



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE UN MICRODESLIZAMIENTO SUPERFICIAL EN
LOS ANDES DEL SUR DEL ECUADOR**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniera Civil

AUTORAS: JULISA MISHHELL CARANGUI URGILES

JESSICA ANDREA ROCANO ONCE

TUTOR: ING. CRISTIAN DANILO BUSTOS CABRERA, MSc.

Cuenca - Ecuador

2025

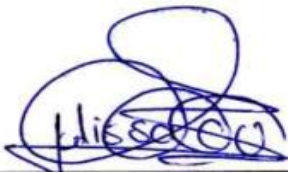
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotras, Julisa Mishell Carangui Urgiles con documento de identificación N° 0302046644 y Jessica Andrea Rocano Once con documento de identificación N° 0106115918; manifestamos que:

Somos las autoras y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 29 de enero del 2025

Atentamente,



Julisa Mishell Carangui Urgiles

0302046644



Jessica Andrea Rocano Once

0106115918

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotras, Julisa Mishell Carangui Urgiles con documento de identificación N° 0302046644 y Jessica Andrea Rocano Once con documento de identificación N° 0106115918, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autoras del Proyecto Técnico: “Análisis de estabilidad de un microdeslizamiento superficial en los Andes del sur del Ecuador”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 29 de enero del 2025

Atentamente,



Julisa Mishell Carangui Urgiles

0302046644



Jessica Andrea Rocano Once

0106115918

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Cristian Danilo Bustos Cabrera con documento de identificación N° 0301288262 docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE UN MICRODESLIZAMIENTO SUPERFICIAL EN LOS ANDES DEL SUR DEL ECUADOR, realizado por Julisa Mishell Carangui Urgiles con documento de identificación N° 0302046644 y por Jessica Andrea Rocano Once con documento de identificación N° 0106115918, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 29 de enero del 2025

Atentamente,



Escaneado electrónicamente por:
**CRISTIAN DANILO
BUSTOS CABRERA**

Ing. Cristian Danilo Bustos Cabrera, MSc.

0301288262

DEDICATORIA

A mi familia, el pilar fundamental de mi vida.

Dedico este trabajo a mi mamá, mi papá, mi hermano y mis hermanas, quienes siempre han sido mi mayor ejemplo de fortaleza, amor y perseverancia. Gracias por su apoyo incondicional, por creer en mí incluso en los momentos más difíciles, y por enseñarme que los sueños se alcanzan con esfuerzo y dedicación. Este logro es tanto mío como suyo, porque sin ustedes no estaría aquí.

A todas las personas importantes que han dejado huella en mi vida, gracias por ser mi inspiración, por sus palabras de aliento y por su compañía en este camino.

JULISA MISHHELL CARANGUI URGILES

DEDICATORIA

A mi padre, Rubén, por su incansable esfuerzo, sacrificio y por enseñarme el valor del trabajo y la perseverancia. Gracias por ser un ejemplo de dedicación y amor incondicional. A mi madre, María, por su amor infinito, su apoyo. Tu dedicación es una muestra de amor que llevo en mi corazón y que me inspira profundamente.

A mi hermano amado, quien partió antes de que pudiera compartir este logro contigo. Aunque ya no estés físicamente, tu recuerdo vive en mi corazón y me inspira cada día. Este triunfo está dedicado a ti, con todo mi amor.

Gracias por su apoyo incondicional, por creer en mí incluso en los momentos más difíciles, y por enseñarme que los sueños se alcanzan con esfuerzo y dedicación. Este logro es tanto mío como suyo, porque sin ustedes no estaría aquí.

JESSICA ANDREA ROCANO ONCE

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, gracias a Dios por darme la fuerza, la salud y las oportunidades para llegar hasta aquí. Sin su guía y bendiciones, este camino habría sido mucho más difícil.

A mi familia, mi mayor apoyo y motor en la vida. A mi mamá y mi papá, gracias por su amor incondicional, por sus sacrificios y por enseñarme que con esfuerzo todo es posible. A mi hermano y mis hermanas, por ser mi ejemplo, mi refugio y mis compañeros en cada etapa de la vida. A mi segunda mamá Libelia, por su sabiduría, sus palabras de aliento y por ser una fuente de amor infinito. Este triunfo también es de ustedes, porque cada uno ha dejado una huella imborrable en este camino.

A mis amigos de la universidad, gracias por cada risa compartida, por hacer que los momentos difíciles fueran más llevaderos y por su amistad inquebrantable. No importa cuán retador haya sido el camino, siempre encontramos motivos para sonreír y seguir adelante juntos.

A mi compañero de vida, Juan Andrés, quien ha sido mi inspiración y fortaleza en este camino. Gracias por estar presente en cada momento, por levantarme cuando sentí que no podía más y por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Tu apoyo incondicional y tu amor han sido esenciales para que este sueño se hiciera realidad.

A la Universidad Politécnica Salesiana, no pude haber elegido un mejor lugar para formarme como profesional. Gracias por ser un espacio que fomenta no solo el aprendizaje, sino también valores humanos que nos acompañarán toda la vida. A los docentes de la carrera de Ingeniería Civil, gracias por compartir sus conocimientos con dedicación y pasión, y por formar no solo profesionales, sino personas comprometidas con construir un mejor futuro.

Finalmente, gracias a mí misma por no rendirme, por luchar por mis sueños y por superar cada obstáculo que se presentó en el camino. Este logro es un recordatorio de que, con esfuerzo, perseverancia y fe, todo es posible.

A todos ustedes, gracias de todo corazón por ser parte de este capítulo tan importante de mi vida.

JULISA MISHHELL CARANGUI URGILES

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios, por ser mi guía y fortaleza, brindándome salud y sabiduría en cada etapa de este proceso y luego a mis padres, Rubén y María, por todo lo que han hecho por mí, su constante dedicación, su esfuerzo, sacrificio y enseñanzas son el reflejo más puro de amor que me han guiado hasta aquí.

A mi hermano amado, quien vive en mi corazón y cuya memoria me dio la inspiración y la motivación necesarias para culminar este proyecto. Este logro es un homenaje a ti.

A mi mejor amiga, Belén, por su amistad y constante apoyo emocional. Gracias por ser un pilar fundamental en mi vida y por estar siempre a mi lado.

A mi compañera de tesis, Julisa, con quien compartí este desafío. Gracias por tu compromiso y trabajo en equipo, que hicieron que este camino fuera más llevadero.

A mis amigos de la universidad, quienes se convirtieron en una segunda familia durante esta etapa. Gracias por su amistad, por compartir tantas experiencias, por sus palabras de aliento y por hacer de este camino una aventura inolvidable.

A la Universidad Politécnica Salesiana por brindarme los recursos, herramientas y un entorno académico favorable para realizar este trabajo.

Estoy muy agradecida con mi tutor de tesis Ing. Danilo Bustos, por su orientación, paciencia y apoyo invaluable durante este proceso.

