de Mohr correspondiente a la figura a. (MUELAS RODRIGUEZ, 2012)

En la misma figura se representan los planos sobre los que actúan las tensiones principales mayor,  $\sigma_1$ , y menor,  $\sigma_3$ . Llamaremos a estos planos, plano principal mayor y plano principal menor, respectivamente. El diagrama de Mohr, con el convenio de signos indicados, permite una excelente visión de la orientación de los diversos planos. (MUELAS RODRIGUEZ, 2012)

### **2.1.3.3 Factor de seguridad**

Una vez comprendidos los conceptos básicos de las teorías sobre mecánica de suelos y de donde se obtienen las variables que afectan a la estabilidad de un talud, se debe tomar en cuenta el cálculo del factor de seguridad.

Este factor se define como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla. (Suárez Díaz, 1998) La mayoría de los sistemas de análisis asumen un criterio de “equilibrio límite” donde el criterio de falla de Mohr Coulomb satisface a lo largo de una determinada superficie.

El cálculo del factor de seguridad viene dado por la siguiente ecuación:

$$F_s = \frac{\text{Resistencia al corte}}{\text{Esfuerzo al cortante}} = \frac{\tau_f}{\tau_d}$$

**Ecuación 2.-** Factor de seguridad con respecto a la resistencia. (Braja M., 2015)

Cuando FS es igual a 1, se dice que el talud está en un estado de fallo inminente. Sin embargo, un valor de 1.5 para el factor de seguridad con respecto a la resistencia es aceptable para el diseño de un talud estable. (Braja M., 2015)

### **2.1.4 Factores de deslizamiento: cohesión, fricción y saturación.**

Cuando hablamos de un deslizamiento de un talud, podemos concluir que es el resultado de una combinación de factores, incluyendo la gravedad, la resistencia al corte del suelo y las características del material del talud. Por lo tanto, parámetros como la cohesión del suelo, su ángulo de fricción y la saturación de este son de suma importancia al momento de realizar los estudios respectivos.

### 2.1.4.1 Cohesión (c)

La cohesión es una medida de la unión o adherencia entre las partículas del suelo. Esto se debe a las fuerzas moleculares y químicas que mantienen unidas las partículas del suelo, especialmente cuando hay agua o arcillas que actúan como agentes de unión.

En la mecánica de suelos, la cohesión representa la resistencia al corte, causada por la cementación entre las partículas. Por otro lado, en física, la cohesión se refiere a la tensión entre las partículas. En suelos granulares que carecen de cementantes o materiales adherentes, se considera que la cohesión es cero, y a estos suelos se les llama suelos no cohesivos. (EADIC, 2023; Suárez Díaz, 1998)

Se debe tomar en cuenta el efecto que causa de la cohesión en el deslizamiento de tierras. Un mayor valor de cohesión aumenta la resistencia al deslizamiento. Los suelos cohesivos (por ejemplo, las arcillas) resisten el deslizamiento de manera más eficiente que los suelos no cohesivos (como las arenas), porque las partículas están fuertemente unidas, lo que dificulta que el suelo se deslice. (Grupo CIPSA, 2022)

Sin embargo, los suelos con poca cohesión, como las arenas secas, tienen menor capacidad para resistir el deslizamiento y son más propensos a fallar bajo cargas externas o bajo condiciones que alteren su estructura (como lluvias o vibraciones). (Grupo CIPSA, 2022)

La cohesión se introduce en el modelo de Mohr-Coulomb para describir la resistencia al deslizamiento de un suelo de la siguiente manera:

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan(\phi)$$

**Ecuación 3.-** Criterio de falla de Mohr-Coulomb. (Braja M., 2015)

Donde:

- $\tau$ : es el esfuerzo cortante (que resiste el deslizamiento),
- $\sigma$ : es la presión normal sobre la superficie de deslizamiento,
- $c$ : es la cohesión del suelo,
- $\phi$ : es el ángulo de fricción interna.

#### **2.1.4.2 Fricción ( $\phi$ )**

La fricción interna (o ángulo de fricción  $\phi$ ) es la resistencia al deslizamiento que proviene del contacto entre las partículas del suelo. La fricción se produce cuando las partículas de suelo se deslizan unas sobre otras, y su intensidad depende de la forma, el tamaño y la textura de las partículas, así como de su humedad. (Suárez Díaz, 1998)

Así como la cohesión influye en el deslizamiento de tierras, de la misma manera interviene un mayor o menor ángulo de fricción del suelo. A medida que el ángulo de fricción interna aumenta, la resistencia al deslizamiento del talud se incrementa. Esto es típico de suelos como las arenas o gravas, que tienen una alta resistencia a la deformación debido al contacto entre partículas. Mientras que los suelos con bajo ángulo de fricción interna, como las arcillas de baja cohesión o los suelos muy finos, tienen menos resistencia al deslizamiento y pueden fallar fácilmente. (Zuloaga, 2023)

#### **2.1.4.3 Saturación (contenido de agua)**

Cuando se habla de saturación, se hace referencia al contenido de agua del suelo cuando prácticamente todos los espacios están llenos de agua. En los suelos bien drenados es un estado temporal ya que el exceso de agua drena de los poros grandes por influencia de la gravedad para ser reemplazada por aire. (Shaxson & Barber, 2005)

La saturación del suelo juega un papel crucial en su comportamiento, ya que el agua en el suelo puede afectar tanto a la cohesión como a la fricción. Los efectos de la saturación varían dependiendo del tipo de suelo, pero en general, la saturación puede debilitar la estructura del suelo y reducir su capacidad para resistir deslizamientos.

Los efectos que causa una saturación alta (suelos saturados), es que el agua interfiere con las fuerzas de fricción entre las partículas del suelo y puede reducir significativamente la cohesión. Además, el agua en los poros genera presión de poros que puede disminuir la fricción interna entre las partículas. En suelos arcillosos, por ejemplo, el aumento de la saturación reduce la cohesión, lo que puede hacer que el talud se vuelva inestable. (Mora Ortiz & Rojas González, 2012)

De igual manera, si la saturación es baja (suelos secos), la cohesión es generalmente más efectiva, y la fricción interna es mayor. Sin embargo, los suelos secos pueden ser más susceptibles al agrietamiento o a la desintegración, lo que también puede aumentar el riesgo de deslizamientos si la humedad aumenta rápidamente, por ejemplo, durante lluvias intensas. (Mora Ortiz & Rojas González, 2012)

En sí, la estabilidad de un talud es el resultado de la combinación de estos tres factores. La cohesión tiende a resistir el deslizamiento, la fricción proporciona la resistencia al corte y la saturación puede debilitar ambos (cohesión y fricción). (Pérez de Ágreda, 2005) La interacción entre estos factores es compleja y depende de la condición del suelo:

- **En suelos secos** (baja saturación), la cohesión y la fricción interna son más efectivas, lo que mejora la estabilidad del talud.
- **En suelos saturados** (alta saturación), la presión de poro puede reducir tanto la cohesión como la fricción, lo que disminuye la resistencia al deslizamiento y aumenta el riesgo de deslizamiento.
- **En suelos arcillosos saturados**, la cohesión es fuerte, pero el exceso de agua puede disminuir esta fuerza y reducir la fricción, lo que puede provocar deslizamientos rápidos.
- **En suelos arenosos saturados**, el agua actúa principalmente como un lubricante, reduciendo la fricción interna y facilitando el deslizamiento.

## 2.2 Ensayos Geotécnicos

Los ensayos geotécnicos, son pruebas que se realizan en laboratorios o en campo para determinar las características de los suelos, rocas y otros geomateriales. Estos ensayos son parte de los estudios geotécnicos, que son investigaciones especializadas que se realizan para conocer las propiedades del subsuelo.

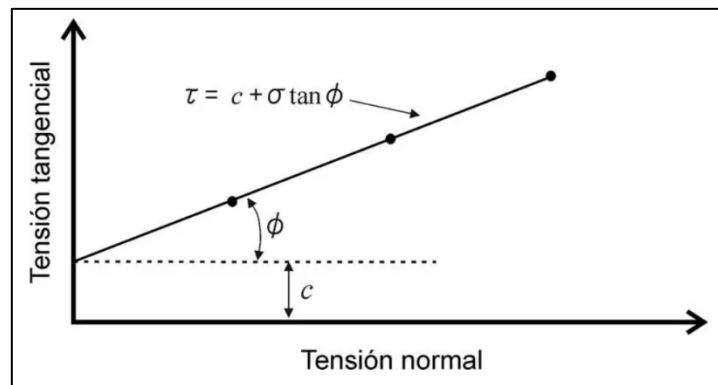
### 2.2.1 Corte directo

El ensayo de corte directo se utiliza para determinar la resistencia al corte de los suelos. En este ensayo, se aplica una carga tangencial a una muestra de suelo confinada en un molde rectangular, se mide la deformación y se calcula la resistencia al corte del suelo. (Herrera, 2024)

El procedimiento, que se realiza bajo la normativa (ASTM D3080, 2004; ASTM D6528, 2017) consiste en inducir la falla a través de un plano determinado sobre el que actúan dos esfuerzos: normal y cortante. Al finalizarlo, se obtienen los valores de **cohesión** ( $c$ ) y del **ángulo de rozamiento interno** ( $\phi$ ).

La *Cohesión* ( $c$ ) es la interceptación de la curva esfuerzo cortante versus esfuerzo normal, que representa la resistencia interna del suelo debido a las fuerzas de atracción molecular entre las partículas del suelo.

El *ángulo de fricción interna* ( $\phi$ ) es la pendiente de la curva esfuerzo cortante versus esfuerzo normal, que se relaciona con la resistencia al deslizamiento de las partículas del suelo debido a la fricción.



**Ilustración 5.-** Gráfica de esfuerzo cortante vs esfuerzo normal. (Geotecnia Fácil, 2017)

Existen tres tipos de ensayos para evaluar la resistencia al corte de una muestra de suelo:

1. **Ensayo no consolidado-no drenado:** Es una prueba rápida que se realiza antes de que la muestra se consolide bajo carga vertical.
2. **Ensayo consolidado-no drenado:** Es una prueba que combina consolidación y corte rápido. La carga de corte se aplica después del asentamiento producido por la carga vertical, pero sin permitir el drenaje.
3. **Ensayo consolidado-drenado:** Es una prueba lenta que se realiza después del asentamiento producido por la carga vertical. La carga de corte se aplica lentamente para permitir la disipación de las presiones de los poros. (Geotecnia Fácil, 2017)

### **2.2.2 Clasificación SUCS**

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) es una herramienta esencial en la ingeniería geotécnica, que permite entender la diversidad de los suelos y clasificarlos de manera efectiva. Esto se consigue mediante el análisis granulométrico y los límites de consistencia, brindándonos así una visión detallada de las propiedades y comportamientos de los suelos. (Gavidia, 2019)

El SUCS se basa en la normativa (ASTM D2487, 2017) en donde los suelos de cualquier ubicación geográfica son divididos en categorías que representan los resultados de pruebas de laboratorio prescritas para determinar las características del tamaño de partícula, el límite líquido y el índice de plasticidad clasificando al suelo en cinco tipos principales como son:

- Gravas (G)
- Arenas (S)
- Arcillas (C)
- Limos (M)
- Orgánicos (O)

### **2.2.3 Granulometría**

Este ensayo se basa en las normativas (ASTM D6913-04, 2009; ASTM D7928, 2021) Este se utiliza para determinar el tamaño de las partículas y sedimentos que componen una muestra, y su distribución. La distribución de tamaños de partículas mayores de 75 micrómetros (retenidas en el tamiz No. 200) se determina mediante tamizado, los tamices utilizados tienen aberturas cuadradas y están ordenados en orden decreciente. Mientras que la distribución de tamaños de partículas menores de 75 micrómetros se determina mediante un proceso de sedimentación utilizando un hidrómetro.

### **2.2.4 Densidad**

El ensayo de densidad del suelo es una prueba que se realiza para determinar la compactación del suelo y evaluar su calidad. Este ensayo se lo realiza bajo la normativa (ASTM D7263, 2021) en donde se describen dos formas de determinar la densidad total/húmeda/volumen, la densidad seca y el peso unitario seco de muestras de suelo intactas, alteradas, remodeladas y reconstituidas (compactadas).

Las densidades y los pesos unitarios de muestras remodeladas/reconstituidas se utilizan comúnmente para evaluar el grado de compactación de rellenos de tierra, terraplenes y similares. Los valores de densidad seca se utilizan para calcular los valores de peso unitario seco para crear una curva de compactación.

## **2.3 Fotogrametría**

La palabra fotogrametría proviene del griego photos (luz), gramma (trazado o dibujo) y metron (medir). En consecuencia, es una técnica que se utiliza para medir la forma, la posición y las dimensiones de objetos a partir de fotografías. Se basa en la intersección de dos o más imágenes para obtener información precisa. (Santamaría Peña & Sanz Méndez, 2011; UAVLatam, 2022)

La fotogrametría se puede realizar de dos formas:

- **Terrestre:** Se toman las imágenes desde el suelo.
- **Aérea:** Se toman las imágenes desde el aire, utilizando aviones, satélites o drones.

En la topografía, la fotogrametría permite obtener coordenadas 3D al integrar fotografías con puntos de referencia, generando ortofotografías georreferenciadas y compatibles con software como AutoCAD y ArcGIS.

### **2.3.1 Uso de drones para modelado tridimensional**

Los drones han demostrado ser una herramienta fundamental para realizar levantamientos fotogramétricos y topográficos. Una de las ventajas más destacadas es su capacidad para crear modelos 3D detallados. El uso de drones para modelado 3D ofrece varias ventajas sobre los métodos tradicionales, como la capacidad de capturar grandes áreas desde el aire de manera rápida y eficiente, reduciendo el tiempo y el esfuerzo necesario para recopilar datos en comparación con los métodos terrestres tradicionales. (Gómez Orea, 2023)

El vuelo de los drones se realiza a una altura y velocidad constantes, y las cámaras capturan imágenes que se triangulan para obtener coordenadas (X, Y, Z). La georreferenciación se realiza mediante GPS y GNSS, lo que permite un posicionamiento preciso durante el vuelo.

Para corregir posibles errores en las coordenadas, se usan puntos de control en campo. En áreas grandes, se establecen puntos de control estratégicos para mejorar la precisión. El plan de vuelo se adapta según la resolución requerida y el consumo de batería, y las líneas de vuelo deben ser paralelas a las superficies inclinadas, como en canteras. (Gómez Orea, 2023)

## CAPÍTULO III

### 3 METODOLOGÍA

#### 3.1 Levantamiento fotogramétrico

Con la ayuda de una cámara, celulares de alta gama y un dron, se pudo obtener fotos del lugar de estudio para su posterior análisis de ubicación, topografía y su composición geológica como se muestra a continuación.

##### 3.1.1 Toma de fotografías con dron

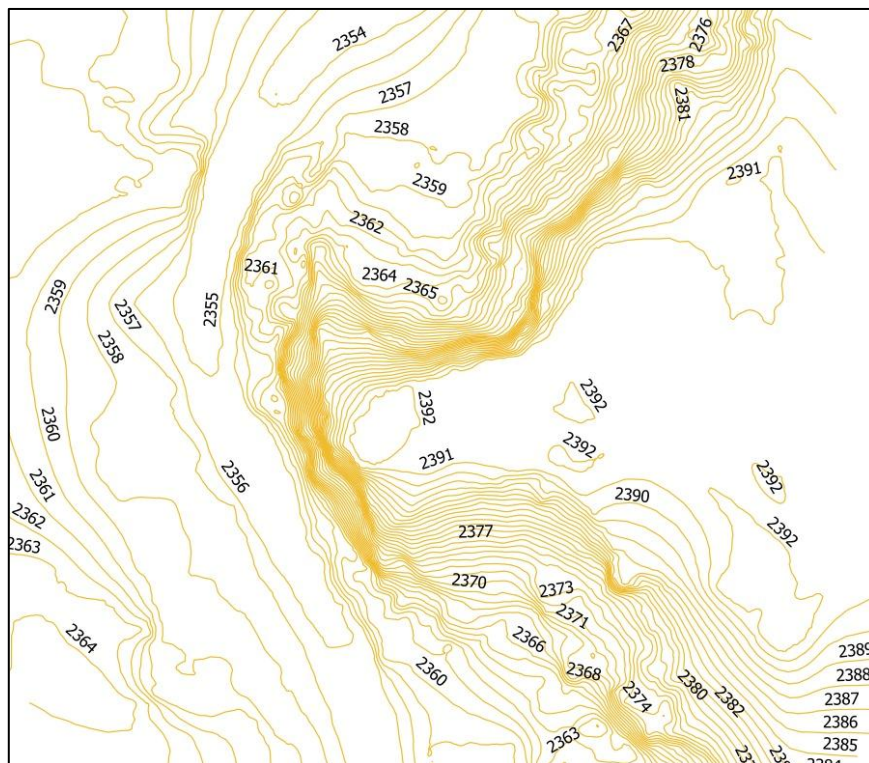
Como se mencionó anteriormente, la fotogrametría con drones es una técnica que permite obtener información del terreno para elaborar mapas, realizar mediciones y modelar superficies en 3D. Para este caso de estudio se utilizó un dron *DJI Phantom 4 Pro*, elaborando un plan de vuelo en el programa *Map Pilot* y el proceso de datos obtenidos tanto topográficos como cortes en el programa *Agisoft PhotoSacan Pro*.



**Ilustración 6.-** Dron DJI Phantom 4 Pro



**Ilustración 7.-** Topografía obtenida con el dron del área de estudio.



**Ilustración 8.-** Curvas de nivel y Topografía

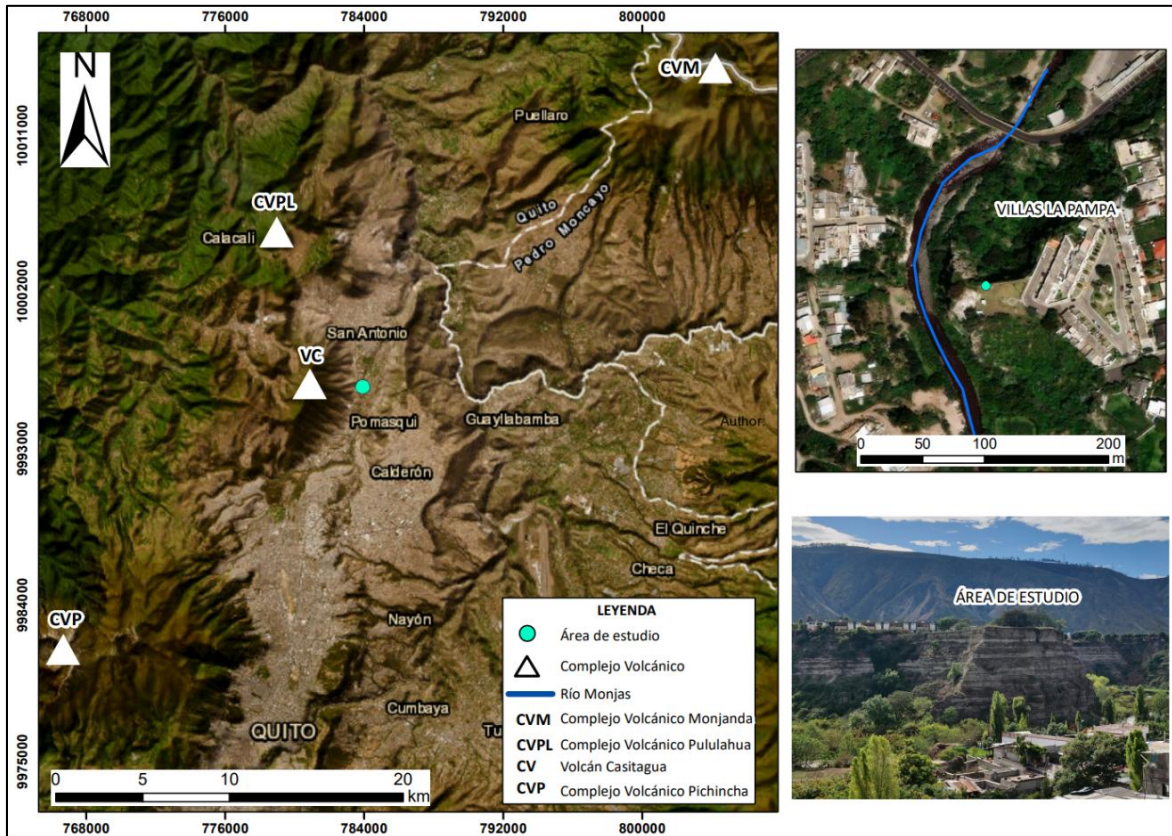


**Ilustración 9.-** Vuelo del dron para obtención de datos.

### **3.1.2 Ubicación y topografía del área de estudio**

Mediante la utilización del programa ArcGIS, se elaboró el mapa de la ubicación específica del talud en estudio, el cual, se encuentra en las coordenadas 783998.71 E, 9996547.08 N en el barrio La Pampa, parroquia de Pomasqui en la provincia de Pichincha.