A todos, mi más profundo agradecimiento. Este logro es también suyo.

JESSICA ANDREA ROCANO ONCE

TABLA DE CONTENIDO

1.	RESUMEN	16
2.	ABSTRACT	17
3.	INTRODUCCION	18
4.	ANTECEDENTES	18
5.	IMPORTANCIA Y ALCANCE.....	20
6.	ÁREA DE ESTUDIO	23
7.	OBJETIVOS	24
7.1.	OBJETIVO GENERAL	24
7.2.	OBJETIVO ESPECÍFICO	24
8.	FUNDAMENTOS TEORICOS.....	24
9.	MARCO METODOLOGICO	32
9.1.	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	32
9.2.	ANÁLISIS DE ANTECEDENTES SOBRE EL ÁREA DE ESTUDIO.	32
9.3.	Levantamiento topográfico a detalle del área de estudio	36
9.3.1.	Aerofotogrametría.....	36
9.4.	Métodos habituales de estabilización.....	39
9.4.1.	Pedraplén	39
9.4.2.	Muro gavión	40
9.4.3.	Muro de gravedad.....	41
9.4.4.	Muros en cantiléver.	41
9.4.5.	Contrafuerte.....	42
9.4.6.	Elaboración de bermas.....	43
9.5.	CARACTERIZACION MECANICA DE LOS SUELOS	43
9.5.1.	Prueba de penetración estándar (SPT).....	43
9.5.2.	DENSIDAD APARENTE MEDIANTE PARAFINA	45
9.5.3.	Ensayo de granulometría.....	49
9.5.4.	Ensayo de límites de consistencia	52
9.5.5.	Ensayo de resitencia a la compresion simple.....	58
9.6.	CLASIFICACION SUCS.....	60
9.7.	Método de las dovelas	63
9.8.	Método de Bishop	66

9.9.	Sismología	68
9.10.	GeoStudio Slope/W (Software).....	70
10.	Resultados	76
10.1.	Análisis de antecedentes sobre el área de estudio.....	76
10.2.	Resultados del levantamiento topográfico con Vehículo Aéreo no Tripulado (VANT)	78
10.3.	Resultados de los Estudios Geotécnicos.	79
10.3.1.	Resultados del ensayo de densidad aparente con parafina.	80
10.3.2.	Resultados del ensayo de Análisis Granulométrico.....	81
10.3.3.	Resultados del ensayo límites de consistencia.....	85
10.3.4.	Resultados del ensayo de compresión simple.....	89
10.4.	GeoStudio Slope/W.....	90
11.	Conclusiones.....	92
12.	Recomendaciones	93
13.	Bibliografía.....	94
14.	ANEXOS	99
14.1.	Anexo 1	99
14.1.1.	Visita preliminar a la zona de deslizamiento.....	99
14.2.	ANEXO 2.....	101
14.2.1.	ENSAYO SPT EN CAMPO	101
14.3.	ANEXO 3.....	103
14.3.1.	VUELO DE VANT	103
	104
14.4.	ANEXO 4.....	105
14.4.1.	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE.....	106
14.4.2.	ENSAYO GRANULOMETRICO.	108
14.4.3.	ENSAYO LIMITES DE CONSISTENCIA	109
14.4.4.	ENSAYO DENSIDAD CON PARAFINA.	111
14.5.	ANEXO 5.....	112
14.6.	ANEXO 6.....	113
14.7.	ANEXO 7.....	114
14.8.	ANEXO 8.....	115
14.9.	ANEXO 9.....	116
14.10.	ANEXO 10	117

14.11. ANEXO 11 118
14.12. ANEXO 12 119

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Zona de estudio año 2007	33
Imagen 2. Zona de estudio año 2014	34
Imagen 3. Zona de estudio año 2017	34
Imagen 4. Zona de estudio año 2018	35
Imagen 5. Zona de estudio año 2023	36
Imagen 6. Drone MAVIC 2 PRO.	38
Imagen 7. Modelo digital de terreno generado en Agisoft Metashape Professional.	38
Imagen 8. Curvas de nivel obtenido en Civil 3D	39
Imagen 9. Pedraplén	40
Imagen 10. Muro de gavión	40
Imagen 11. Muro de gravedad	41
Imagen 12. Muros en cantiléver.....	42
Imagen 13. Contrafuerte de concreto	42
Imagen 14. Bermas.....	43
Imagen 15. Tomada del artículo “Evaluation of driving energy transferred to split spoon sampler for accuracy improvement of standard penetration test”	44
Imagen 16. Muestra obtenida en campo	45
Imagen 17. Parafina en la cocineta.	47
Imagen 18. Material sumergido en la parafina.	47
Imagen 19. Muestra con parafina sumergida en agua.....	48
Imagen 20. Tamices.....	51
Imagen 21. Material pesado.....	51
Imagen 22. Muestra en el pocillo	53
Imagen 23. Material en la cazuela.....	54
Imagen 24. Cazuela con sus respectivos golpes.....	55
Imagen 25. (a) Material extraído, (b) Material pesado	55
Imagen 26. Elaboración de cilindros.....	56
Imagen 27. Muestra medida con el calibrador.....	57
Imagen 28. Muestras en el horno.....	57

Imagen 29. Remoldeo	58
Imagen 30. Muestra remoldada.....	59
Imagen 31. Muestra ingresada a la prensa de carga.....	59
Imagen 32. Datos obtenidos en prensa de carga.....	60
Imagen 33. Clasificación de suelos.....	61
Imagen 34. Superficie de la prueba de falla.....	64
Imagen 35. Fuerzas actuantes en la n-ésima dovela.....	65
Imagen 36. Representación gráfica del método Bishop.....	68
Imagen 37. Ondas sísmicas.....	69
Imagen 38. Dimensionamiento de talud en Civil 3D	71
Imagen 39. Definir región.....	72
Imagen 40. Definir material.....	72
Imagen 41. Entrada y salida de circuitos de falla.....	73
Imagen 42. Circuitos de falla	73
Imagen 43. Magnitud del deslizamiento	74
Imagen 44. Factor de seguridad aplicando carga estática.....	74
Imagen 45. Factor de seguridad aplicando carga sísmica.....	75
Imagen 46. Zona de estudio año 2007	77
Imagen 47. Zona de estudio año 2023	77
Imagen 48. Curvas de nivel generado en Civil 3D	78
Imagen 49. Perfil Longitudinal generado en Civil 3D.....	79
Imagen 50. Nueva geometría.....	90
Imagen 51. Factor seguridad carga estática aceptable.....	91
Imagen 52. Factor de seguridad carga sísmica aceptable.....	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Inventario 2007.....	33
Tabla 2. Inventario 2017.....	35
Tabla 3. Inventario 2018.....	35
Tabla 4. Inventario 2023.....	36
Tabla 5. Abertura tamices.....	50

Tabla 6. Modelo para el análisis granulométrico.....	52
Tabla 7. Clasificación SUCS.....	63
Tabla 8. Valor Z con respecto a la zona sísmica.....	70
Tabla 9. Factores de seguridad por cortes mínimos.....	76
Tabla 10. Datos para determinar densidad del suelo.....	80
Tabla 11. Datos granulométricos a 2m.....	81
Tabla 12. Datos granulométricos a 2.4 m.....	83
Tabla 13. Datos para obtener el límite líquido de la muestra 1.....	85
Tabla 14. Datos para obtener el límite plástico de la muestra 1.....	86
Tabla 15. Datos para obtener limite liquido de la muestra 2.....	87
Tabla 16. Datos para obtener el Limite Plástico de la muestra 2.....	88

ÍNDICE DE GRAFICAS

Grafica 1. Grafica de plasticidad.....	63
Grafica 2. Curva Granulométrica a 2m.....	82
Grafica 3. Curva Granulométrica a 2.4 m.....	84
Grafica 4. Límite Líquido muestra 1.....	85
Grafica 5. Límite Líquido muestra 2.....	87
Grafica 6. Compresión Simple.....	89

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flujos.....	25
Figura 2. Desprendimiento.....	26
Figura 3. Vuelcos.....	26
Figura 4. Reptación.....	27
Figura 5. Desprendimientos Laterales.....	27
Figura 6. Deslizamiento Rotacional.....	28
Figura 7. Deslizamiento Traslacional.....	29

1. RESUMEN

La estabilidad de taludes es un tema importante en la ingeniería, debido a su impacto en la seguridad, la sostenibilidad y el desarrollo urbano. Este estudio se centra en el análisis de los factores que influyen en la estabilidad de taludes, como sus propiedades del suelo, condiciones hidrogeológicas y los cambios climáticos.

El presente proyecto tiene como objetivo realizar el análisis de estabilidad de un micro deslizamiento en los andes del sur del Ecuador, para la obtención de los parámetros del suelo se realizó un ensayo SPT y para el levantamiento de información topográfica se realizó un vuelo de un vehículo aéreo no tripulado.

Los ensayos de suelo se realizaron en un punto estratégico de la zona. Los resultados de análisis de laboratorio demostraron que el tipo de suelo que existe es considerado mal gradado y de alta plasticidad, lo cual indicaría el motivo de diversos deslizamientos que llegan a perjudicar las infraestructuras existentes.

En conclusión, al tener un suelo mal gradado se pueden presentar asentamientos irregulares o diversos tipos de deslizamientos, comprometiendo diferentes tipos de infraestructuras, en nuestro caso de estudio, una vivienda tiene una afectación directa por la inestabilidad del talud, por lo cual se ha creado un diseño modelo de reestructuración de talud para así evitar su deslizamiento o futuros desastres.

Palabras claves: SPT, análisis de estabilidad, micro deslizamientos, ensayos de suelo, mal gradado, alta plasticidad.

2. ABSTRACT

Slope stability is an important topic in engineering due to its impact on safety, sustainability and urban development. This study focuses on the analysis of the factors that influence slope stability, such as soil properties, hydrogeological conditions and climate changes.

The objective of this project is to perform the stability analysis of a micro landslide in the Andes of southern Ecuador. To obtain soil parameters, an SPT test was performed and to collect topographic information, an unmanned aerial vehicle flight was carried out.

The soil tests were carried out at a strategic point in the area. The results of laboratory analysis showed that the type of soil that exists is considered poorly graded and highly plastic, which would indicate the reason for various landslides that damage existing infrastructure.

In conclusion, having poorly graded soil can cause irregular settlements or various types of landslides, compromising different types of infrastructure. In our case study, a house is directly affected by the instability of the slope, which is why a model design for slope restructuring has been created to prevent landslides or future disasters.

Keywords: SPT, stability analysis, micro landslides, soil tests, poorly graded, high plasticity.

3. INTRODUCCION

Realizar un estudio de estabilidad de un micro deslizamiento es muy importante ya que esta representa una de las amenazas geológicas más comunes en la región, pudiendo llegar a ser un desastre altamente destructivo. Los micro deslizamientos se caracterizan por su menor magnitud sin embargo al realizar un estudio de este se puede realizar una comparación a los efectos que podrían causar los macro deslizamientos ya que pueden ayudar a determinar indicadores de procesos geológicos más complejos que pueden llegar a requerir una atención más detallada.

Este análisis ayuda a comprender los factores desencadenantes de los deslizamientos, las condiciones geotécnicas del suelo, sus propiedades mecánicas, los efectos que produce la infiltración de agua y las variaciones climáticas.

El presente proyecto se enfoca en el análisis de la estabilidad de un micro deslizamiento en el Valle de Yunguilla, utilizando métodos geotécnicos de estudio y computación avanzada. El objetivo principal es proporcionar información sobre la clasificación de suelo existente en la zona, sus propiedades mecánicas, resistencias y la estabilización de un talud.

4. ANTECEDENTES

Como investigación previa de casos de estudio de micro deslizamientos ocurridos en nuestra zona tenemos:

- El Arenal, esta junto al deslizamiento de Paccha han sido deslizamientos activos que se encuentran relacionados. Al tener similares características físico-mecánicas de las arcillas ha existido indicios de movimientos en masa activo, se ha realizado un monitoreo geodésico para poder tener un control sobre el movimiento de masas y así poder evitar desastres causados por los

deslizamientos dando como resultado que El Arenal tuvo un movimiento de 5 cm/año y un desplazamiento absoluto de 1.9 cm siendo estos valores considerados no muy grandes (Basabe R. Pedro, 1998).

- Ballun, se encuentra en la loma del mismo nombre margen derecha del río Sidcay. El escarpe principal tiene 50m de alto y casi 30m de profundidad, al deslizamiento traslacional inicial se ha superpuesto una actividad de tipo reptacional y traslacional poco profunda, lo que ha creado una morfología en escalones, la parte del pie del deslizamiento es la más saturada de agua ya que se encuentra en una quebrada siendo la misma, la zona que evidencia mayor desplazamiento de 27 cm/año (Basabe R. Pedro, 1998).

- Challuabamba, este deslizamiento se encuentra situado en la margen izquierda del valle del río Tomebamba, 3 km aguas arriba de su confluencia con el río Burgay. Está sobre tres formaciones: el escarpe se ha desarrollado en los volcánicos de Llaeo, y la zona de acumulación esta sobre lutitas fracturadas de la formación Loyola y areniscas tobáceas de la formación Azogues (Basabe R. Pedro, 1998).

- Muñoz, *“un deslizamiento traslacional activo de forma alargada acompañada de intensos fenómenos de reptación”*. El deslizamiento afecta depósitos secundarios sobre un basamento de lititas, limolitas y areniscas de la formación Mangán, llegando a tener un deslizamiento de 50 cm/año (Basabe R. Pedro, 1998).