Con este mapa, se pudo identificar las diferentes zonas volcánicas que influyen dentro del área de estudio y nos dan una idea de la composición estratigráfica del talud.



**Ilustración 10.-** Mapa de ubicación del área de estudio.  
Elaborado por: Ortega. D & Quishpe. J.

## 3.2 Levantamiento geológico de columna estratigráfica y recolección de muestras

### 3.2.1 Procedimiento de recolección de muestras

Para elaborar la columna estratigráfica del talud en estudio, se realizó un descendimiento total del mismo, ya que, se debe medir el espesor de los estratos que conforman el suelo. Por lo general se hace desde las capas inferiores continuando hasta las superiores, pero en este caso se lo realizó de arriba hacia abajo.

El procedimiento empezó con la preparación de todos los instrumentos necesarios para la toma de muestras y con la instalación de la cuerda en la parte alta para luego descender por el talud. Se hizo la identificación de los estratos más representativos y se tomó una muestra por cada uno de ellos.



**Ilustración 11.-** Accesorios para toma de muestras y descendimiento del talud.



**Ilustración 12.-** Instalación de cuerda para el descendimiento del talud, realizado por personal calificado para este proceso.

Las muestras tomadas en cada estrato fueron identificadas de manera ordenada y estas serán procesadas en el laboratorio para determinar sus características físicas y mecánicas.



**Ilustración 13.-** Descendimiento por el talud y toma de muestras, realizado por personal calificado para este proceso.



**Ilustración 14.-** Muestras recolectadas de cada estrato con su identificación.

La altura total del descendimiento fue de 33 metros. Como se puede observar en la **Ilustración 16**, se tuvo como referencia un martillo de 25 centímetros de altura para poder escalar las fotografías en su tamaño real.



**Ilustración 15.-** Talud de estudio con los diferentes estratos visibles.



**Ilustración 16.-** Martillo guía para escala fotográfica.

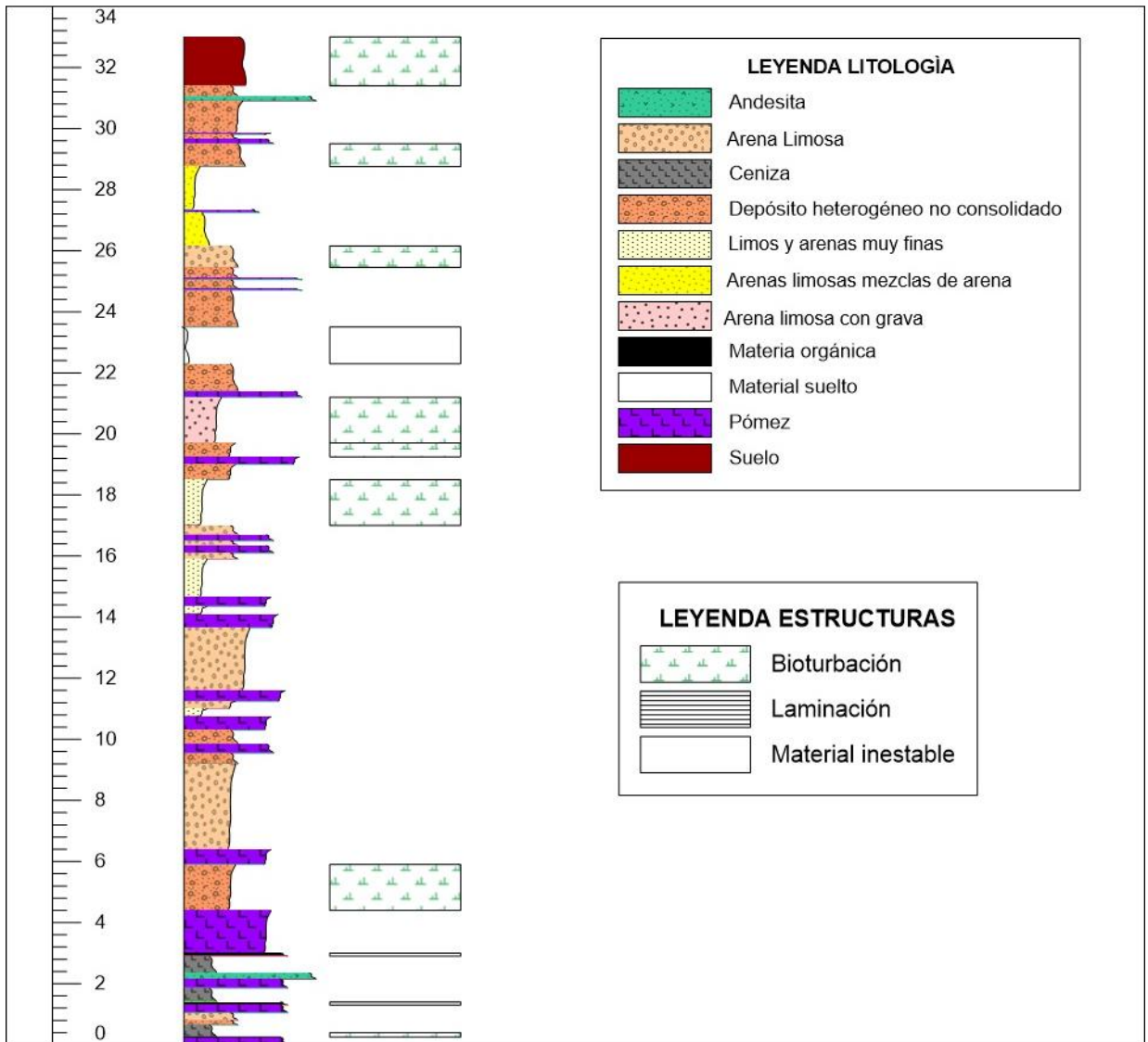
### 3.2.2 Elaboración de la columna estratigráfica

Luego de la recolección de datos y muestras del talud, se procesó la información y se elaboró la columna estratigráfica tomando en cuenta parámetros in situ como profundidad, color, resistencia, olor, consistencia, granulometría, angularidad, litología y estructura del material (**Anexo 2**). La resistencia que tenía cada estrato se la midió mediante la utilización del penetrómetro de bolsillo (**Ilustración 17**) facilitado por el laboratorio de la universidad el cual mide una resistencia de 0 a 4,5 kg/cm<sup>2</sup>.



**Ilustración 17.-** Penetrómetro de bolsillo usado en el estrato uno.

A continuación, en la **Ilustración 18**, se presenta la columna estratigráfica realizada en el programa *Strater V5* tomando en cuenta las características que se observadas en campo y en el laboratorio (**Anexo 1**).



**Ilustración 18.-** Columna Estratigráfica del talud en estudio.  
Elaborado por: Ortega. D & Quishpe. J

### 3.1 Ensayos de laboratorio

#### 3.1.1 Ensayo clasificación de suelos (SUCS) y granulometría.

Luego de la toma de muestras de cada estrato, se realizó el ensayo mediante la normativa (ASTM D2487, 2017). La normativa nos dice que para la clasificación de suelo de grano grueso (más del 50% pasa por el tamiz N° 200) se debe tener la curva granulométrica y a partir de ella se obtendrán los parámetros D10, D30, D60 que son valores correspondientes a los diámetros de tamaño de partículas correspondientes a 10, 30 y 60% del porcentaje que pasa respectivamente.

A partir de esto se calcula los parámetros Cu y Cc que es el coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura respectivamente mediante las siguientes ecuaciones:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

**Ecuación 4.-** Coeficiente de uniformidad. (ASTM D2487, 2017)

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

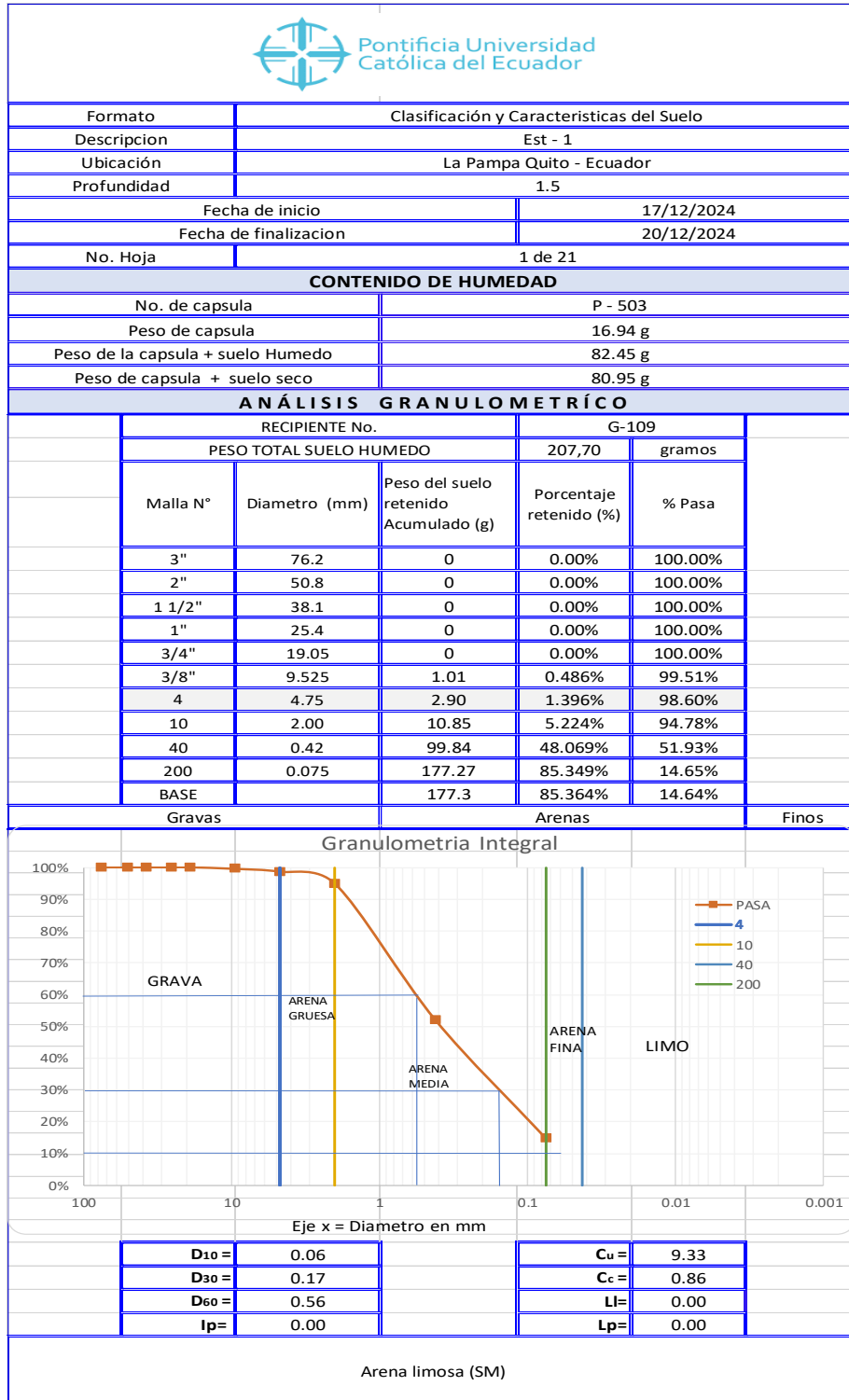
**Ecuación 5.-** Coeficiente de curvatura. (ASTM D2487, 2017)

Con estos parámetros de Cu y Cc se determina el tipo de suelo de cada estrato. Sin embargo, para sacar una clasificación en base a la predominancia del material se usaron las siguientes condiciones:

- % Gravas=100% - %pasa N° 4
- % Finos= % pasante N° 200
- % Arenas= 100% - %Gravas - %Finos

En función al mayor porcentaje de estas condiciones se pudo determinar la composición del suelo. Cabe recalcar que el talud en estudio está compuesto por arena limosa (**SM**) y limos inorgánicos, arenas muy finas y polvo de roca (**ML**) y no presentan un índice de plasticidad.

La **Ilustración 19** nos muestra los cálculos y datos para determinar el tipo de suelo del primer estrato, el cual, se caracteriza como una arena limosa (**SM**). Este proceso se lo realizó para los 21 estratos que constituyen la columna estratigráfica y se presenta resumido en la **Tabla 1**.



**Ilustración 19.-** Tabla 1 modelo de análisis granulométrico - Estrato 1

Para determinar la clasificación de cada estrato, se tomó en cuenta los porcentajes de gravas, arenas y finos presentes en los estratos de estudio y se realizaron los siguientes cálculos:

Con las condiciones mencionadas anteriormente y a partir de la granulometría de la **Ilustración 19** se tiene lo siguiente:

- % pasa tamiz N°4= 98.60%
- % pasa tamiz N°200= 14.65%

Por lo tanto, el porcentaje de gravas será:

- $100 - 98.60 = 1.40\%$

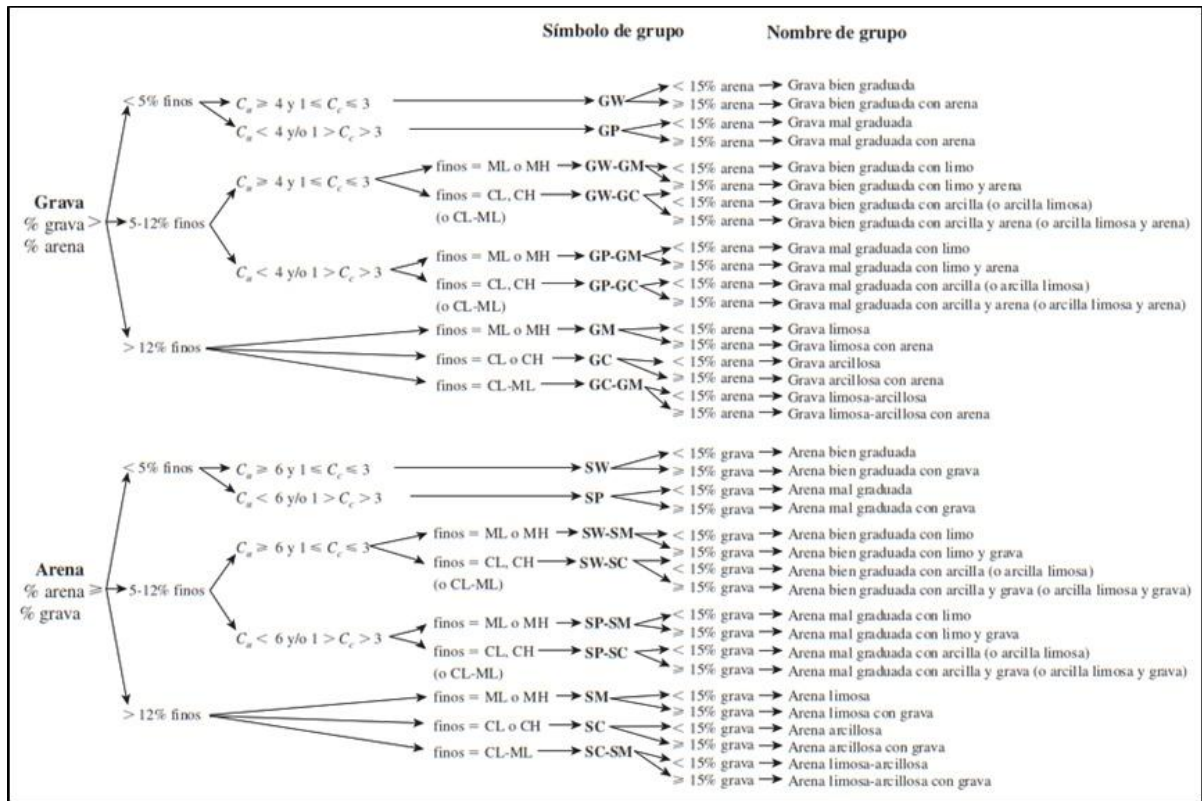
Porcentaje de finos:

- **14.65 %**

Porcentaje de arenas:

- $100 - 1.40 - 14.65 = 83.95\%$

Con estos porcentajes nos podemos dar cuenta, que el estrato uno está formado por un material predominante que es la arena, sin embargo, se debe tomar en cuenta el porcentaje pasante del tamiz N° 200 para entrar en la tabla de clasificación SUCS mostrada en la **Ilustración 20** que se presenta a continuación.

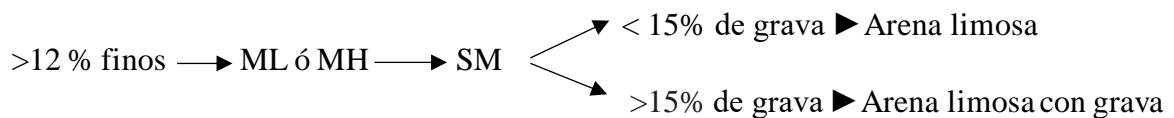


**Ilustración 20.-** Diagrama de flujo para clasificar suelos de grano grueso (más de 50% retenido en la malla #200) (ASTM D2487, 2017)

### Asignación de Clasificación SUCS

Según las reglas de clasificación SUCS (**Ilustración 20**) para arenas se tiene:

#### Estrato 1:



- Descripción: (arena limosa).
- Clasificación: **SM**.

**Tabla 1.-** Tabla resumen de análisis granulométrico y clasificación SUCS de todos los estratos.

Estrato	Gravas (%)	Finos (%) (Pasante #200)	Arenas (%)	Tipo de Suelo	Clasificación SUCS
1	1,40	14,65	83,95	Arena limosa	SM
2	4,44	57,08	38,48	Arena limosa	SM
3	2,72	23,47	73,81	Arena limosa	SM
4	1,35	35,92	62,74	Arena limosa	SM
5	1,29	22,55	76,15	Arena limosa	SM
6	1,40	97,12	1,48	Limos inorgánicos y arenas muy finas y polvo de roca (CENIZA)	ML
7	1,86	52,70	45,44	Arena limosa	SM
8	0,92	59,79	39,28	Arena limosa	SM
9	5,96	17,15	76,90	Arena limosa	SM
10	1,69	47,86	50,45	Arena limosa	SM
11	0,39	71,35	28,26	Limos inorgánicos y arenas finas limosas (CENIZA)	ML
12	0,34	96,37	3,30	Limos inorgánicos y arenas muy finas y polvo de roca (CENIZA)	ML
13	13,93	54,43	31,64	Arena limosa	SM
14	0,00	98,69	1,31	Limos inorgánicos y arenas muy finas y polvo de roca (CENIZA)	ML
15	3,32	34,63	62,05	Arena limosa	SM
16	3,59	36,40	60,02	Arena limosa	SM
17	6,98	35,11	57,91	Arena limosa	SM
18	3,73	49,38	46,90	Arena limosa	SM
19	6,98	35,11	57,91	Arena limosa	SM
20	0,38	75,11	24,51	Limos inorgánicos y arenas muy finas (CENIZA)	ML
21	19,51	15,91	64,58	Arena limosa con grava	SM

### 3.1.2 Ensayo de corte directo, compresión simple y densidad.

Para realizar los ensayos de corte directo, compresión simple y densidad se determinó, a partir de la columna estratigráfica, los estratos más importantes que caracterizan al talud. Se evaluaron los puntos críticos en donde se encontró que los estratos superiores presentan una erosión por causa del viento, mientras que los estratos inferiores por efecto del río presentan una erosión fluvial de base. Es así como se tomó en cuenta los estratos 6, 9 y 12 para la extracción de las calicatas de 30x30 centímetros aproximadamente. **(Ilustración 21)**

Se debe tomar en cuenta que estos estratos son un limo arenoso, un depósito heterogéneo no consolidado (aluvial) y un limo areno respectivamente.