- Yantaloma, es un pequeño deslizamiento activo situado en la margen izquierda de la quebrada Chaquilcay, su escarpe principal tiene 30m de altura y se estima que una profundidad máxima de alrededor de 30 m. El agua de escorrentía se infiltra a través de numerosas grietas, así como por el coluvial mismo, además una acequia se derrama en el coluvial en la parte alta del

deslizamiento y satura el depósito que se desliza con facilidad en estas condiciones (Basabe R. Pedro, 1998).

Todos los casos de estudios presentados han tenido monitoreo geodésico, el cual ha ayudado a mitigar desastres que puedan ocasionar los mismos, dando un informe anual del movimiento de las masas.

5. IMPORTANCIA Y ALCANCE

El Ecuador por su ubicación geográfica y geológica se encuentra expuesto a muchos fenómenos naturales que se vuelven amenazantes, debido a la falta de conocimiento de los riesgos naturales en la planificación y utilización correcta del territorio.

El Austro ecuatoriano y en particular el Valle de Yunguilla del Cantón Santa Isabel tiene una topografía típica de la región sierra ecuatoriana, se caracteriza por su topografía montañosa, algunas de las características topográficas que tiene la zona son: laderas empinadas, valle y quebradas, cordilleras y picos, altitud variable, bosques y vegetación natural

Los deslizamientos de esta zona dependen de varios factores geológicos, geotécnicos y climáticos, estas zonas a menudo presentan deslizamientos debido a la topografía escarpada y la presencia de suelos propensos a erosión e inestabilidad, los factores a considerar son:

Topografía empinada: la presencia de laderas empinadas y colinas aumentan la susceptibilidad a los deslizamientos aún más cuando existen lluvias intensas

Tipos de suelos: los suelos arcillosos, limosos son más propensos a deslizamientos

Actividad sísmica: El Ecuador es propenso a la actividad sísmica ya que su ubicación se encuentra en el cinturón de fuego del Pacífico, los terremotos pueden aumentar el riesgo de deslizamientos.

Deforestación y uso de la tierra: el uso inadecuado de la tierra puede aumentar la erosión e inestabilidad del suelo.

Por los motivos expuestos se ha visto la necesidad de realizar 2 tipos de estudios: topográficos y ensayos de mecánica de suelos. Dado que la zona carece de mapas topográficos, resulta difícil controlar el movimiento de masas e identificar deslizamientos, aspectos que son de gran importancia.

La fotogrametría digital a través de modelos digitales de alta resolución (DEM) permite realizar un rápido y adecuado análisis de la topografía desde la superficie como también permite la identificación de deslizamientos de tierra antiguos cubiertos completamente por vegetación (Mauri et al., 2022). Según Kim et al. (2019) algunos investigadores definieron a los DEM como uno de los más adecuados para el análisis topográfico debido a la extensa información que poseen, como también han observado que el modelado de los deslizamientos depende en gran medida a la resolución de los DEM y los de resolución más fina nos proporcionan un efecto más preciso.

El estudio de mecánica de suelos desempeña un papel fundamental en la comprensión de los deslizamientos y su comportamiento, para la obtención de parámetros del suelo se utilizará la prueba del SPT. Éste consiste en un ensayo basado en contabilizar el número de golpes necesarios que se da en el suelo para introducir una toma de muestra de acero que debe cumplir con una medida de perforación dada, con la muestra tomada se puede realizar ensayos de granulometría,

plasticidad y contenido de sulfatos que ayudará a determinar parámetros del suelo, capacidades de carga y asentamiento de cimientos (Zapata-Galvis and Esquivel, 2016).

“La prueba de SPT permite evaluar la resistencia al esfuerzo cortante de la tierra, a través de la cantidad de golpes N esperados para accionar el penetrómetro estándar, y a continuación se obtienen ejemplos modificados, que se utiliza para reconocer las tierras del sitio, que permiten conocer los estados estratigráficos de la tierra, explotando las propiedades de archivo que se ensayan a las pruebas recuperadas similares, por ejemplo el contenido de agua regular, los límites de consistencia y la granulometría, evaluando la resistencia al esfuerzo cortante de cada una de las capas” (Falconez et al., 2021).

A la hora de determinar la capacidad portante estructural del suelo, es importante que existan casos en el área de estudio donde se realizan diversos proyectos de planificación, especialmente obras de construcción o caminos donde no se considera el tipo de suelo en la que será construida, por lo que el suelo antes mencionado tiende a dañarse o cambiar sus características con el tiempo, ya sea por la propia naturaleza o por el efecto de diversas cargas en el entorno del terreno.

Actualmente existen diferentes estudios para poder determinar la capacidad portante de suelos de un terreno para una construcción, sin embargo, el ensayo de penetración estándar es un método clásico y efectivo para la determinación de estos datos indispensables para cualquier tipo de proyecto estructural (Falconez et al., 2021).

Como parte de los parámetros requeridos para determinar la estabilidad del talud tenemos:

Parámetros geométricos: altura, inclinación del talud.

Propiedades del suelo: Peso unitario, cohesión, ángulo de fricción, plasticidad y límites de consistencia, clasificación SUCS.

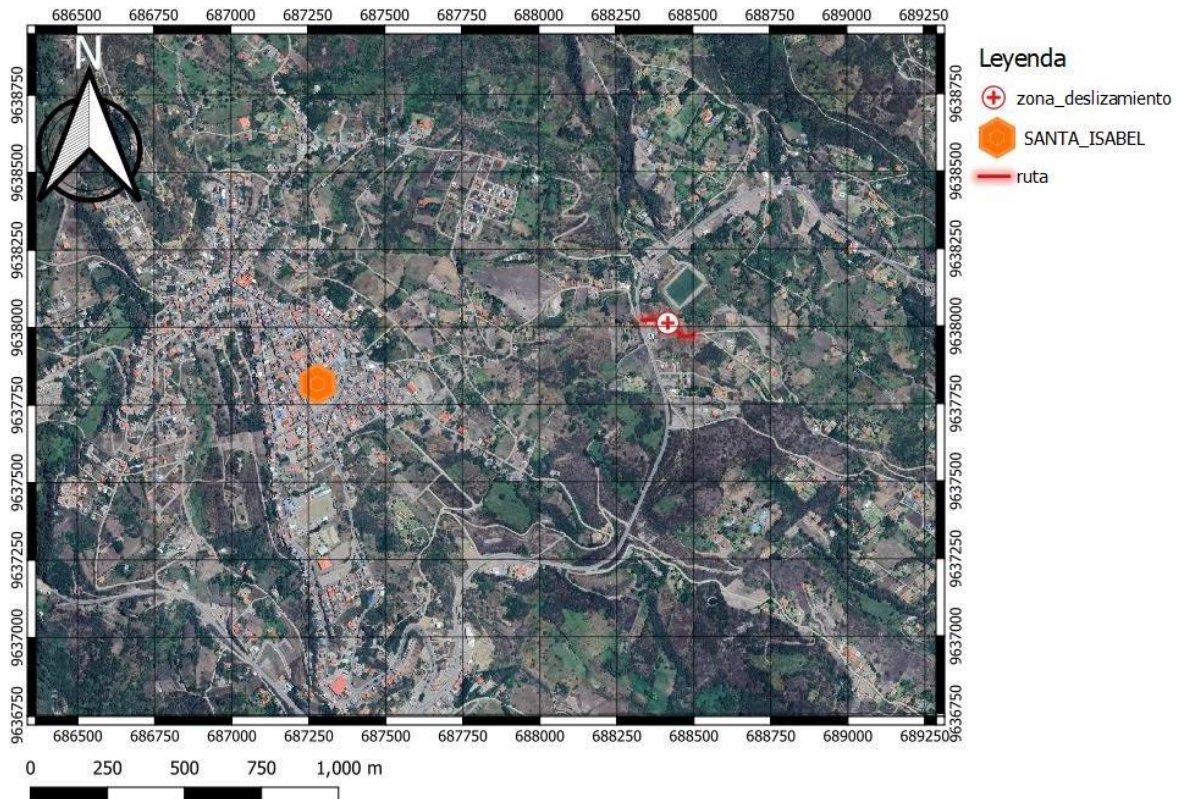
Factores externos: Sismos.

Parámetros de modelado: método Bishop, factores de seguridad (FS).

6. ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio se encuentra ubicada en el sector de Yunguilla perteneciente al cantón Santa Isabel de la provincia del Azuay, esta zona está caracterizada por tener un clima variado, su temperatura varía desde los 8 a los 24°C, posee una altitud que va desde los 100 a los 4000 m.s.n.m.

Mapa 1. Zona de estudio.



Fuente: (Google Maps); Elaboración: (Autores).

7. OBJETIVOS

7.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar las actuales condiciones de estabilidad de un micro deslizamiento presente en el cantón Santa Isabel, con la caracterización geotécnica de los estratos de suelo presentes en el sitio.

7.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

Realizar la topografía de la zona de estudio a fin de determinar de forma rápida y adecuada la magnitud de afectación.

Determinar los parámetros geo mecánicos de los estratos de suelos, con la realización del ensayo de penetración estándar SPT.

Evaluar las condiciones actuales de estabilidad del talud y estimar las posibles causas del deslizamiento.

8. FUNDAMENTOS TEORICOS.

Los deslizamientos son movimientos de masas que pueden ser provocados por una serie de factores, uno de los más frecuentes que da inicio a los deslizamientos de tierra es la infiltración por agua siendo este ocasionado por las lluvias fuertes y prolongadas, dando como resultado que se produzca una saturación en el suelo (Marin et al., 2021). Una zona puede ser más propensa a un deslizamiento por el tipo de topografía y pendiente ya que debido a la gravedad el suelo tiende a desplazarse cuesta abajo. La infiltración incrementa el empuje de los poros en el suelo teniendo así una reducción en la fricción interna que nos da como resultado el debilitamiento del suelo.

Cuando se estudia un deslizamiento, es necesario identificar y caracterizar los tipos de deslizamientos que existen, para así adoptar las medidas apropiadas de contención y estabilización

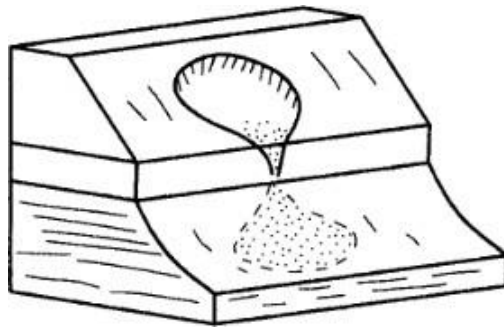
de los taludes, dependiendo el tipo de mecanismo actuante, su velocidad y dimensiones, ya que, al tener una incorrecta apreciación del mecanismo de rotura, se puede dar como consecuencia que las soluciones tomadas lleguen a ser ineficaces o contraproducentes,

Tipos de deslizamientos.

Flujos.

Estos son movimientos en los que los materiales actúan como líquido, un deslizamiento de derrubios puede convertirse en una corriente o avalancha de derrubios a medida que el material pierde cohesión, incorpora agua y discurre por pendientes más empinadas (Corominas, 2004).

Figura 1. Flujos.



Fuente: (Corominas, 2004).

Desprendimientos o caídas.

El desprendimiento se origina por el despegue de una masa de suelo o roca de una pared empinada o acantilado, el movimiento tiene lugar mediante caída libre (Corominas, 2004). El material desprendido o caído una vez desparramado por la ladera no suele experimentar nuevos movimientos.

Figura 2. Desprendimiento.

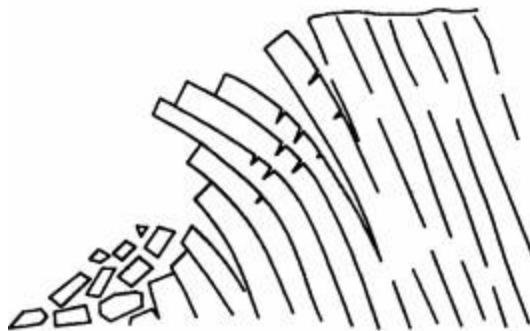


Fuente: (Corominas, 2004).

Vuelcos

Los vuelcos son la caída de una masa de suelo o roca hacia delante y hacia el exterior de la ladera. El desarrollo de un vuelco a gran escala en la ladera puede comportar cambios significativos en la permeabilidad del macizo rocoso tanto en el espacio como en el tiempo (Corominas, 2004).

Figura 3. Vuelcos.

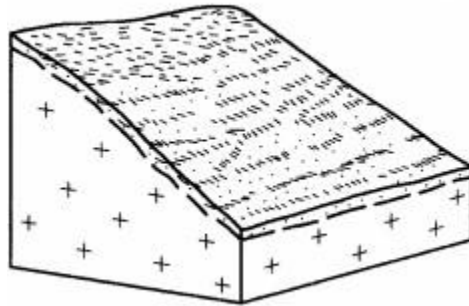


Fuente: (Corominas, 2004).

Reptación.

La reptación es un movimiento extremadamente lento que solo puede ser captado en largos periodos de tiempo.

Figura 4. Reptación.



Fuente: (Corominas, 2004).

Desprendimientos laterales.

Ocurren cuando una capa inferior pierde soporte, y las capas superiores se desplazan lateralmente, frecuentes en suelos que se encuentran saturados de agua.

Figura 5. Desprendimientos Laterales.



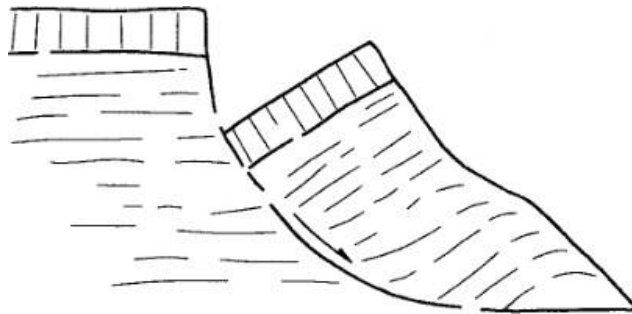
Fuente: (Corominas, 2004).