**Ilustración 21.-** Extracción de calicata Est-9 a 25 metros para ensayos.



**Ilustración 22.-** Transporte de las muestras al laboratorio

Para los ensayos de corte directo y compresión simple se realizó el remoldeo de las muestras como se puede observar en la **Ilustración 23** e **Ilustración 24**.



**Ilustración 23.-** Moldeo de muestra para el ensayo de compresión simple



**Ilustración 24.-** Moldeo de muestra para el ensayo de corte directo.

Los datos obtenidos de los ensayos mencionados se muestran a continuación en la **Tabla 2** y **Tabla 3**. Para más detalles de los ensayos se puede ver en el **Anexo 3** y **Anexo 4**.

**Tabla 2.-** Valores del ensayo de corte directo

Estrato	Composición	Peso Específico (kN/m <sup>3</sup> )	Ángulo de Fricción (°)	Cohesión Práctica (kPa)	Cohesión Promedio (kPa)
6	Suelo Heterogéneo No consolidado	14,5	25,53	0,98	2,99
9	Limo Arcilloso	16,8	27,52	1,96	5,98
12	Limo Arenoso	13,65	35,34	0	3,75

*Nota: la cohesión promedio está en base a los datos obtenidos en el laboratorio y los datos obtenidos por medio de bibliografía. (Ilustración 25)*

Material	Peso unitario (kN/m <sup>3</sup> )	Ángulo de fricción efectivo (°)	Cohesión efectiva (kPa)
Suelo arenoso orgánico	14 - 16	12 - 16	10 - 30
Suelo arenoso	16 - 19	28 - 46	0
Limo arcilloso	17 - 20	25 - 35	10 - 50
Arena compacta	18 - 21	32 - 46	0
Limo arenoso	17.5 - 21	25 - 35	4 - 11
Limo	15 - 19	20 - 30	5 - 25

**Ilustración 25.-** Valores de cohesión y ángulo de fricción de suelos típicos (Brajá M., 2015; Hoek & Bray, 1991)

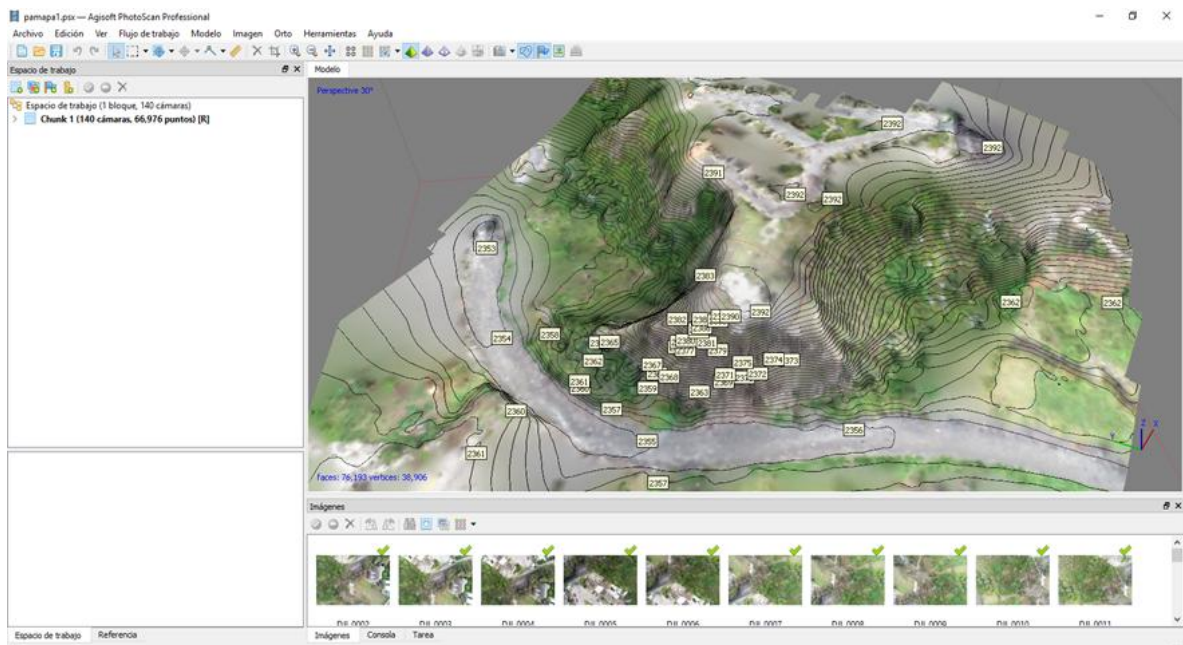
**Tabla 3.-** Valores del ensayo de compresión simple

Estrato	Composición	Esfuerzo Kg/cm <sup>2</sup> (qu)	Contenido de humedad (%)	Peso unitario Húmedo g/cm <sup>3</sup>	Peso unitario Seco g/cm <sup>3</sup>	Cohesión no drenada Kg/cm <sup>2</sup>
6	Suelo Heterogéneo no consolidado	1,27	6,16	1,093	1,03	0,635
12	Limo Arenoso	0,58	3,51	1,037	1,002	0,29

*Nota: El estrato número 9 no se pudo remoldar la muestra ya que es un suelo arenoso y no tienen cohesión y por lo tanto no se pudo realizar el ensayo.*

### 3.2 Cálculo del factor de seguridad

Con los datos obtenidos del laboratorio (ensayos de corte directo **Tabla 2**) y con el modelado tridimensional (**Ilustración 26**) que se obtuvo a partir del vuelo del dron se obtienen los datos necesarios para la elaboración del modelado del talud con sus características físico-mecánicas en el programa *GeoStudio 2024*.



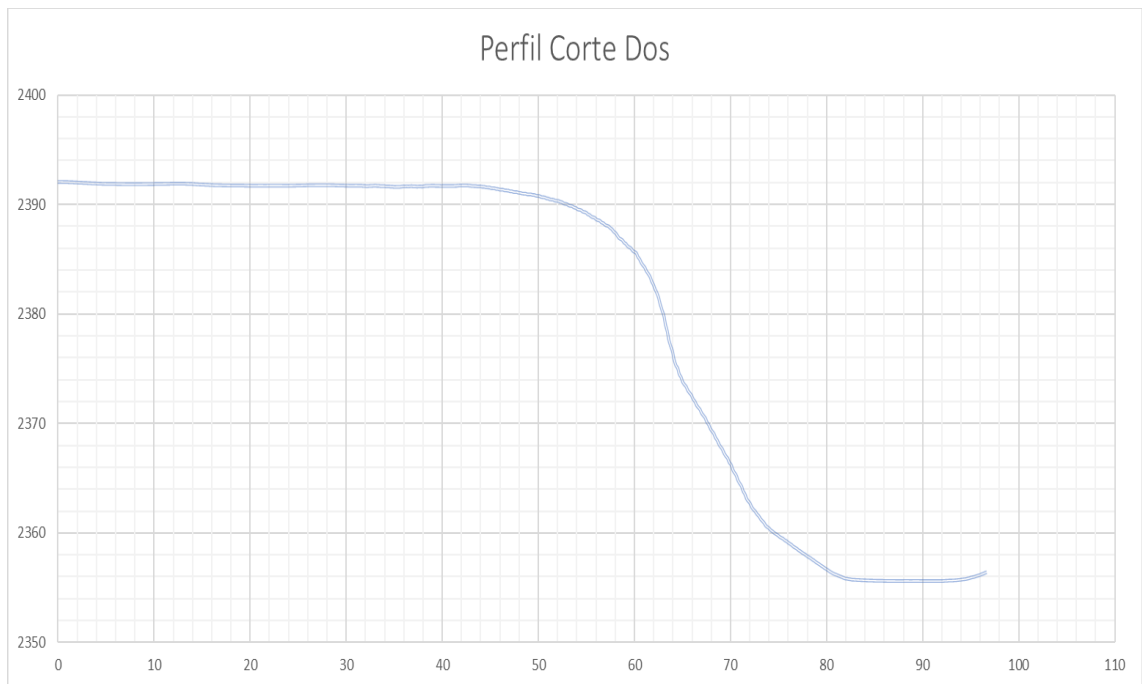
**Ilustración 26.-** Modelado tridimensional del talud en Agisoft PhotoScan Pro

Con el diseño tridimensional del talud (**Ilustración 26**) se obtienen los cortes de análisis. Se realizaron cinco cortes de análisis del talud en función de las estructuras presentes dentro del talud (conjunto habitacional “Villas La Pampa”), profundidad del río y taludes perimetrales, sin embargo, los cortes con más relevancia fueron los cortes 2 y 5.

El corte dos (**Ilustración 27**), es importante por la presencia del Río Monjas y su impacto al talud, el corte cinco (**Ilustración 29**) está en función de la estructura presente y es donde se hizo la recolección de las muestras para los ensayos de laboratorio.



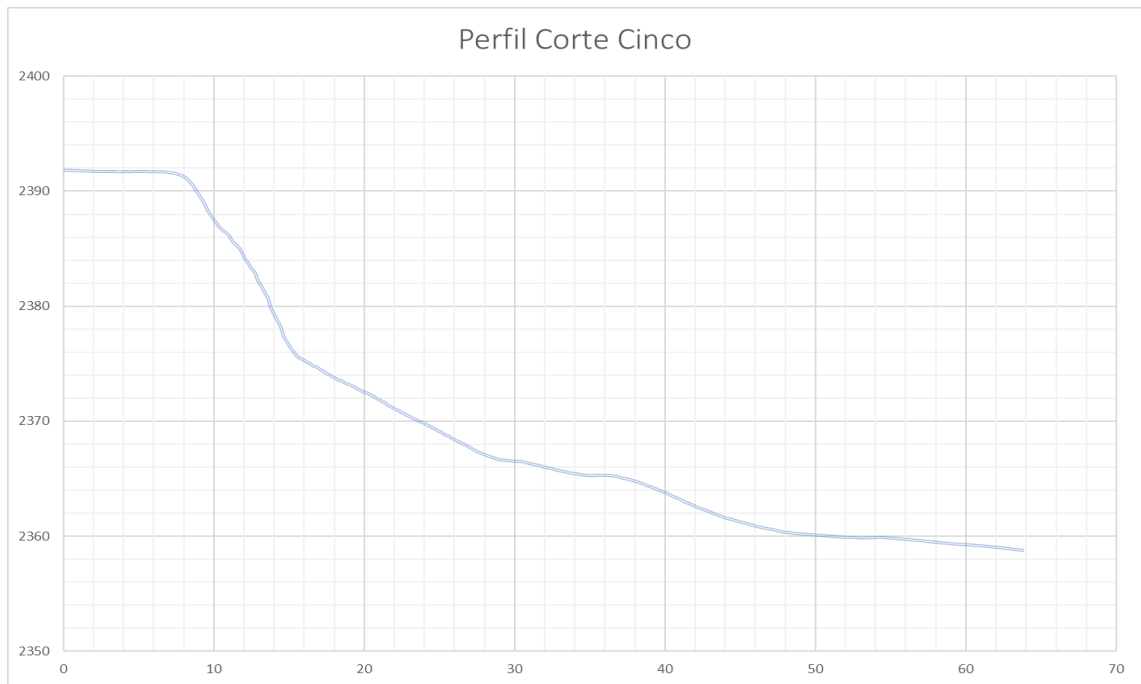
**Ilustración 27.-** Análisis corte dos del talud



**Ilustración 28.-** Perfil del dos tres del talud



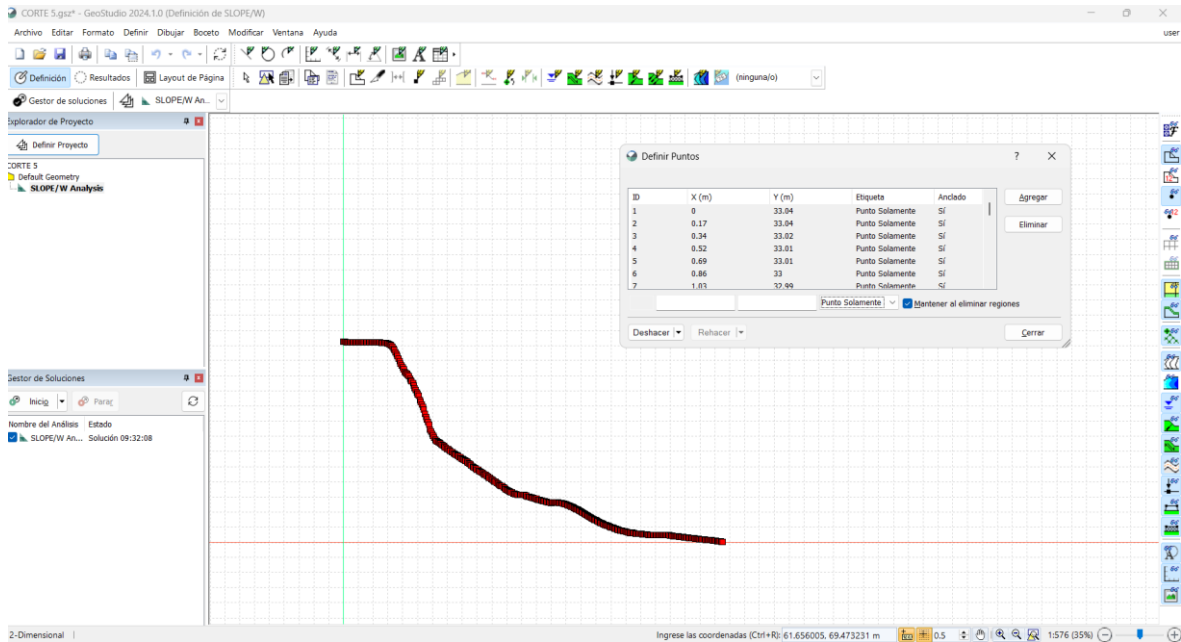
**Ilustración 29.-** Análisis corte cinco del talud



**Ilustración 30.-** Perfil del corte cinco del talud

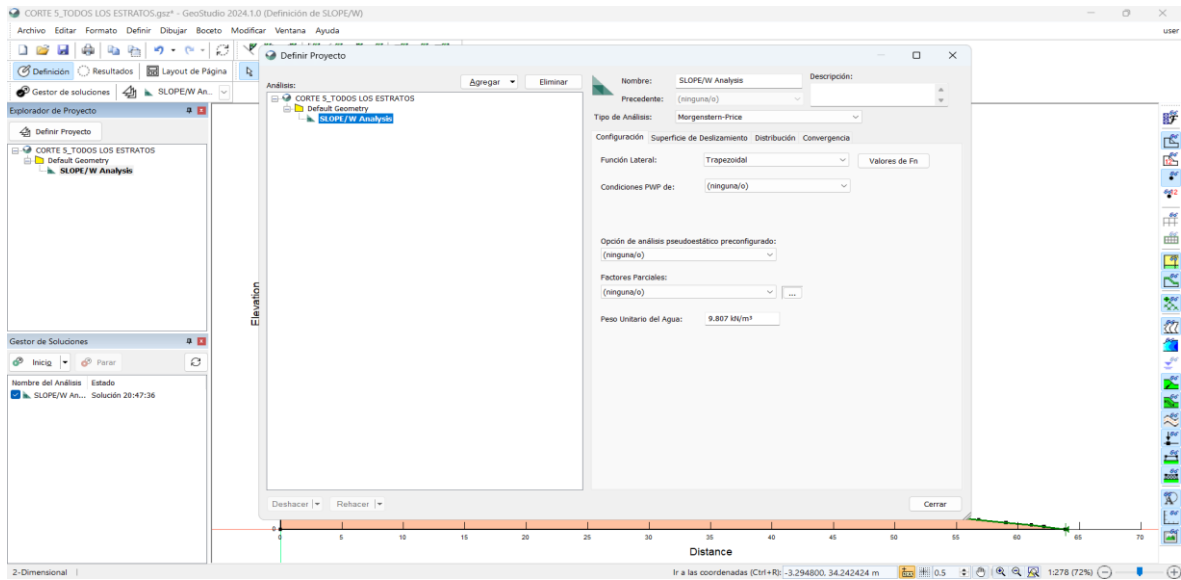
Con esta información de los cortes se procede con el modelado en el programa *GeoStudio 2024* (Jiménez, 2024; Seequent Evo, 2024) con los siguientes pasos.

1. Se ingresan los valores de las coordenadas de los cortes de análisis.

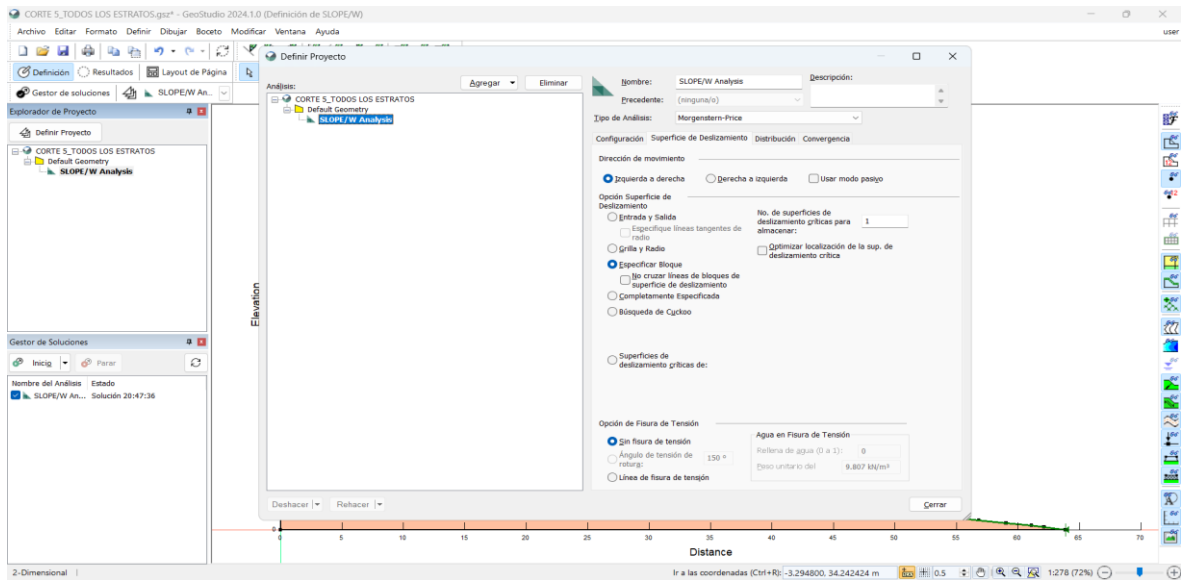


**Ilustración 31.-** Valores de coordenadas del corte.

2. Cuando ya están ingresados los puntos, se procede con la selección del tipo de análisis del modelo matemático para obtener el valor de factor de seguridad. En este caso se analizará por el método Morgenstern-Price el cual es un método que analiza el equilibrio de fuerzas y momentos actuantes en bloques individuales. (GEO5, 2021) Una de las características de este método es que posee un tipo de falla arbitrario por cuñas, es decir, que no necesariamente será un tipo de falla circular como los otros métodos. (González de Vallejo, 2002)