También se tiene los deslizamientos de ladera o deslizamientos superficiales; estos se deben al movimiento del suelo y la roca en la pendiente, pueden ir de menor a mayor escala, incluyendo deslizamientos de rotación, traslacionales y de escombros.

Deslizamientos rotacionales.

El terreno experimenta un giro según un eje situado por encima del centro de gravedad de la masa deslizada, estos mecanismos son característicos de suelos cohesivos y rocosos intensamente fracturados en materiales arcillosos especialmente si existe la presencia de agua. Un deslizamiento rotacional una vez producido es susceptible a una reactivación (Corominas, 2004).

Figura 6. Deslizamiento Rotacional.

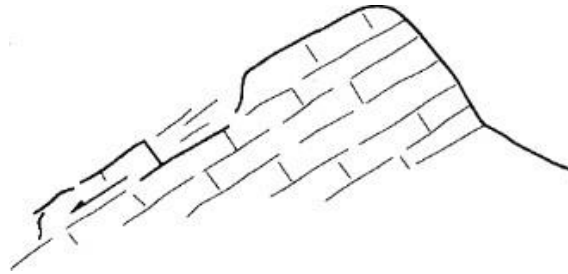


Fuente: (Corominas, 2004).

Deslizamiento traslacional.

La masa de terreno se desliza sobre una superficie plana o ligeramente inclinada, este desplazamiento suele darse en suelos granulares o estratos inclinados.

Figura 7. Deslizamiento Traslacional.



Fuente: (Corominas, 2004).

Deslizamientos inducidos por actividad humana: Debido a la construcción, minería, la deforestación y la irrigación excesiva pueden causar deslizamientos provocando modificaciones en el terreno.

Los deslizamientos tienen un efecto significativo en la seguridad, ya que pueden ocasionar un sin número de riesgos y peligros para la sociedad, tales como: pérdidas humanas ocasionadas por el deslizamiento del suelo quedando así atrapadas bajo los escombros; el corte de los servicios básicos como: agua potable y energía eléctrica; sin acceso a servicios de emergencia ya que las vías se cierran y no se puede realizar actividades de rescate y asistencia; grandes costos de recuperación implicando una reparación enorme a las infraestructuras afectadas como también ayuda a las víctimas (Giarola et al., 2024).

Otro efecto significativo de los deslizamientos es el daño que pueden causar a las infraestructuras, especialmente a las carreteras, lo que dificulta el transporte y corta la conexión entre la región.

Para poder mitigar estos impactos es necesario tomar varias medidas tales como realizar un adecuado diseño de un sistema de drenaje para así evacuar el agua lejos de zonas de riesgo; mantener reforestado el lugar para así mantener una mejor estabilidad del talud; como también evitar construir viviendas en lugares que sean propensos a deslizamientos; tener una mayor conservación de la vegetación siendo estos importantes para disminuir los efectos negativos en el medio ambiente; realizar un monitoreo y alerta para poder detectar posibles movimientos de tierra.

Para poder estudiar y monitorear los deslizamientos, se pueden utilizar diversas técnicas y métodos de estudio que ayudan a evaluar la estabilidad en los deslizamientos, las técnicas y ensayos más comunes son:

Perforación y muestreo: la extracción de muestras de suelos y pozos son esenciales para poder evaluar las características geotécnicas del terreno y así poder determinar la composición del suelo.

Monitoreo geodésico: con la ayuda de estaciones totales y GPS se puede medir los cambios de la topografía en el terreno.

Fotogrametría y teledetección: las imágenes vía satélite y la fotogrametría aérea son utilizadas para obtener información sobre la topografía y cambios en el paisaje a medida que los deslizamientos suceden.

Al combinar estos métodos y técnicas podemos tener la evaluación completa de las áreas propensas al deslizamiento y ayudar con información valiosa para prevenir riesgos.

Unos de los parámetros que constituyen y son importantes para el adecuado análisis de la estabilidad de taludes son sus características y las respuestas suelo-agua (Arata et al., 2020).

Además, como más estrategias de mitigación de deslizamientos que podemos utilizar, tenemos:

- Evaluaciones geotécnicas para comprender las condiciones del terreno.
- Zonificación y regulaciones de uso de la tierra que prohíben la construcción en áreas de alto riesgo.
- Monitoreo y alerta temprana para detectar movimientos de tierra inusuales.
- Mejoras en la infraestructura de drenaje y sistemas de retención de agua.
- Educación pública sobre riesgos de deslizamientos y medidas de seguridad.
- El uso adecuado de la tierra y la construcción de infraestructuras resistentes a deslizamientos

La categorización de los desplazamientos de tierra varía según si se refieren a suelos o rocas, considerando el mecanismo de rotura y otros factores, como flujos, desprendimientos e infiltraciones de agua (Sanhueza Plaza and Rodríguez Cifuentes, 2013). Estos fenómenos pueden ocurrir debido a la inestabilidad de taludes, que son superficies inclinadas formadas por procesos naturales o actividades humanas, encontrándose en diversas situaciones, como laderas de montañas, cortes de carreteras, excavaciones, presas y minas. La estabilidad de suelos es crucial en ingeniería para prevenir deslizamientos y derrumbes que pueden dañar infraestructuras, requiriendo revisión constante y adaptaciones a cambios ambientales y tecnológicos (Arata et al., 2020). La prevención de fallos en suelos puede ahorrar costos significativos en reparaciones y optimizar el uso de recursos mediante un diseño adecuado y preventivo (Giarola et al., 2024).

9. MARCO METODOLOGICO

9.1. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para la recolección de información de la zona de estudio se requiere diferentes equipos a utilizar los cuales ayudaran a obtener la topografía a detalle del lugar, las propiedades mecánicas del suelo con las que se puede crear un modelo de solución.

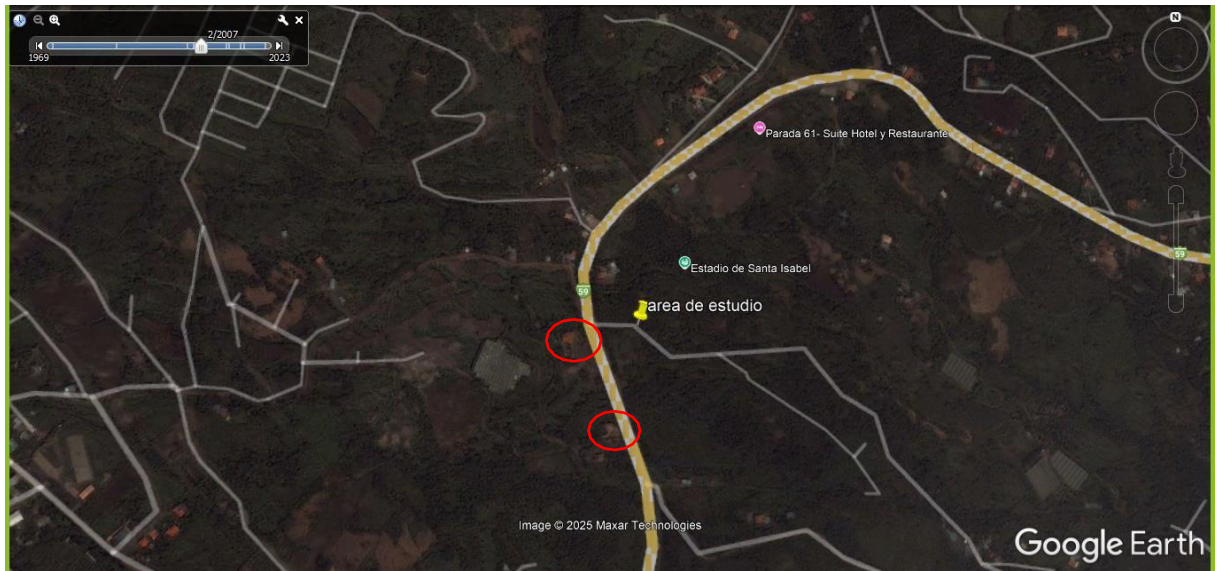
Con la evaluación realizada a la muestra extraída del suelo se podrá determinar la factibilidad de la estabilidad que tendrá el modelo de solución de taludes en la zona de estudio.

9.2. ANÁLISIS DE ANTECEDENTES SOBRE EL ÁREA DE ESTUDIO.

En base a la recolección de imágenes antiguas de la zona se podrá realizar una comparación de la evolución geológica del sitio, la cual dará como resultado determinar si existe alguna alteración que pueda estar afectando directamente a las infraestructuras como quebradas tapadas o zonas de relleno.

El primer paso fue recopilar imágenes satelitales del área de estudio. Esta fase se centró en estudiar la morfología de la zona desde una vista aérea. Se realizó un inventario de las construcciones en el área, para considerar si estos pudiesen influir en la inestabilidad del terreno u ocurrió un desvío o taponamiento de quebradas, lo cual está ocasionando fallas en la zona de estudio.

Imagen 1. Zona de estudio año 2007



Fuente: (Google Earth).

Tabla 1. Inventario 2007.

Infraestructura habitacional	2
Apertura de caminos	Existe carretera principal
Área verde	Índice elevado

Fuente: (Autor).

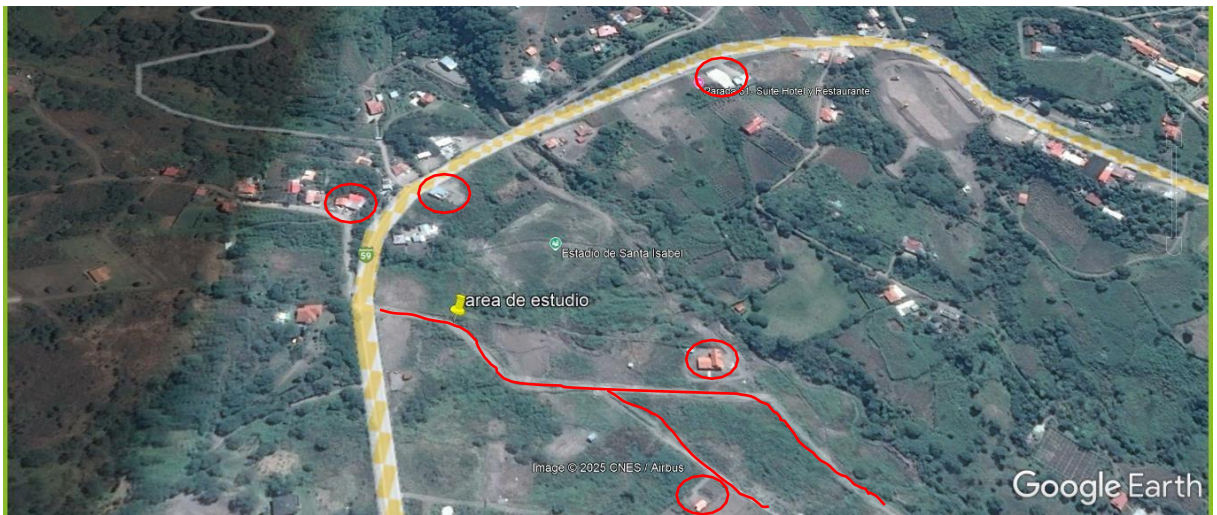
Imagen 2. Zona de estudio año 2014.



Fuente: (Google Earth).

No existen cambios significativos

Imagen 3. Zona de estudio año 2017.



Fuente: (Google Earth).

Tabla 2. Inventario 2017.

Infraestructura habitacional	5
Apertura de caminos	2
Área verde	Perdida de áreas verdes

Fuente: (Autor).

Imagen 4. Zona de estudio año 2018.



Fuente: (Google Earth).

Tabla 3. Inventario 2018.

Infraestructura habitacional	7
Apertura de caminos	0
Área verde	Disminución de áreas verdes
Infraestructura deportiva	1

Fuente: (Autor).

Imagen 5. Zona de estudio año 2023.



Fuente: (Google Earth).

Tabla 4. Inventario 2023.

Infraestructura habitacional	2
Apertura de caminos	2
Área verde	Disminución de áreas verdes

Fuente: (Autor).

9.3. Levantamiento topográfico a detalle del área de estudio

Esta actividad se realiza en campo con el objetivo de obtener información de la zona de estudio, ya sea de manera directa o mediante un cálculo en donde se obtiene como resultado representaciones gráficas del terreno levantado, área y volúmenes de tierra (Gil, 2015).

9.3.1. Aerofotogrametría

Es un método de levantamiento indirecto que permite medir y registrar coordenadas tridimensionales. Esto permite realizar la documentación necesaria para el cálculo de superficies, alturas, pendientes y también producir imágenes de terrenos, así como la documentación necesaria

para elaborar planos y mapas topográficos en distintas escalas, obtener sus curvas de nivel a partir de un modelo digital de elevación y modelos tridimensionales del terreno (Apraez Bastidas, 2020).

A partir de la aerofotogrametría obtenemos una ortofoto la misma que es corregida *“para eliminar los efectos del relieve del terreno y la inclinación de la cámara, de manera que la escala sea uniforme en toda la imagen. Esto permite tomar medidas precisas de la imagen, como distancias y áreas”*, esto quiere decir que las características del terreno tienen la escala correcta, resolución adecuada para mayor detalle y así poder trabajar con una topografía adecuada (Ochoa, 2023).