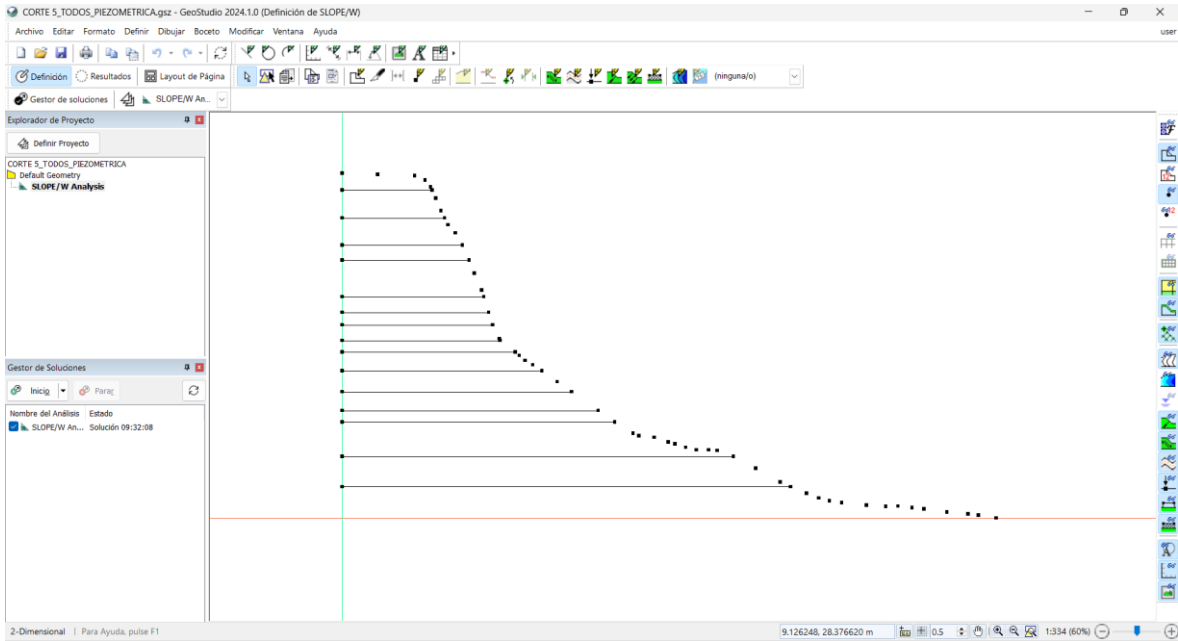


**Ilustración 32.-** Elección del método Morgenstem-Price



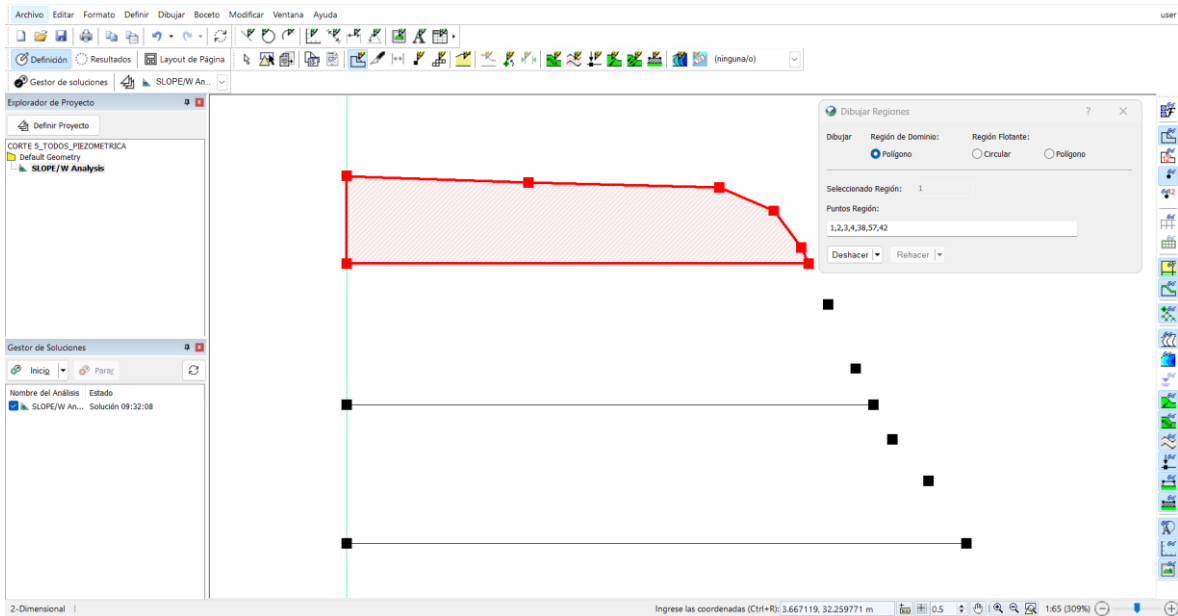
**Ilustración 33.-** Método Morgenstem-Price y sus características de evaluación de la falla.

3. Se dibujan las líneas de referencia de cada estrato que conforma el talud.



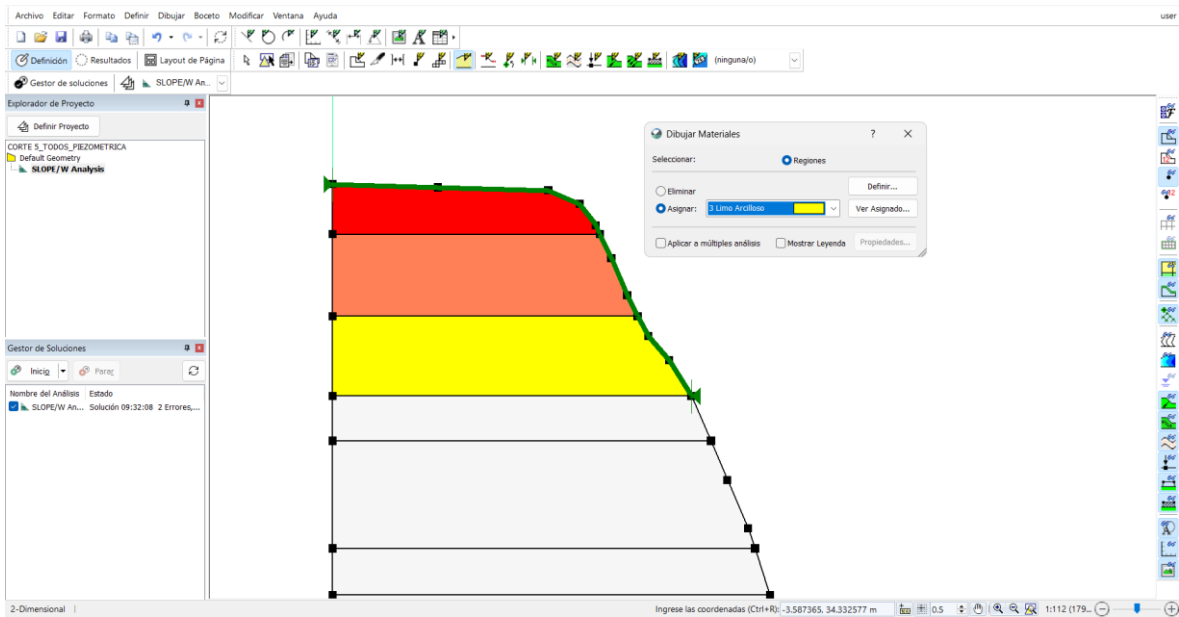
**Ilustración 34.-** Líneas de referencia de cada estrato del talud.

4. Se delimitan las áreas de cada estrato para colocar las características del suelo de cada uno.



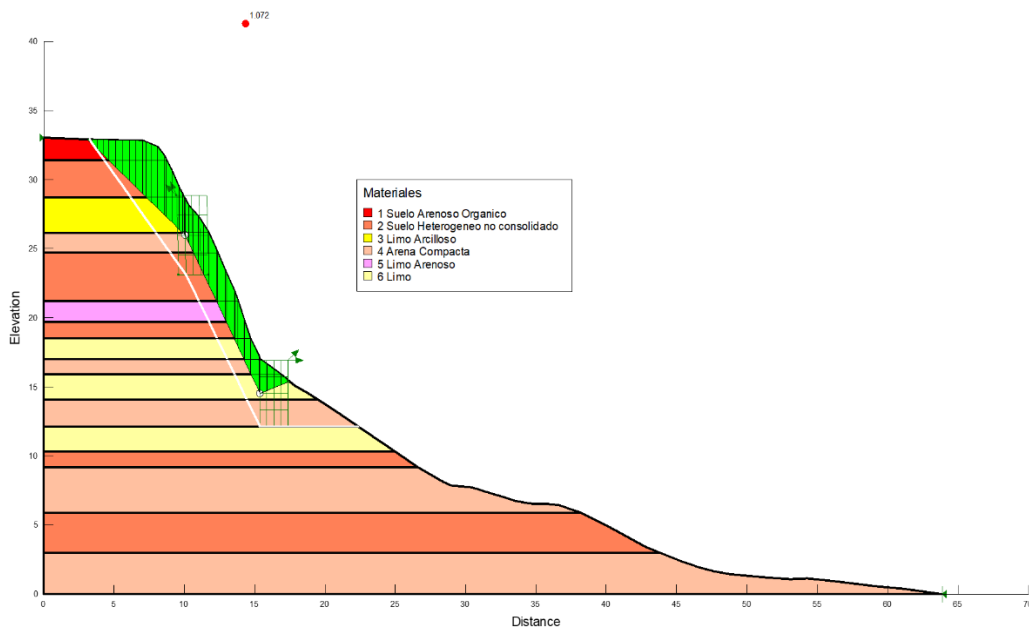
**Ilustración 35.-** Delimitación de las áreas de los estratos.

5. Se ingresan los valores de cohesión, ángulo de fricción y peso unitario de cada material.



**Ilustración 36.-** Ingreso de las propiedades de los materiales.

6. Cuando cada estrato está bien delimitado y con su material correspondiente se corre el programa para que nos de los valores del factor de seguridad.



**Ilustración 37.-** Corrida del programa para determinar el factor de seguridad.

## CAPÍTULO IV

### 4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1 Presentación de resultados

Cuando se corre el programa se tuvieron consideraciones en los cortes tres y cinco. En el corte tres se hizo cuatro análisis el primero con el promedio de los valores de los datos obtenidos en el laboratorio, el segundo con los valores obtenidos en el laboratorio de cada estrato, el tercero con valores obtenidos por medio de bibliografía de los estratos más representativos y el cuarto con los valores de los estratos representativos más una línea piezométrica correspondiente a la presencia del Río Monjas. El corte cinco se hicieron los mismos análisis exceptuando el análisis por efectos del río.

La **Tabla 4** indica los valores de peso específico, ángulo de fricción y cohesión de los seis materiales más predominantes presentes en el talud obtenidos por medio de bibliografía y la **Tabla 5** presenta los valores obtenidos en el laboratorio con su promedio.

**Tabla 4.-** Cohesión, fricción y peso unitario de los materiales

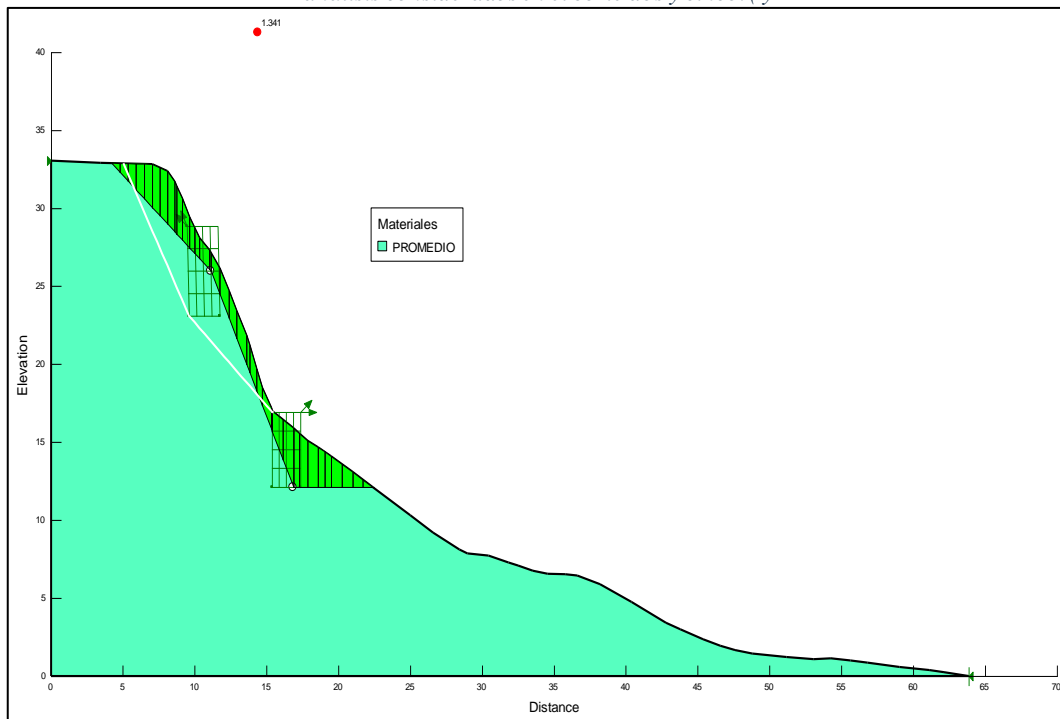
# Suelo	Composición	Peso Específico (kN/m <sup>3</sup> )	Ángulo de Fricción (°)	Cohesión (kPa)	Cohesión Promedio (kPa)
1	Suelo Arenoso Orgánico	15	16	16	15
2	Suelo Heterogéneo No consolidado	14,5	25,53	0,98	2,99
3	Limo Arcilloso	16,8	27,52	1,96	5,98
4	Arena Compacta	18	32	0	0
5	Limo Arenoso	13,65	35,34	0	3,75
6	Limo	15	20	10	10

**Tabla 5.-** Promedio de los valores de cohesión y ángulo de fricción de los datos de laboratorio

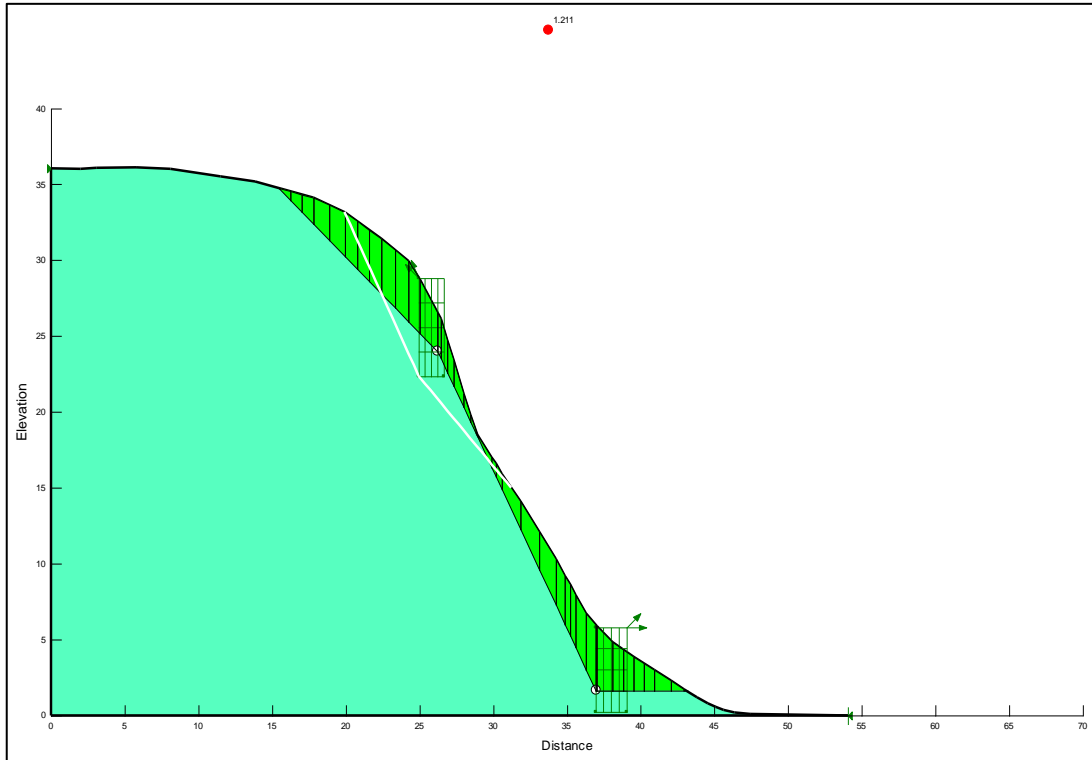
# Suelo	Composición	Peso Específico (kN/m <sup>3</sup> )	Ángulo de Fricción (°)	Cohesión Práctica (kPa)	Cohesión Promedio (kPa)
1	Suelo Heterogéneo No consolidado	14,5	25,53	0,98	2,99
2	Limo Arcilloso	16,8	27,52	1,96	5,98
3	Limo Arenoso	13,65	35,34	0,00	3,75
	<b>PROMEDIO</b>	<b>14,98</b>	<b>29,46</b>	<b>0,98</b>	<b>4,24</b>

Después de correr en el programa estos análisis, se determinó que por medio del método de Morgenstern el factor de seguridad promedio del talud es de 1.152, como se indica a continuación en la **Tabla 6**.

El análisis del factor de seguridad obtenido por el programa se indica en la **Ilustración 38** y así para el resto de los análisis considerados en el corte dos y cinco. (y



)



**Ilustración 38.-** Corte 2, corrida con el promedio de los materiales

**Tabla 6.-** Presentación del factor de seguridad método *Morgenstern-Price*

<b>Factor de Seguridad (FS) Morgenstern-Price</b>		
<b>CORTE 2 A-A'</b>	PROMEDIO DE LOS MATERIALES	1.21
	TRES MATERIALES PREDOMINANTES	1.12
	TODOS LOS MATERIALES	1.18
	CON SISMO	0.95
<b>CORTE 5 B-B'</b>	PROMEDIO DE LOS MATERIALES	1.34
	TRES MATERIALES PREDOMINANTES	1.19
	TODOS LOS MATERIALES	1.07
	CON SISMO	0.87
	<b>PROMEDIO FINAL</b>	<b>1.116</b>

## 4.2 Interpretación de los resultados obtenidos

### 4.2.1 Ensayo de compresión simple

Los datos obtenidos de compresión simple (**Tabla 3**), representa la resistencia última a la compresión ( $q_u$ ) del material ensayado, siendo estos valores de 0,58 y 1,27 kg/cm<sup>2</sup> para el estrato 6 y 12 respectivamente. Sin embargo, estos valores nos indica suelos de consistencia mediana y firme. (Rojas et al., 2019)

### 4.2.2 Estabilidad del Talud

En el corte 2 A-A', los resultados reflejan una condición de inestabilidad crítica en un escenario donde se consideró el promedio todos los materiales (FS = 1.21) calculado por el Método de Morgenstern-Price, pero este disminuye significativamente al incluir parámetros sísmicos donde el (FS = 0.95), indicando un estado de inminente falla según las condiciones establecidas.

Por otro lado, el corte 5 B-B', alcanza un (FS = 1.34), donde se consideró el promedio todos los materiales. Esto implica un riesgo directo para las construcciones cercanas, especialmente en situaciones de carga adicional, pero este disminuye significativamente al incluir parámetros sísmicos donde el (FS = 0.87), indicando un estado de inminente falla según las condiciones establecidas.

### 4.2.3 Composición del talud

El talud está compuesto por materiales granulares, arena limosa (**SM**), limos inorgánicos, arenas muy finas y polvo de roca (**ML**), tienen un ángulo de fricción alto (35.34°), presentan baja cohesión, lo que limita su capacidad de resistir el esfuerzo cortante, aunque ofrecen cohesión mínima de (5.98 kPa) resultado obtenido por el ensayo de corte directo, también carecen de la resistencia necesaria para proporcionar estabilidad y no tienen plasticidad.

### 4.2.4 Distribución de esfuerzos y propiedades mecánicas

Los valores obtenidos del ensayo de corte directo y compresión simple confirmaron que los estratos seleccionados no tienen una resistencia adecuada para soportar las

condiciones de carga actuales, especialmente en zonas cercanas a la base del talud por la influencia del río.

## CAPÍTULO V

### 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

A pesar de que el talud muestra una condición de inestabilidad crítica, esta se debe principalmente a la resistencia que ofrecen los materiales que conforman su estructura interna, los cuales soportan las cargas y fuerzas principales. Sin embargo, las muestras recolectadas y los datos obtenidos del modelado del talud, no representan de manera integral la totalidad ni el comportamiento global, ya que fueron extraídas de zonas expuestas directamente a factores naturales abrasivos, como la erosión eólica y fluvial.

El análisis de estabilidad realizado mediante el método de Morgenstern-Price confirman que el talud se encuentra en una condición general inestable, con factores de seguridad promedio inferiores al umbral mínimo recomendado ( $FS \geq 1.5$ ).

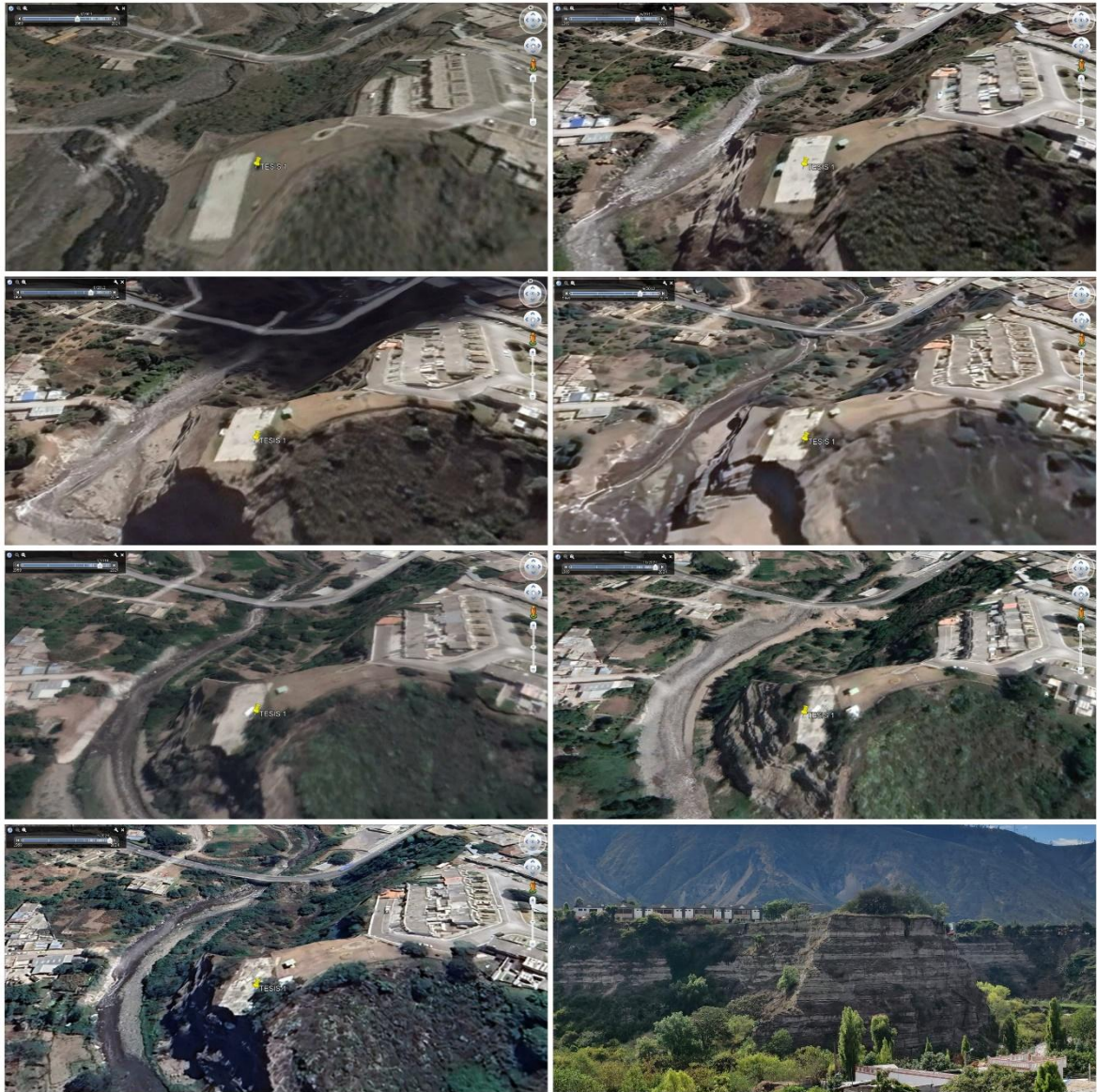
El análisis incorporando la línea piezométrica supuesta demuestra que la proximidad al río Monjas es un factor crítico que incrementa la inestabilidad del talud debido a la saturación parcial del suelo y la erosión fluvial continua en la zona de estudio. Asimismo, las condiciones climáticas, como la erosión eólica en los estratos superiores, contribuyen a la pérdida de masa del talud.

La composición del talud, dominada por materiales granulares, arena limosa (*SM*), limos inorgánicos, arenas muy finas y polvo de roca (*ML*), presenta limitaciones significativas en términos de cohesión y resistencia al esfuerzo cortante:

- Las arenas limosas (*SM*), aunque poseen un ángulo de fricción elevado ( $35.34^\circ$ ), carecen de cohesión suficiente para garantizar estabilidad.
- Los limos inorgánicos, arenas muy finas y polvo de roca (*ML*), ofrecen una cohesión mínima de (5.98 kPa) resultado obtenido por el ensayo de corte directo, lo que los hace ineficaces frente a las tensiones inducidas por la carga.

Una vez realizado el análisis del modelo matemático ingresando los parámetros sísmicos el  $F_s = 0.95$ , esto quiere decir que el talud está en estado de inminente falla según las condiciones que se le ha sido asignado.

El análisis de imágenes satelitales sugiere que el talud ha estado sujeto a una erosión significativa durante los últimos 22 años, lo que confirma un proceso de degradación progresiva. Esta pérdida de masa es consistente con los resultados de los factores de seguridad obtenidos y enfatiza la necesidad de implementar medidas correctivas inmediatas.



**Ilustración 39.-** Erosión del talud a través de los años

Los factores de seguridad obtenidos son consistentes con los modelos analizados y reflejan el estado crítico del talud. Sin embargo, estos valores son afectados por la calidad limitada de las muestras y ensayos de laboratorio, ya que las mismas no abarcan el comportamiento completo del talud.

Los materiales de las capas internas proporcionan la resistencia estructural necesaria, mientras que los estratos superficiales y cercanos a la base del talud son los más vulnerables a fallas inducidas por factores ambientales y geomorfológicos.

## **5.2 Recomendaciones**

### **Implementación de estructuras de contención**

- Instalar gaviones en la base del talud para mitigar la erosión fluvial causada por el río Monjas y garantizar un drenaje eficiente.
- Realizar el revestimiento del Talud con hormigón lanzado, para que no este en contacto directo con los agentes atmosféricos y evitar una temprana erosión del mismo.

### **Estabilización del suelo**

- Implementar el refuerzo de las capas superiores del talud mediante la instalación de mallas geotextiles, lo cual contribuirá a prevenir deslizamientos superficiales y minimizar la erosión causada por agentes eólicos.
- Complementar estas medidas con la aplicación de hormigón lanzado para aumentar la cohesión superficial y mejorar la estabilidad global del talud.
- Instalar sistemas de drenaje efectivos para controlar la infiltración de agua y reducir la presión de poros.

### **Monitoreo continuo**

- Establecer un sistema de monitoreo del talud mediante estaciones topográficas y sensores para medir deformaciones y cambios en las condiciones del suelo, realizando evaluaciones cada seis meses.
- Realizar inspecciones periódicas durante la temporada de lluvias para evaluar posibles deslizamientos y cambios geomorfológicos.

### **Gestión de aguas pluviales**

- Construir sistemas de drenaje superficial.
- Implementar zanjas de coronación para redirigir el agua lejos de las áreas críticas.

### **Revegetación**

- Establecer una cubierta vegetal adecuado en las zonas superiores del talud para reducir la erosión eólica y mejorar la cohesión del suelo mediante raíces profundas.
- Investigar especies vegetales endémicas que se adapten a las condiciones locales o utilizar geotextiles orgánicos para fomentar la revegetación

### **Profundización en estudios de campo y laboratorio**

- Realizar estudios adicionales detallados in situ y en laboratorio, como ensayos triaxiales, pruebas de penetración estática (CPT) y pruebas de dilatómetro (DMT), para mejorar la caracterización del comportamiento mecánico del suelo y la estabilidad del talud.

### **Restricciones estructurales**

- Evitar añadir cualquier tipo de carga estructural adicional al talud para no incrementar las tensiones internas y el riesgo de deslizamientos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alva Hurtado, J. E. (2011). *Diseño de cimentaciones*. <http://www.guzlop-editoras.com/>.
- ASTM D2487. (2017). *Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*. <https://doi.org/10.1520/D2487-17>
- ASTM D3080. (2004). *Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions*. <https://doi.org/10.1520/D3080-04>
- ASTM D6528. (2017). *Test Method for Consolidated Undrained Direct Simple Shear Testing of Cohesive Soils*. <https://doi.org/10.1520/D6528-17>
- ASTM D6913-04. (2009). *Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis*. <https://doi.org/10.1520/D6913-04R09E01>
- ASTM D7263. (2021). *Test Methods for Laboratory Determination of Density (Unit Weight) of Soil Specimens*. <https://doi.org/10.1520/D7263-21>
- ASTM D7928. (2021). *Test Method for Particle-Size Distribution (Gradation) of Fine-Grained Soils Using the Sedimentation (Hydrometer) Analysis*. <https://doi.org/10.1520/D7928-21E01>
- Braja M., D. (2015). Fundamentos de ingeniería geotécnica 4ta edición. *Fundamentos de ingeniería geotécnica Braja M. Das 4ta edición, 2015(1), 1–658*. [https://www.academia.edu/36776734/Fundamentos\\_de\\_ingenieria\\_geotecnica\\_braja\\_m\\_das\\_4ta\\_edicion](https://www.academia.edu/36776734/Fundamentos_de_ingenieria_geotecnica_braja_m_das_4ta_edicion)
- Diario El Comercio. (2024, mayo 29). *La Pampa lidia con un deslizamiento de tierra - El Comercio*. <https://www.elcomercio.com/actualidad/la-pampa-lidia-con-deslizamiento-tierra.html>
- EADIC. (2023, enero). *Estabilidad de un talud. Factores que influyen*. ESTRUCTURAS, MATERIALES Y GEOTECNIA. <https://eadic.com/blog/entrada/estabilidad-de-un-talud-factores-que-influyen/>
- El Universo. (2024, noviembre 1). *Derrumbe genera preocupación en La Pampa, parroquia Pomasqui, norte de Quito*. <https://www.eluniverso.com/noticias/ecuador/derrumbe-genera-preocupacion-en-la-pampa-parroquia-pomasqui-norte-de-quito-nota/>

- Gavidia, A. (2019). *¿Qué es el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)?* INGEOTÉCNICA. <https://ingeotecnica.com/sistema-unificado-de-clasificacion-de-suelos-sucs>
- GEO5. (2021). *Morgenstern-Price | Superficie de deslizamiento poligonal | Ayuda en línea.* <https://www.finesoftware.es/ayuda-en-linea/geo5/es/morgenstern-price-01/>
- Geotecnia Fácil. (2017). *Ensayo de corte directo: Metodología, procedimientos y cálculos.* <https://geotecniafacil.com/ensayo-de-corte-directo/>
- Gómez Orea, A. (2023). *Modelos 3D con Drones: Una Guía Completa.* Godron Enterprise. <https://enterprise.godron.mx/como-se-crean-modelos-3d-utilizando-drones/>
- González de Vallejo, L. I. (2002). Ingeniería Geológica. *Ingeniería Geológica*, 608–664. <https://es.slideshare.net/RafaelChale/ingenieriageologicagonzales-de-vallejolibro-fullpdf>
- Grupo CIPSA. (2022). *DIFERENCIAS ENTRE SUELOS COHESIVOS Y GRANULARES.* <https://www.cipsa.com.mx/26/noticias/diferencias-entre-suelos-cohesivos-y-granulares/>
- Hoek, E., & Bray, J. (1991). *Manual de Taludes.*
- INGEOM. (2023, julio). *Estudio de estabilidad de taludes: ¿por qué es esencial? - BLOG.* <https://inggeom.es/es/blog/estudio-de-estabilidad-de-taludes>
- Jiménez, A. (2024, febrero). *Instalación de Geostudio - Versión de estudiante - YouTube.* <https://www.youtube.com/watch?v=Vwjgkn9sEBQ>
- Mora Ortiz, R. S., & Rojas González, E. (2012). Efecto de la saturación en el deslizamiento de talud en la comunidad San Juan de Grijalva, Chiapas. *Ingeniería, investigación y tecnología*, ISSN 1405-7743, ISSN-e 2594-0732, Vol. 13, N°. 1, 2012, 13(1), 6. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-77432012000100006](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432012000100006)
- MUELAS RODRIGUEZ, A. (2012). *MANUAL DE MECANICA DEL SUELO Y CIMENTACIONES.* [https://www.academia.edu/8000507/MANUAL\\_DE\\_MECANICA\\_DEL\\_SUELO\\_Y\\_CIMENTACIONES\\_AUTOR\\_ANGEL\\_MUELAS\\_RODRIGUEZ\\_MANUAL\\_DE\\_](https://www.academia.edu/8000507/MANUAL_DE_MECANICA_DEL_SUELO_Y_CIMENTACIONES_AUTOR_ANGEL_MUELAS_RODRIGUEZ_MANUAL_DE_)

MECANICA\_DEL\_SUELO\_Y\_CIMENTACIONES\_CAPITULO\_1\_CARACTERIZACION\_DE\_LOS\_SUELOS

- Pérez de Ágreda, E. A. (2005). *Estabilidad de Taludes*. Universidad Politécnica de Catalunya. [https://portal.camins.upc.edu/materials\\_guia/250339/2015/Tema5--Taludes.pdf](https://portal.camins.upc.edu/materials_guia/250339/2015/Tema5--Taludes.pdf)
- Rojas, P., Parola, L., Bressan, D., Reinert, H., & Ayala, A. (2019). *CORRELACIÓN ENTRE ENSAYO SPT Y PARAMETROS RESISTENTES EN SUELOS TROPICALES*.
- Santamaría Peña, J., & Sanz Méndez, T. (2011). *Fundamentos de Fotogrametría*. UNIVERSIDAD DE LA RIOJA - SERVICIO DE PUBLICACIONES. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/492591.pdf>
- Seequent Evo. (2024). *GeoStudio 2D - Seequent*. <https://www.seequent.com/products-solutions/geostudio-2d/>
- Shaxson, F., & Barber, R. (2005). Hidrología, arquitectura del suelo y movimiento del agua. *Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal*, 1–18. <https://www.fao.org/3/y4690s/y4690s06.htm>
- Suárez Díaz, J. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*. Bucaramanga Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos - Capítulos 3 y 4. <https://www.erosion.com.co/deslizamientos-y-estabilidad-de-taludes-en-zonas-tropicales/>
- UAVLatam. (2022). *¿Qué es y para qué sirve la fotogrametría?* UAV Latam. <https://uavlatam.com/que-es-la-fotogrametria-como-funciona/>
- Zuloaga, I. (2023). *¿Qué tiene que ver el ángulo de fricción interna y la cohesión, con la resistencia del suelo?* geotecnia.AI. <https://geotecnia.ai/que-tiene-que-ver-el-angulo-de-friccion-interna-y-la-cohesion-con-la-resistencia-del-suelo/>
- Zuloaga, I. (2024). *¿Puedes explicarme la teoría de la plasticidad en suelos?* geotecnia.AI. <https://geotecnia.ai/puedes-explicarme-la-teoria-de-la-plasticidad-en-suelos/>




## ANEXOS






### *Anexo 1.- Características del suelo para columna estratigráfica*




HOLE ID	Estrato	From	to	Litología	INDENT PERCENTAGE	INDENT KEYWORD	INDENT SCALE
C1	EST 1	31,4	33	Suelo	40	RECTO	10
C1	EST 2	31,05	31,4	Depósito heterogéneo no consolidado	35	granocreciente	10
C1	EST 2	30,9	31,05	Andesita	90	granocreciente	10
C1	EST 2	30,6	30,9	Depósito heterogéneo no consolidado	35	granocreciente	10
C1	EST 3	29,85	30,6	Depósito heterogéneo no consolidado	40	granodecreciente	10
C1	EST 3	29,8	29,85	Pómez	60	granodecreciente	10
C1	EST 4	29,65	29,8	Depósito heterogéneo no consolidado	35	granocreciente	10
C1	EST 4	29,5	29,65	Pómez	60	granocreciente	10
C1	EST 5	28,75	29,5	Depósito heterogéneo no consolidado	40	granocreciente	10
C1	EST 6	27,35	28,75	Limo - arcilloso	10	granodecreciente	10
C1	EST 7	27,25	27,35	Pómez	50	granocreciente	10
C1	EST 7	26,15	27,25	Limo - arcilloso	15	granocreciente	10
C1	EST 8	25,45	26,15	Arena	35	granocreciente	10
C1	EST 9	25,1	25,45	Depósito heterogéneo no consolidado	35	granocreciente	10
C1	EST 9	25,05	25,1	Pómez	80	granocreciente	10
C1	EST 9	24,75	25,05	Depósito heterogéneo no consolidado	35	granocreciente	10
C1	EST 9	24,7	24,75	Pómez	80	granocreciente	10
C1	EST 10	23,5	24,7	Depósito heterogéneo no consolidado	35	granocreciente	10
C1	Material suelto	22,3	23,5	Material suelto	0	RECTO	10
C1	EST 11	21,4	22,3	Depósito heterogéneo no consolidado	35	granocreciente	10
C1	EST 11	21,2	21,4	Pómez	80	granocreciente	10
C1	EST 12	19,7	21,2	Limo -arenoso	25	granodecreciente	10
C1	EST 13	19,25	19,7	Depósito heterogéneo no consolidado	35	granodecreciente	10
C1	EST 13	19	19,25	Pómez	80	granodecreciente	10
C1	EST 13	18,5	19	Depósito heterogéneo no consolidado	35	granodecreciente	10

HOLE ID	Estrato	From	to	Litología	INDENT PERCENTAGE	INDENT KEYWORD	INDENT SCALE
C1	EST 14	17	18,5	Limo	15	granodecreciente	10
C1	EST 15	16,7	17	Arena	35	granocreciente	10
C1	EST 15	16,5	16,7	Pómez	60	granocreciente	10
C1	EST 15	16,35	16,5	Arena	35	granocreciente	10
C1	EST 15	16,1	16,35	Pómez	60	granocreciente	10
C1	EST 15	15,9	16,1	Arena	35	granocreciente	10
C1	EST 16	14,65	15,9	Limo	15	granodecreciente	10
C1	EST 16	14,35	14,65	Pómez	60	granodecreciente	10
C1	EST 16	14,1	14,35	Limo	15	granodecreciente	10
C1	EST 17	13,65	14,1	Pómez	65	granodecreciente	10
C1	EST 17	12,1	13,65	Arena	40	granodecreciente	10
C1	EST 18	11,6	12,1	Arena	45	granodecreciente	10
C1	EST 18	11,25	11,6	Pómez	70	granodecreciente	10
C1	EST 18	11	11,25	Arena	35	granodecreciente	10
C1	EST 18	10,75	11	Limo	15	granodecreciente	10
C1	EST 18	10,3	10,75	Pómez	60	granodecreciente	10
C1	EST 19	9,85	10,3	Depósito heterogéneo no consolidado	35	granocreciente	10
C1	EST 19	9,55	9,85	Pómez	60	granocreciente	10
C1	EST 19	9,2	9,55	Depósito heterogéneo no consolidado	35	granocreciente	10
C1	EST 20	6,4	9,2	Arena	35	granodecreciente	10
C1	EST 20	5,9	6,4	Pómez	60	granodecreciente	10
C1	EST 20	4,4	5,9	Depósito heterogéneo no consolidado	35	granodecreciente	10
C1	EST 20	3	4,4	Pómez	60	granodecreciente	10
C1	EST 21	2,9	3	Materia orgánica	70	granocreciente	10
C1	EST 21	2,35	2,9	Ceniza	20	granocreciente	10
C1	EST 21	2,15	2,35	Andesita	90	granocreciente	10
C1	EST 21	1,85	2,15	Pómez	70	granocreciente	10
C1	EST 21	1,4	1,85	Ceniza	20	granocreciente	10
C1	EST 21	1,3	1,4	Materia orgánica	70	granocreciente	10
C1	EST 21	1,05	1,3	Pómez	70	granocreciente	10
C1	EST 21	0,8	1,05	Arena	35	granocreciente	10
C1	EST 21	0,65	0,8	Depósito heterogéneo no consolidado	35	granocreciente	10
C1	EST 21	0,4	0,65	Ceniza	20	granocreciente	10
C1	EST 21	0,25	0,4	Ceniza	20	granocreciente	10
C1	EST 21	0	0,25	Pómez	70	granocreciente	10




Anexo 2.- Descripción in situ del talud




Muestra	DESCRIPCIÓN IN SITU																		Litología	Observaciones por intercalaciones	
	Profundidad total	Profundidad de intercalación	Foto con escala	Color	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>	Olor		Consistencia				Granulometría mm				Angularidad					
	m	m				Con	Sin	Muy blanda	Blanda	Firme	Dura	Muy dura	gravas	arenas	finos	muy finos	Angular	Subangular			Subredondeada
EST 1	1,6	1,6		Café oscuro	1,8	X									X				X	Suelo	Se observan estructuras como bioturbaciones y fragmentos de raíces, junto con minerales como plagioclasa y ferromagnesianos. El material presenta un característico olor a materia orgánica. Es fácilmente manipulable a mano y se desmorona con facilidad al ser excavado o pisado.
EST 2	0,8	0,35		Café	3,42		X													Depósito heterogéneo no consolidado	Menos contenido de vegetación. Mezcla de arenas de distintos tamaños, limos y arcilla. Granos subredondeados. Se observa una mezcla heterogénea. Fácil de manipular se desmorona al pisar y al manipular con los dedos.
		0,15		Gris claro			X											X		Andesita	Volcanoclastos de hasta 4 cm de tamaño. Los minerales que componen la roca presentan un tamaño medio a grueso. Las rocas están en una matriz soportada, lo que indica que las rocas no están en contacto directo entre sí.
		0,3		Café			X													X	Depósito heterogéneo no consolidado
EST 3	0,8	0,75		Café	3,42		X								X				X	Depósito heterogéneo no consolidado	Color y tamaño de grano similar al estrato 2 "EST 2". Se observa una mezcla heterogénea de granos de distinto tamaño.
		0,05		Gris claro																	Pómez



Muestra	DESCRIPCIÓN IN SITU																		Litología	Observaciones por intercalaciones			
	Profundidad total m	Profundidad de intercalación m	Foto con escala	Color	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>	Olor		Consistencia					Granulometría mm				Angularidad						
						Con	Sin	Muy blanda	Blanda	Firme	Dura	Muy dura	gravas	arenas	finos	muy finos	Angular	Subangular			Subredondeada	Redondeada	
EST 4	0,3	0,15		Café claro	4,5		X												X	Depósito heterogéneo no consolidado	Mezcla de arenas de diferentes tamaños, limos y arcillas. Granos subredondeados. Se observa una mezcla heterogénea. Se desmorona al pisar o manipular con la mano.		
		0,15		Blanco grisáceo			X															Pómez	Volcanoclastos de hasta 1 cm en una matriz de tamaño arena. Un mal sorteo de volcanoclastos.
EST 5	0,75	0,75		Café claro	4,5		X													X	Depósito heterogéneo no consolidado	Pómez desintegrada de hasta 2 cm que sirve como matriz. Además se siente al tacto distintos tipos de grano, limos, arcilla y arena. En su mayoría granos subredondeados. Fácilmente se demorana con los dedos.	
EST 6	1,4	1,4		Beige	4,5		X														X	Limo - arcilloso	No se observa evidencia de volcanoclastos. El material se encuentra compactado, pero puede deshacerse aplicando fuerza manual. Presenta fisuras ocasionadas por raíces y permite la excavación de calicatas.
EST 7	1,2	0,1		Blanco grisáceo	4,5		X															Pómez	Volcanoclastos mucho más pequeños (pómez desintegrada) hasta 5 mm con respecto al estrato superior.
		1,1		Beige			X			X											X	Limo-arcilloso	Se siente al tacto el limo. Presencia de meteorización por la vegetación. Estrato más compactado que el superior. Requiere presión firme con los dedos para moldearse.

DESCRIPCIÓN IN SITU																						
Muestra	Profundidad total	Profundidad de intercalación	Foto con escala	Color	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>	Olor		Consistencia					Granulometría mm				Angularidad				Litología	Observaciones por intercalaciones
	m	m				Con	Sin	Muy blanda	Blanda	Firme	Dura	Muy dura	gravas	arenas	finos	muy finos	Angular	Subangular	Subredondeada	Redondeada		
EST 8	0,7	0,7		Café oscuro	3,75		X													Arena	Restos de vegetación visible. Prácticamente no presenta cohesión y se desmorona con facilidad al excavar. Baja resistencia al pisar o manipular.	
EST 9	0,75	0,35		Café oscuro			X														Depósito heterogéneo no consolidado	Matriz heterogénea con granos desde arenas hasta limos. No se encuentra firme se desmorana fácilmente.
		0,05		Blanco grisáceo			X														Poméz	Volcanoclastos hasta de 5 cm. En general, mal sorteo (mezcla de tamaños de volcanoclastos). Los volcanoclastos se encuentran en una matriz heterogénea.
		0,3		Café oscuro			X															Depósito heterogéneo no consolidado
		0,05		Blanco grisáceo		X															Poméz	Los volcanoclastos tienen tamaños que varían entre 1 mm y 5 mm. En la parte superior de la intercalación, los volcanoclastos son más grandes que en la parte inferior, lo que indica una estructura granocreciente. Muestra tomada para ensayo de calicata.
EST 10	1,2	1,2		Café oscuro	4,5		X												Depósito heterogéneo no consolidado	Pómez desintegrada de hasta 1 mm. Material más firme se demorana con más presión con los dedos.		



Muestra	Profundidad total m	Profundidad de intercalación m	Foto con escala	Color	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>	DESCRIPCIÓN IN SITU														Litología	Observaciones por intercalaciones				
						Olor		Consistencia					Granulometría mm				Angularidad								
						Con	Sin	Muy blanda	Blanda	Firme	Dura	Muy dura	gravas	arenas	finos	muy finos	Angular	Subangular	Subredondeada			Redondeada			
EST 14	1,5	1,5		Blanco hueso	4,5		X														Limo	Compacto homogéneo con fisuras y huecos presentes por la presencia de vegetación y animales. Estrato meteorizado de color naranja en las fisuras y huecos. Con presión firme en los dedos se puede desmoronar.			
EST 15	1,1	0,3		Gris	2,1		X							X								Arena	Prácticamente no presenta cohesión y se desmorona con facilidad al excavar.		
		Blanco grisáceo				X																	Pómez	Baja resistencia al pisar o manipular. Volcanoclastos de 1 cm - 2 cm. En una matriz de arena.	
		Café claro				X										X								Arena	Se observa la presencia de laminaciones de aproximadamente 1 cm de espesor, de color gris oscuro, con múltiples repeticiones. Estas estructuras posiblemente se formaron por acción del agua.
		Blanco grisáceo				X																		Pómez	Volcanoclastos de 1 cm - 2 cm subredondeados. En una matriz de arena de grano medio - fino.
		Café claro				X										X								Arena	Se nota al tacto que el tamaño de arena es más grande que la arena encontrada en la parte superior. No presenta cohesión y se desmorona con facilidad al excavar. Baja resistencia al pisar o manipular.
EST 16	1,8	1,25		Beige	4,5		X								X							Limo	Compactado homogéneo. No se desmorona al manipular con la mano o al pisar.		
		Blanco Grisáceo				X																	Pómez	Volcanoclastos en un matriz de arena de 0.5 cm - 1 cm subredondeados.	
		Beige claro				X			X								X						Limo	El color se distingue por un tono más claro en comparación con la parte superior, aunque también se trata de limo. Hay evidencia de meteorización del material, manifestada por un color naranja en las fisuras, producto de las bioturbaciones. El material se desmorona fácilmente al manipularlo.	

Muestra	DESCRIPCIÓN IN SITU																						
	Profundidad total m	Profundidad de intercalación m	Foto con escala	Color	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>	Olor		Consistencia					Granulometría mm				Angularidad				Litología	Observaciones por intercalaciones	
						Con	Sin	Muy blanda	Blanda	Firme	Dura	Muy dura	gravas	arenas	finos	muy finos	Angular	Subangular	Subredondeada	Redondeada			
EST 17	2	0,45		Blanco grisáceo	4,5		X													Pómez	Volcanoclastos de 1 cm - 3 cm subredondeados. En una matriz de arena media.		
		1,55		Café			X														Arena	Arenas intercaladas con tamaños que varían de fino a grueso, donde se observan estructuras laminadas que posiblemente se formaron por acción del agua. El material carece de cohesión y se desmorona fácilmente al ser excavado o manipulado con la mano.	
EST 18	1,8	0,5		Café	4,5		X													Arena	En su mayoría arena fina. No existe evidencia de vegetación. Sin cohesión y se desmorona con facilidad.		
		0,35		Pómez			X														Pómez	Los volcanoclastos más grandes son de 3 cm en una matriz de arena de color gris oscuro posiblemente ceniza.	
		0,25		Café			X															Arena	Mezcla de arenas finas y gruesas. No existe restos de vegetación. Sin cohesión y se desmorona con facilidad.
		0,25		Café claro											X							Limo	Suave al tacto, compactado. Requiere presión firme con los dedos para moldearse.
		0,45		Gris claro			X																Pómez
EST 19	1,1	0,45		Café	3,42		X														Aluvial	Mezcla de arenas y en su mayoría de material fino posiblemente ceniza.	
		0,3		Gris claro			X															Pómez	En la base de los volcanoclastos se observa una estructura de 1 cm lámina de color negro posiblemente formado por el agua. Los volcanoclastos son desde 0.1 cm - 2 cm.
		0,35		Café			X															Depósito heterogéneo no consolidado	Mezcla de arenas y en su mayoría de material fino posiblemente ceniza.

Muestra	Profundidad total m	Profundidad de intercalación m	Foto con escala	Color	Resistencia kg/cm²	Olor	DESCRIPCIÓN IN SITU											Litología	Observaciones por intercalaciones				
							Consistencia					Granulometría mm				Angularidad							
							Con	Sin	Muy blanda	Blanda	Firme	Dura	Muy dura	gravas	arenas	finos	muy finos			Angular	Subangulosa	Subredondeada	Redondeada
EST 20	6.2	2.8		Café	3.95	X							X				X		Arena	Sin presencia de vegetación.			
		0.5		Blanco Grisáceo		X														Pómez	Pómez de distintos tamaños en una matriz de grano medio.		
		1.5		Cáfe claro		X													X		Depósito heterogéneo no consolidado	Sin presencia aparente de vegetación.	
		1.4		Blanco Grisáceo		X															Pómez	Volcanoclastos grandes y pequeños en una matriz de color café claro.	
EST 21 Base	3	0.1		Negro	4.5	X	X												Materia orgánica	Materia orgánica de color negro que mancha las manos al contacto. Emite un característico olor a humo.			
		0.55		Gris claro		X							X					X		Ceniza	Presencia de raíces y ramas secas. Ceniza compactada, con mayor resistencia al ser manipulada. Requiere más esfuerzo para excavar o penetrar.		
		0.2		Gris claro		X															Andesita	Volcanoclastos subangulares de 10 cm en una matriz de arena.	
		0.3		Blanco Grisáceo		X															Pómez	Volcanoclastos subangulares de 1 cm hasta 5 cm en una matriz de arena mezclada con ceniza	
		0.45		Beige		X								X					X		Ceniza	Ceniza compactada, con mayor resistencia al ser manipulada. Requiere más esfuerzo para excavar o penetrar.	
		0.1		Negro		X															Materia orgánica	Materia orgánica de color negro que mancha las manos al contacto. Emite un característico olor a humo.	
		0.25		Gris claro		X															Pómez	Volcanoclastos desde 0.5 cm hasta 3 cm en una matriz de arena.	
		0.25		Café		X								X						X		Arena	No se observa presencia de restos de vegetación.
		0.15		Gris claro		X																Depósito heterogéneo no consolidado	Los volcanoclastos (andesita y pómez) están mezclados en una matriz de arena y ceniza
		0.25		Gris claro		X										X			X		Ceniza	Ceniza sin presencia de restos vegetales. Ceniza compactada, con mayor resistencia al ser manipulada. Requiere más esfuerzo para excavar o penetrar.	
		0.15		Blanco Grisáceo		X										X			X		Ceniza	Se observa la presencia de restos de vegetación y fisuras naranjas de aproximadamente 1 cm, generadas por raíces. En comparación con la ceniza de la parte superior, este material se percibe al tacto como más grueso.	
		0.25		Blanco Grisáceo		X															Pómez	Volcanoclastos de 2 cm en su mayoría, en una matriz de ceniza.	

Anexo 3.- Ensayo de corte directo de los estratos 6, 9 y 12

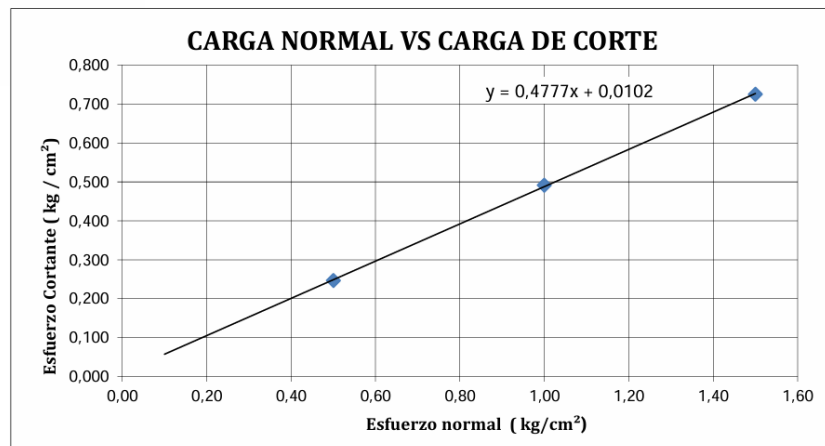
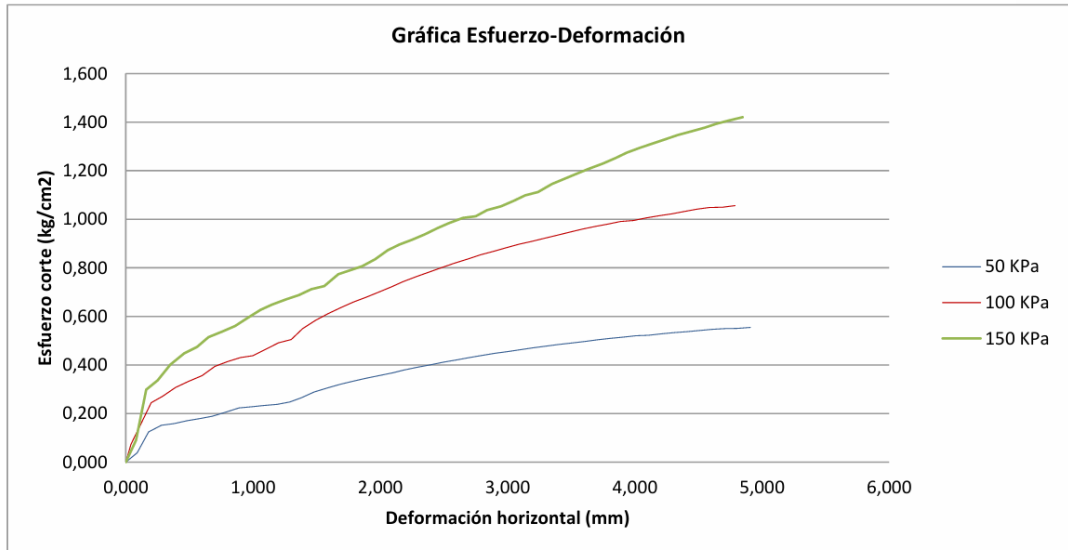


ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D3080 ; AASHTO T236, BS 1377									
PROYECTO:	TESIS								
CALICATA	MUESTRA 02 ESTRATO 06								
MATERIAL:	SUELO NATURAL								
CLIENTE:	JOSÉ QUISHPE								
SECTOR:	POMASQUI								
FECHA:	22/1/2025								
DESCRIPCION DEL APARATO NEUMATIC DIRECT/SHEAR RESIDUAL APARATUS 110 / 220 VAC 50-60 HZ HM-2560A.3F									
<b>DATOS INICIALES</b>									
<b>MUESTRA 02</b>									
	#1			#2			#3		
<b>HUMEDAD</b>									
Recipiente	K2	A6X2	107	81	K1	E4D			
Peso cápsula (gr)	13,78 gr	14,20 gr	14,51 gr	14,20 gr	14,39 gr	11,15 gr			
Peso cáp+s.húmedo (gr)	58,99 gr	64,44 gr	63,98 gr	55,10 gr	62,00 gr	46,32 gr			
Peso cáp+s.seco (gr)	55,74 gr	60,57 gr	60,29 gr	52,07 gr	58,48 gr	43,62 gr			
Contenido de humedad (%)	7,7 %	8,3 %	8,1 %	8,0 %	8,0 %	8,3 %			
Humedad promedio (%)	8,0 %			8,0 %			8,1 %		
Presión v	50 KPa			100 KPa			150 KPa		
<b>Medidas</b>									
Base [cm]	5,00			5,00			5,00		
Altura [cm]	2,80			2,80			2,80		
Área [cm <sup>2</sup> ]	25,00			25,00			25,00		
Volumen [cm <sup>3</sup> ]	70,00			70,00			70,00		
Peso molde+muestra [g]	1131,62			1131,77			1132,01		
Peso molde [g]	1041,09			1041,09			1041,09		
Peso muestra [g]	90,53			90,68			90,92		
Densidad g/cm <sup>3</sup>	<b>1,293</b>			<b>1,295</b>			<b>1,299</b>		
Nº	Carga (kN)	Horz (mm)	Esfuerzo corte (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kN)	Horz (mm)	Esfuerzo corte (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kN)	Horz (mm)	Esfuerzo corte (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1	0,009	0,090	0,038	0,018	0,040	0,073	0,022	0,080	0,090
2	0,030	0,180	0,124	0,036	0,110	0,148	0,073	0,160	0,299
3	0,037	0,280	0,151	0,060	0,200	0,245	0,083	0,250	0,337
4	0,039	0,380	0,159	0,067	0,290	0,271	0,098	0,350	0,401
5	0,042	0,480	0,170	0,075	0,390	0,307	0,110	0,460	0,448
6	0,044	0,590	0,180	0,081	0,490	0,332	0,116	0,560	0,474
7	0,046	0,680	0,189	0,087	0,600	0,356	0,126	0,650	0,515
8	0,051	0,790	0,206	0,097	0,700	0,395	0,132	0,760	0,538
9	0,055	0,890	0,223	0,102	0,800	0,414	0,138	0,860	0,561
10	0,056	0,990	0,228	0,106	0,900	0,431	0,146	0,960	0,594
11	0,057	1,080	0,232	0,108	1,000	0,439	0,154	1,060	0,627
12	0,058	1,190	0,238	0,114	1,100	0,465	0,159	1,150	0,649
13	0,061	1,290	0,247	0,121	1,200	0,492	0,164	1,260	0,670
14	0,065	1,380	0,265	0,124	1,300	0,505	0,169	1,360	0,687

15	0,071	1,480	0,289	0,135	1,390	0,550	0,175	1,460	0,712
16	0,075	1,590	0,306	0,143	1,490	0,583	0,178	1,560	0,725
17	0,079	1,690	0,321	0,150	1,590	0,611	0,190	1,670	0,774
18	0,082	1,790	0,334	0,156	1,690	0,636	0,194	1,760	0,789
19	0,085	1,890	0,346	0,162	1,790	0,659	0,198	1,860	0,807
20	0,087	1,990	0,356	0,167	1,890	0,679	0,205	1,960	0,835
21	0,090	2,100	0,368	0,172	1,990	0,700	0,214	2,060	0,873
22	0,093	2,190	0,379	0,177	2,090	0,722	0,220	2,150	0,896
23	0,096	2,290	0,391	0,182	2,180	0,743	0,225	2,250	0,916
24	0,098	2,400	0,401	0,187	2,290	0,765	0,230	2,350	0,938
25	0,101	2,500	0,411	0,192	2,390	0,784	0,236	2,450	0,964
26	0,103	2,600	0,421	0,197	2,490	0,802	0,241	2,540	0,984
27	0,106	2,700	0,430	0,201	2,580	0,819	0,247	2,650	1,005
28	0,108	2,800	0,439	0,205	2,690	0,836	0,248	2,750	1,013
29	0,110	2,900	0,448	0,209	2,790	0,854	0,255	2,840	1,038
30	0,112	3,000	0,455	0,213	2,890	0,868	0,258	2,950	1,053
31	0,114	3,100	0,463	0,216	2,980	0,882	0,264	3,050	1,076
32	0,115	3,200	0,471	0,220	3,090	0,897	0,269	3,140	1,098
33	0,117	3,300	0,477	0,223	3,190	0,909	0,273	3,240	1,113
34	0,119	3,400	0,484	0,226	3,290	0,921	0,281	3,350	1,145
35	0,120	3,500	0,490	0,229	3,390	0,935	0,286	3,450	1,167
36	0,122	3,610	0,497	0,232	3,490	0,947	0,291	3,540	1,187
37	0,124	3,710	0,504	0,235	3,590	0,959	0,296	3,640	1,208
38	0,125	3,810	0,510	0,238	3,690	0,971	0,302	3,750	1,230
39	0,126	3,910	0,515	0,240	3,790	0,980	0,307	3,850	1,252
40	0,128	4,010	0,520	0,243	3,890	0,991	0,313	3,940	1,275
41	0,128	4,110	0,522	0,244	3,990	0,995	0,317	4,040	1,294
42	0,130	4,210	0,528	0,247	4,090	1,006	0,322	4,150	1,313
43	0,131	4,310	0,533	0,249	4,190	1,015	0,326	4,240	1,330
44	0,132	4,410	0,537	0,251	4,290	1,023	0,330	4,340	1,347
45	0,133	4,510	0,542	0,253	4,390	1,032	0,334	4,450	1,362
46	0,134	4,610	0,547	0,255	4,490	1,042	0,338	4,550	1,378
47	0,135	4,710	0,550	0,257	4,590	1,048	0,342	4,640	1,393
48	0,135	4,810	0,551	0,257	4,690	1,050	0,345	4,740	1,406
49	0,136	4,910	0,555	0,259	4,790	1,056	0,348	4,850	1,420
Máx			0,247			0,492			0,725

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO**  
**ASTM D3080 ; AASHTO T236, BS 1377**

PROYECTO:	TESIS
CALICATA	MUESTRA 02 ESTRATO 06
MATERIAL:	SUELO NATURAL
CLIENTE:	JOSÉ QUISHPE
SECTOR:	POMASQUI
FECHA:	22/1/2025



Ángulo de fricción: 25,53 °  
Cohesión: 0,01 kg/cm2



Firmado electrónicamente por:  
**JUAN FRANCISCO HARO**  
**LESCANO**

Ing. Juan Haro

ANALISTA DE LABORATORIO

ENSAYO

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
ASTM D3080 ; AASHTO T236, BS 1377**

<b>PROYECTO:</b>	TESIS
<b>CALICATA</b>	MUESTRA 01 ESTRATO 09
<b>MATERIAL:</b>	SUELO NATURAL
<b>CLIENTE:</b>	JOSÉ QUISHPE
<b>SECTOR:</b>	POMASQUI
<b>FECHA:</b>	22/1/2025

DESCRIPCION DEL APARATO  
 NEUMATIC DIRECT/SHEAR RESIDUAL APARATUS  
 110 / 220 VAC 50-60 HZ HM-2560A.3F

DATOS INICIALES						
MUESTRA 01						
	#1		#2		#3	
HUMEDAD						
Recipiente	T5	L	H1	1	H2	40,00 gr
Peso cápsula (gr)	10,79 gr	14,82 gr	14,67 gr	11,31 gr	11,38 gr	13,11 gr
Peso cáp+s.húmedo (gr)	53,87 gr	72,33 gr	64,43 gr	57,60 gr	58,73 gr	62,10 gr
Peso cáp+s.seco (gr)	50,92 gr	68,30 gr	60,94 gr	54,39 gr	55,52 gr	58,82 gr
Contenido de humedad (%)	7,4 %	7,5 %	7,5 %	7,5 %	7,3 %	7,2 %
Humedad promedio (%)	7,4 %		7,5 %		7,2 %	

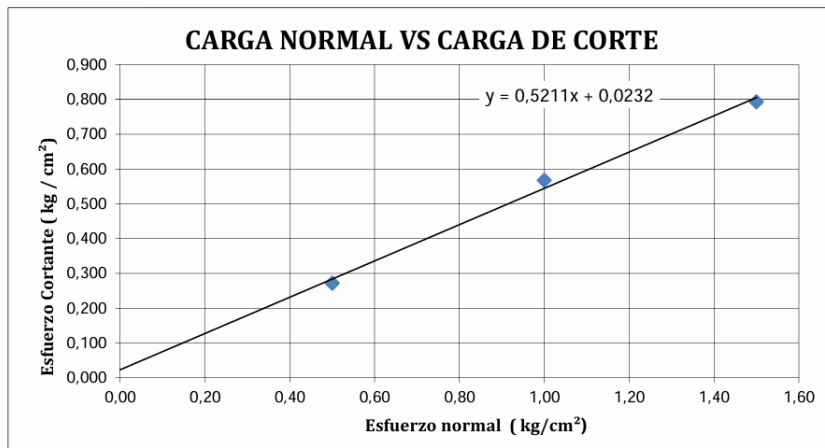
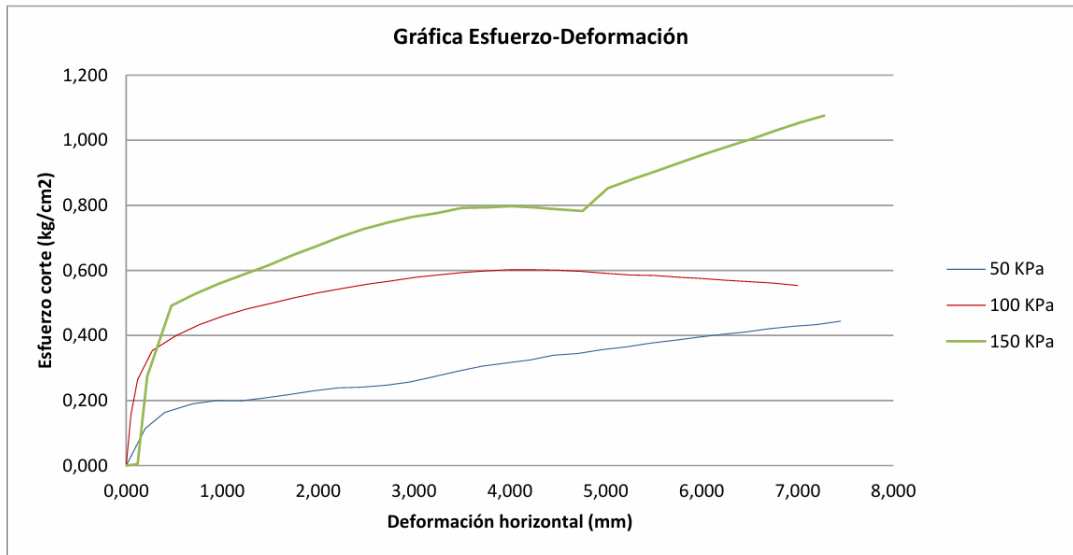
Presión v	50 KPa	100 KPa	150 KPa
Medidas			
Base [cm]	5,00	5,00	5,00
Altura [cm]	2,80	2,80	2,80
Área [cm <sup>2</sup> ]	25,00	25,00	25,00
Volumen [cm <sup>3</sup> ]	70,00	70,00	70,00
Peso molde+muestra [g]	1197,06	1196,42	1196,95
Peso molde [g]	1092,44	1092,44	1092,44
Peso muestra [g]	104,62	103,98	104,51
Densidad g/cm <sup>3</sup>	<b>1,495</b>	<b>1,485</b>	<b>1,493</b>

Nº	Carga (kN)	Horz (mm)	Esfuerzo corte (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kN)	Horz (mm)	Esfuerzo corte (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kN)	Horz (mm)	Esfuerzo corte (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1	0,028	0,200	0,114	0,039	0,050	0,157	0,001	0,120	0,005
2	0,040	0,400	0,163	0,065	0,120	0,264	0,067	0,220	0,274
3	0,046	0,690	0,189	0,087	0,270	0,353	0,120	0,470	0,491
4	0,049	0,950	0,200	0,098	0,520	0,399	0,129	0,720	0,528
5	0,049	1,200	0,199	0,106	0,770	0,434	0,137	0,970	0,560
6	0,051	1,450	0,208	0,113	1,020	0,460	0,144	1,230	0,588
7	0,054	1,700	0,219	0,118	1,260	0,482	0,151	1,480	0,615
8	0,056	1,960	0,230	0,122	1,520	0,499	0,158	1,730	0,646
9	0,059	2,210	0,239	0,127	1,760	0,516	0,165	1,980	0,674
10	0,059	2,460	0,241	0,130	2,010	0,531	0,172	2,230	0,702
11	0,061	2,710	0,247	0,134	2,260	0,545	0,178	2,480	0,727
12	0,063	2,950	0,257	0,137	2,510	0,557	0,183	2,730	0,747
13	0,067	3,200	0,272	0,139	2,760	0,567	0,187	2,980	0,764
14	0,071	3,460	0,290	0,142	3,010	0,578	0,190	3,240	0,776

15	0,075	3,710	0,305	0,144	3,250	0,586	0,194	3,500	0,792
16	0,077	3,960	0,315	0,145	3,500	0,593	0,194	3,750	0,793
17	0,080	4,210	0,325	0,147	3,750	0,599	0,195	4,010	0,797
18	0,083	4,460	0,340	0,148	4,000	0,602	0,194	4,260	0,793
19	0,084	4,710	0,344	0,148	4,250	0,602	0,193	4,510	0,787
20	0,087	4,960	0,356	0,147	4,500	0,601	0,192	4,760	0,783
21	0,089	5,220	0,365	0,146	4,750	0,596	0,209	5,020	0,852
22	0,092	5,460	0,376	0,145	5,000	0,591	0,216	5,270	0,879
23	0,094	5,710	0,384	0,144	5,250	0,586	0,222	5,520	0,904
24	0,097	5,960	0,394	0,143	5,510	0,585	0,228	5,770	0,930
25	0,099	6,210	0,403	0,142	5,750	0,579	0,234	6,020	0,956
26	0,101	6,460	0,411	0,141	6,010	0,575	0,240	6,280	0,981
27	0,103	6,710	0,420	0,140	6,250	0,570	0,246	6,530	1,005
28	0,105	6,960	0,428	0,139	6,500	0,565	0,253	6,780	1,031
29	0,106	7,200	0,433	0,138	6,750	0,561	0,258	7,030	1,054
30	0,109	7,450	0,444	0,136	7,000	0,554	0,264	7,280	1,075
Máx			0,272			0,567			0,793

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO**  
**ASTM D3080 ; AASHTO T236, BS 1377**

PROYECTO:	TESIS
CALICATA	MUESTRA 01 ESTRATO 09
MATERIAL:	SUELO NATURAL
CLIENTE:	JOSÉ QUISHPE
SECTOR:	POMASQUI
FECHA:	22/1/2025



Ángulo de fricción: 27,52 °  
Cohesión: 0,02 kg/cm2



JUAN FRANCISCO HARO  
LESCANO

Ing. Juan Haro

ANALISTA DE LABORATORIO

ENSAYÓ

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
ASTM D3080 ; AASHTO T236, BS 1377**

<b>PROYECTO:</b>	TESIS
<b>CALICATA</b>	MUESTRA 03 ESTRATO 12
<b>MATERIAL:</b>	SUELO NATURAL
<b>CLIENTE:</b>	JOSÉ QUISHPE
<b>SECTOR:</b>	POMASQUI
<b>FECHA:</b>	22/1/2025

DESCRIPCION DEL APARATO  
NEUMATIC DIRECT/SHEAR RESIDUAL APARATUS  
110 / 220 VAC 50-60 HZ HM-2560A.3F

DATOS INICIALES						
MUESTRA 03						
	#1	#2	#3			
HUMEDAD						
Recipiente	5A	26A	D2	13A	32A	24A
Peso cápsula (gr)	118,91 gr	119,99 gr	119,79 gr	119,65 gr	119,71 gr	120,70 gr
Peso cáp+s.húmedo (gr)	172,83 gr	156,57 gr	163,91 gr	164,18 gr	166,74 gr	161,04 gr
Peso cáp+s.seco (gr)	169,93 gr	154,43 gr	161,63 gr	161,66 gr	164,51 gr	158,93 gr
Contenido de humedad (%)	5,7 %	6,2 %	5,4 %	6,0 %	5,0 %	5,5 %
Humedad promedio (%)	5,9 %		5,7 %		5,2 %	

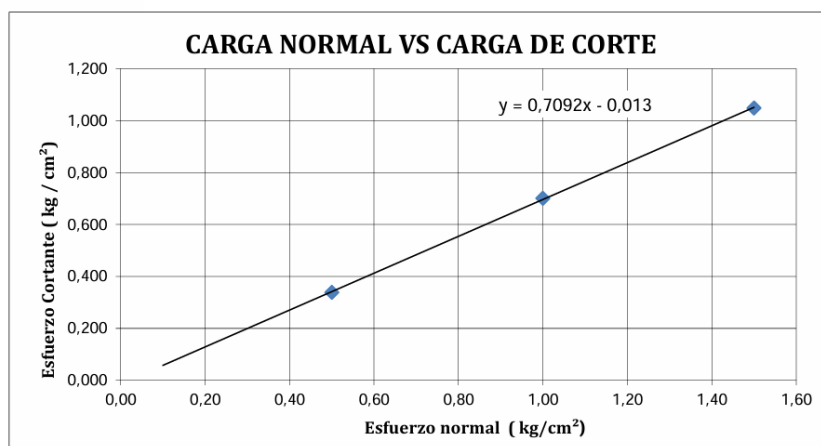
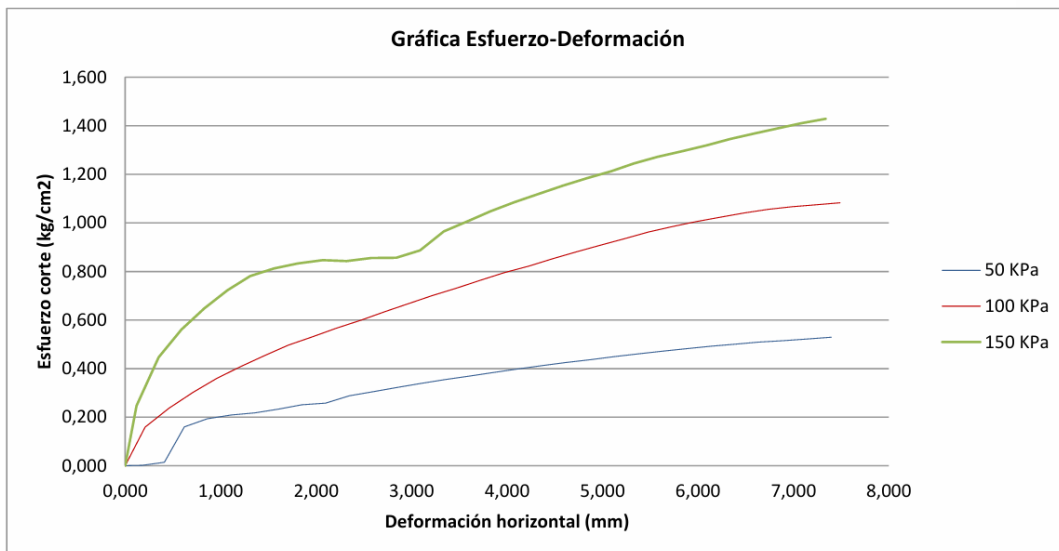
Presión v	50 KPa	100 KPa	150 KPa
Medidas			
Base [cm]	5,00	5,00	5,00
Altura [cm]	2,80	2,80	2,80
Área [cm <sup>2</sup> ]	25,00	25,00	25,00
Volumen [cm <sup>3</sup> ]	70,00	70,00	70,00
Peso molde+muestra [g]	1180,52	1180,34	1180,85
Peso molde [g]	1094,22	1094,22	1094,22
Peso muestra [g]	86,30	86,12	86,63
Densidad g/cm <sup>3</sup>	<b>1,233</b>	<b>1,230</b>	<b>1,238</b>

Nº	Carga (kN)	Horz (mm)	Esfuerzo corte (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kN)	Horz (mm)	Esfuerzo corte (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kN)	Horz (mm)	Esfuerzo corte (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1	0,000	0,180	0,001	0,039	0,210	0,159	0,061	0,120	0,247
2	0,004	0,410	0,014	0,058	0,460	0,237	0,109	0,350	0,446
3	0,039	0,620	0,160	0,074	0,710	0,302	0,137	0,590	0,561
4	0,047	0,860	0,193	0,088	0,960	0,359	0,159	0,830	0,648
5	0,051	1,110	0,209	0,100	1,210	0,409	0,177	1,070	0,722
6	0,053	1,360	0,217	0,111	1,460	0,453	0,192	1,310	0,781
7	0,057	1,610	0,233	0,122	1,710	0,496	0,199	1,560	0,813
8	0,061	1,850	0,251	0,130	1,960	0,531	0,204	1,810	0,833
9	0,063	2,100	0,258	0,139	2,210	0,566	0,208	2,070	0,847
10	0,071	2,350	0,288	0,147	2,470	0,599	0,207	2,320	0,843
11	0,075	2,610	0,306	0,156	2,720	0,634	0,210	2,580	0,855
12	0,079	2,850	0,322	0,164	2,970	0,668	0,210	2,840	0,857
13	0,083	3,100	0,339	0,172	3,220	0,701	0,217	3,090	0,887
14	0,087	3,350	0,355	0,179	3,470	0,731	0,236	3,340	0,964

15	0,090	3,610	0,369	0,187	3,720	0,763	0,247	3,590	1,007
16	0,094	3,860	0,383	0,195	3,970	0,795	0,257	3,830	1,048
17	0,098	4,120	0,399	0,201	4,230	0,822	0,266	4,080	1,085
18	0,101	4,370	0,412	0,209	4,480	0,852	0,275	4,340	1,120
19	0,104	4,620	0,425	0,216	4,730	0,881	0,283	4,590	1,154
20	0,107	4,880	0,437	0,223	4,980	0,908	0,290	4,840	1,184
21	0,110	5,130	0,449	0,229	5,230	0,935	0,297	5,090	1,213
22	0,113	5,390	0,461	0,236	5,480	0,962	0,305	5,330	1,244
23	0,116	5,640	0,472	0,241	5,730	0,984	0,312	5,580	1,272
24	0,118	5,900	0,483	0,246	5,980	1,005	0,318	5,840	1,295
25	0,121	6,150	0,492	0,251	6,240	1,024	0,323	6,090	1,319
26	0,123	6,390	0,500	0,255	6,490	1,041	0,330	6,340	1,346
27	0,125	6,640	0,509	0,259	6,740	1,056	0,335	6,590	1,368
28	0,126	6,900	0,515	0,262	6,990	1,067	0,341	6,840	1,390
29	0,128	7,150	0,522	0,263	7,240	1,075	0,346	7,080	1,410
30	0,130	7,400	0,529	0,265	7,490	1,083	0,350	7,340	1,428
Máx			0,339			0,701			1,048

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO**  
ASTM D3080 ; AASHTO T236, BS 1377

PROYECTO:	TESIS
CALICATA	MUESTRA 03 ESTRATO 12
MATERIAL:	SUELO NATURAL
CLIENTE:	JOSÉ QUISHPE
SECTOR:	POMASQUI
FECHA:	22/1/2025



Ángulo de fricción: 35,34 °  
Cohesión: 0,00 kg/cm<sup>2</sup>



firmado electrónicamente por:  
JUAN FRANCISCO HARO  
LESCANO

Ing. Juan Haro  
ANALISTA DE LABORATORIO  
ENSAYÓ

Anexo 4.- Ensayos de compresión simple de los estratos 6 y 12



ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE  
ASTM D2166

Calle Manuel Rúaes N10-05 y Calle N-10.  
Cooperativa de Vivienda Servidores de la Salud\*  
Sector Puentes peatonales 4 y 5 de la Autopista General  
Ruminahui.  
Conocoto - Quito - Ecuador  
Teléfonos:(593) 2 2835 771 Celular: 0997 469969  
info@geosoil.ec geoseg19@outlook.es  
www.geosoil.ec  
R.U.C. 1792392306001

PROYECTO : TESIS SR. QUISPHE  
OBRA :  
LOCALIZACION :  
PROFUNDIDAD :

FECHA :  
REALIZADO : GEOSOIL -  
SOLICITADO :  
INFORME :

Diámetro: d= 5.00 cm.  
Altura: H= 10.40 cm.  
Area: A= 19.64 cm<sup>2</sup>.  
Volumen: Vo= 204.20 cm<sup>3</sup>  
Peso: P= 223.29 gr.  
P. Uni. Hum. gh= 1.093 g/cm<sup>3</sup>  
P. Uni. Sec. gs= 1.030 g/cm<sup>3</sup>

DEF. pulg. *10 E-3	DEFORMACION cm.	LECTURA DEL DIAL	CARGA Kg.	DEFORMACION UNITARIA	A. CORREG. cm <sup>2</sup>	ESFUERZO Kg/cm <sup>2</sup>
0	0.0000	0	0.00	0.00000	19.64	0.00
10	0.0254	25	4.11	0.00244	19.68	0.21
20	0.0508	48	7.90	0.00488	19.73	0.40
30	0.0762	75	12.34	0.00733	19.78	0.62
40	0.1016	102	16.78	0.00977	19.83	0.85
50	0.1270	126	20.73	0.01221	19.88	1.04
60	0.1524	145	23.85	0.01465	19.93	1.20
70	0.1778	154	25.33	0.01710	19.98	1.27
80	0.2032	150	24.68	0.01954	20.03	1.23
90	0.2286	130	21.39	0.02198	20.08	1.07
100						
110						
120						

PEAK

**ROTURA**

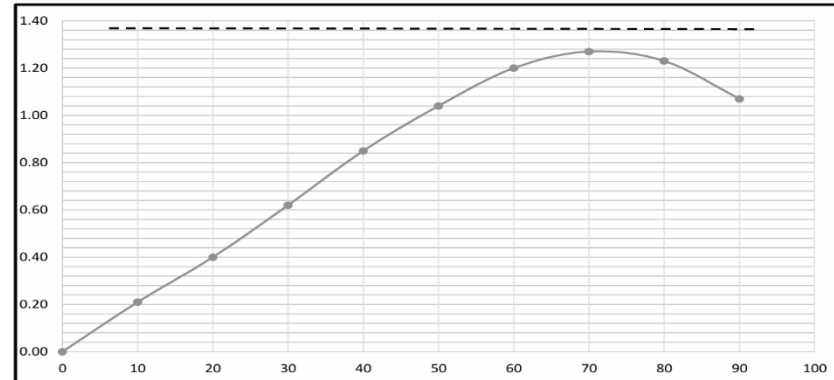
$$A.CORREG = \frac{A_o}{(1 - DEF.UNIT.)}$$

$$DEF .UNIT = \frac{DEF}{H_o}$$

$$ESF .DESV = \frac{CARGA}{A .CORREG}$$

CTE. DEL ANILLO: 0.1645

NUMERO DE CAPSULA	Z 7	J-13
PESO DE CAPSULA	58.29	33.75
PESO DE CAP+S. HUM	93.52	78.93
PESO DE CAP+ S. SECO	91.52	76.25
PESO DE AGUA	2.00	2.68
PESO DE S. SECO	33.23	42.50
CONTENIDO DE HUMEDAD	6.02	6.31
CONTENIDO MEDIO DE H.	6.16	



OBSERVACIONES:

Coop. Servidores de la Salud  
Calle R N10-05 y Calle V

Teléfonos: 2835771 / 2835780

info@geosoil.ec  
www.geosoil.ec

**ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE  
ASTM D2166**

R.U.C. 1792392306001

PROYECTO : TESIS SR. QUISPHE  
OBRA :  
LOCALIZACION :  
PROFUNDIDAD :

FECHA : 21/01/2025  
REALIZADO : GEOSOIL -  
SOLICITADO :  
INFORME :

Diámetro: d= 5.60 cm.  
Altura: H= 10.00 cm.  
Area: A= 24.63 cm<sup>2</sup>.  
Volumen: Vo= 246.30 cm<sup>3</sup>  
Peso: P= 255.33 gr.  
P. Uni. Hum. gh= 1.037 g/cm<sup>3</sup>  
P. Uni. Sec. gs= 1.002 g/cm<sup>3</sup>

DEF. pulg. *10 E-3	DEFORMACION cm.	LECTURA DEL DIAL	CARGA Kg.	DEFORMACION UNITARIA	A. CORREG. cm <sup>2</sup>	ESFUERZO Kg/cm <sup>2</sup>
0	0.0000	0	0.00	0.00000	24.63	0.00
10	0.0254	22	3.62	0.00254	24.69	0.15
20	0.0508	42	6.91	0.00508	24.76	0.28
30	0.0762	60	9.87	0.00762	24.82	0.40
40	0.1016	75	12.34	0.01016	24.88	0.50
50	0.1270	88	14.48	0.01270	24.95	0.58
60	0.1524	82	13.49	0.01524	25.01	0.54
70	0.1778	52	8.55	0.01778	25.08	0.34
80						
90						
100						
110						
120						

PEAK

**ROTURA**

$$A.CORREG = \frac{A_o}{(1 - DEF.UNIT.)}$$

$$DEF. UNIT. = \frac{DEF}{H_o}$$

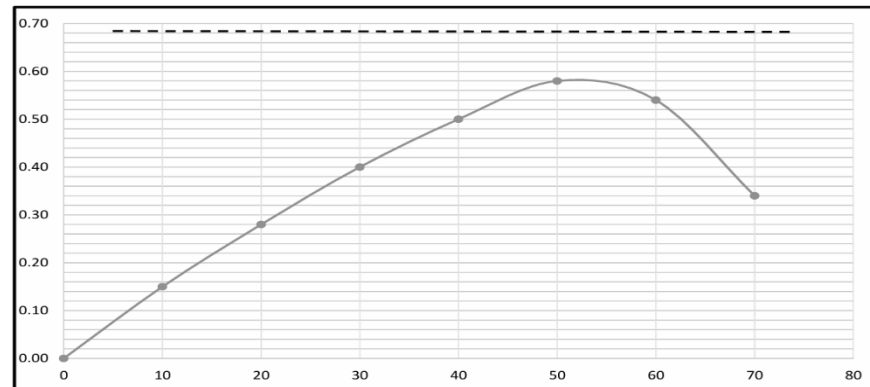
$$ESF. DESV = \frac{CARGA}{A.CORREG}$$

CTE. DEL ANILLO: 0.1645

	H-15	E-8
NUMERO DE CAPSULA	54.57	35.32
PESO DE CAPSULA	131.10	114.95
PESO DE CAP+ S. HUM	128.48	112.28
PESO DE CAP+ S. SECO	2.62	2.67
PESO DE AGUA	73.91	76.96
PESO DE S. SECO	3.54	3.47
CONTENIDO DE HUMEDAD		
CONTENIDO MEDIO DE H.	3.51	

OBSERVACIONES:

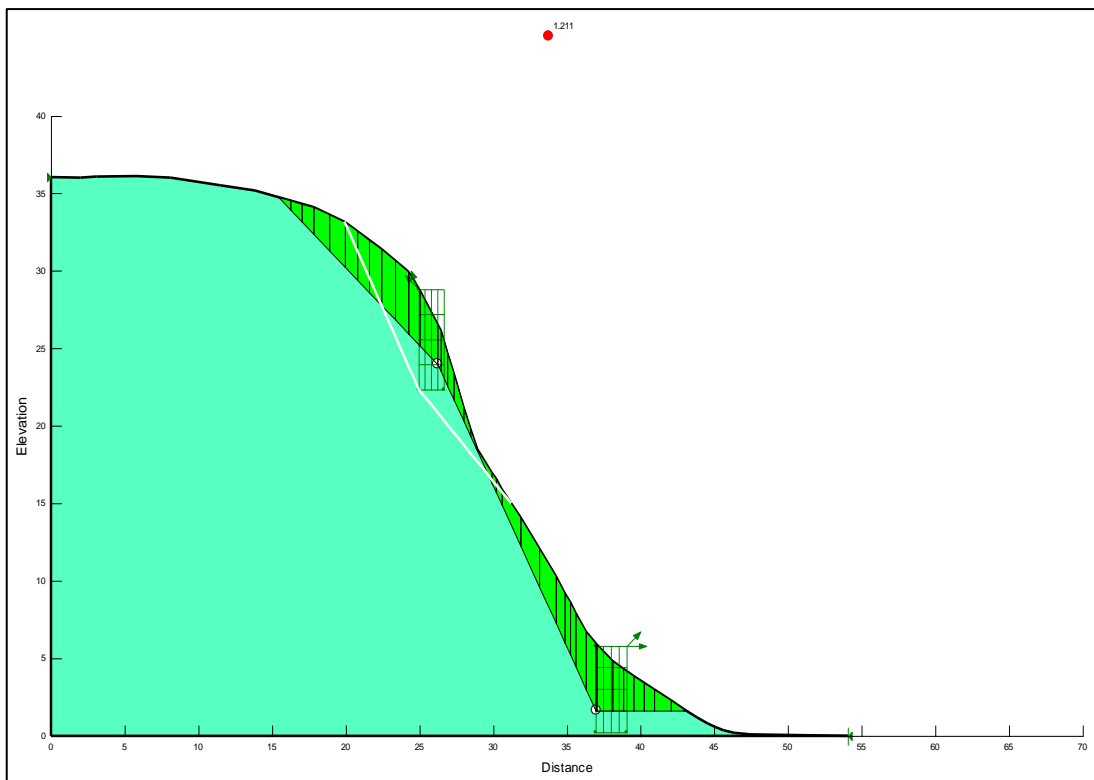
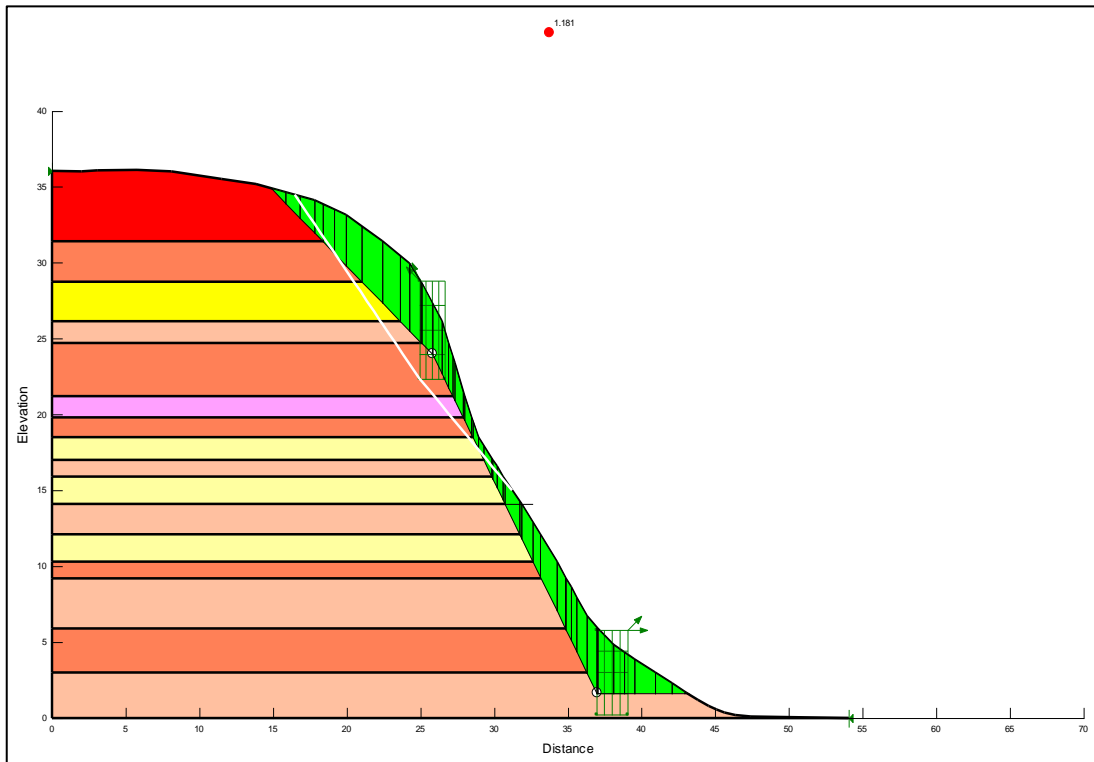
Coop. Servidores de la Salud  
Calle R N10-05 y Calle V

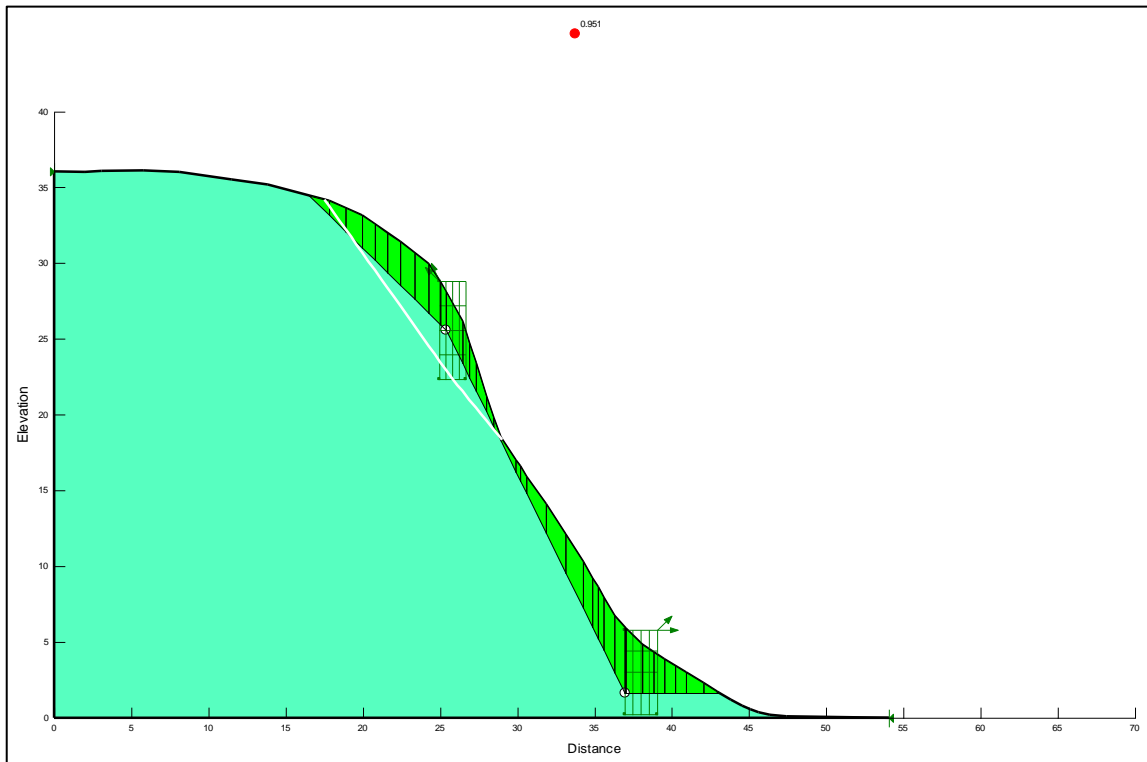
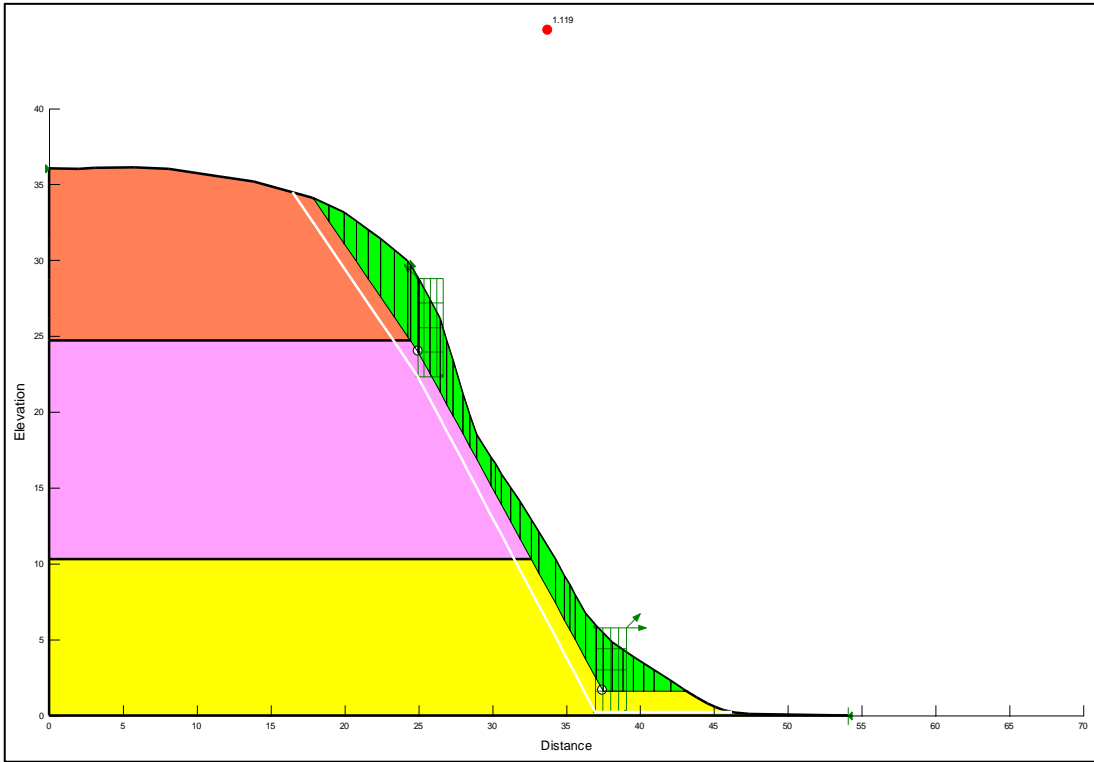


Teléfonos: 2835771 / 2835780

info@geosoil.ec  
www.geosoil.ec

*Anexo 5.- Corrida del programa para las diferentes situaciones del corte 2*





**Anexo 6.-** Corrida del programa para las diferentes situaciones del corte 5.