Para la obtención de datos de nuestro caso de estudio en general se utilizó el siguiente modelo de vehículo aéreo no tripulado (UAV):

Drone MAVIC 2 PRO (control, 2024)

Peso de despegue: 907 g (Mavic 2 Pro)905 g (Mavic 2 Zoom)

Dimensiones: Plegado: 214×91×84 mm (largo × ancho × alto) ...

Distancia diagonal: 354 mm.

Velocidad máxima (cerca del nivel del mar, sin viento): 72 km/h (modo S)

Altura máx. de servicio sobre el nivel del mar: 6000 m.

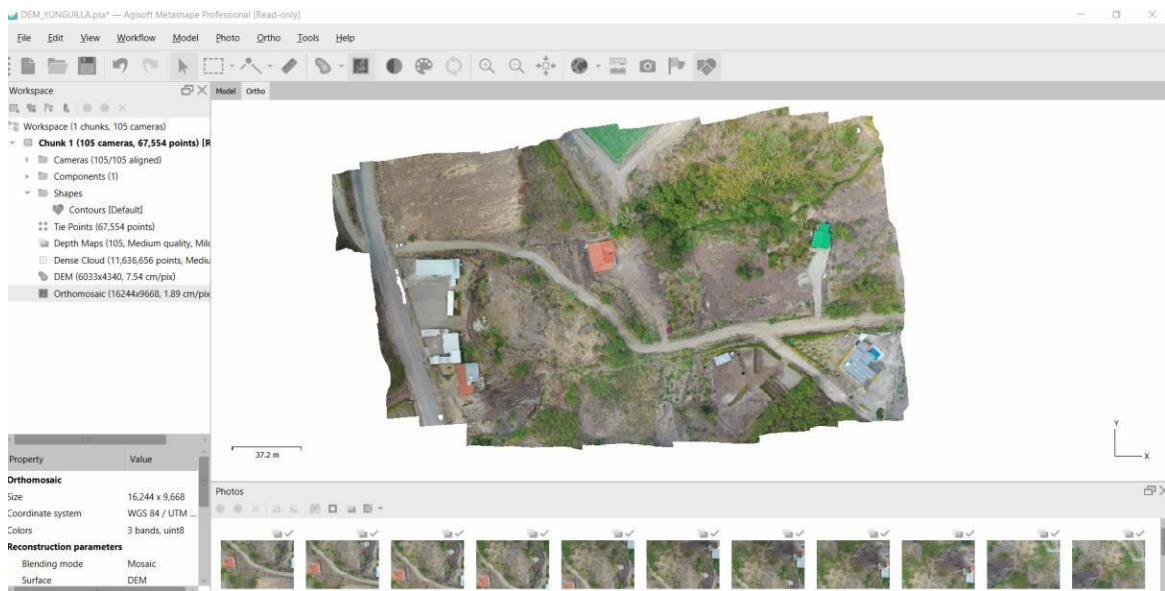
Imagen 6. Drone MAVIC 2 PRO.



Fuente: (control, 2024)

El trabajo de campo en el sector “Limón bajo”, se centró en estudiar la topografía del terreno delimitando la zona de fallo, teniendo las principales características de suelo. A partir de la identificación del área de interés, se planificaron puntos estratégicos para la extracción de muestras de suelo; con los datos obtenidos del VANT que tuvo un vuelo a 60 m de altura, se procesó las imágenes con ayuda del programa Agisoft Metashape Professional para obtener un MDT (modelo digital de terreno).

Imagen 7. Modelo digital de terreno generado en Agisoft Metashape Professional.

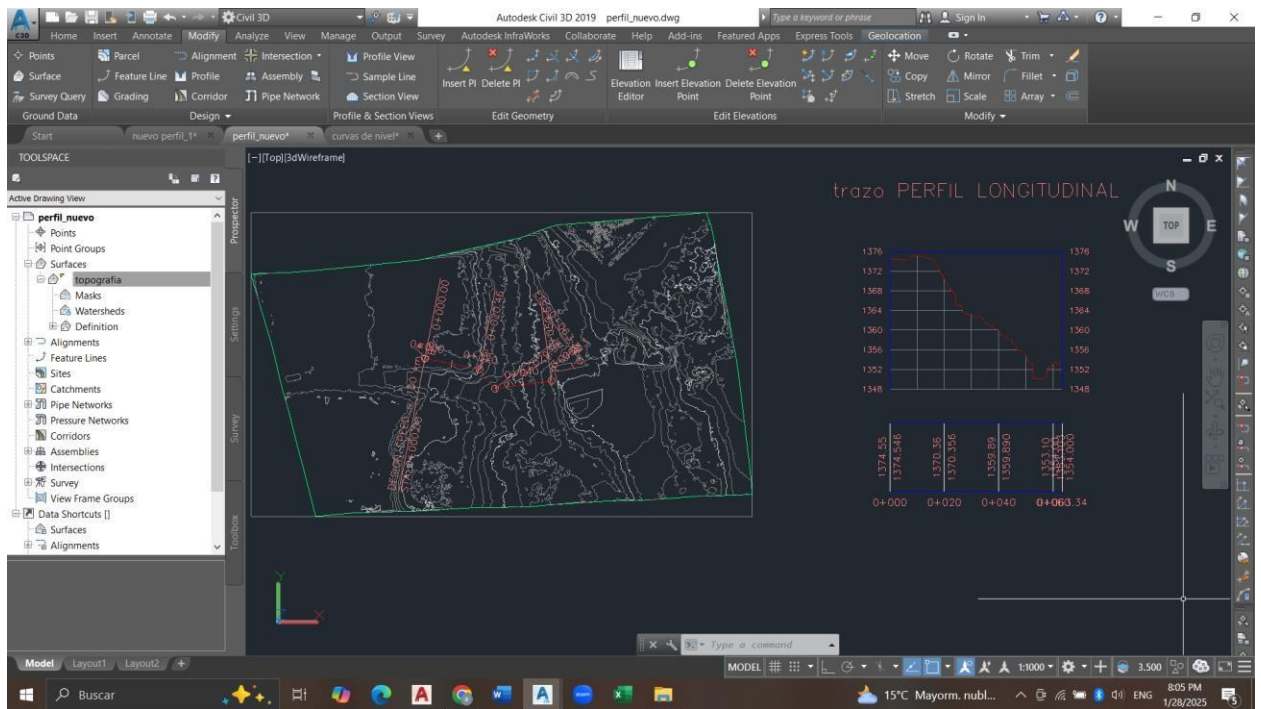


Fuente: (Autor).

Con el MDT se realizó la obtención de las curvas de nivel mediante el software Civil 3D, cuyo programa es ampliamente utilizado para proyectos de ingeniería civil, especialmente útil para tareas relacionadas con diseño de infraestructuras, diseños de terrenos y topografía, carreteras, redes de servicio, entre otros.

Una vez obtenidas las curvas de nivel se procedió a determinar en perfil de la zona de deslizamiento.

Imagen 8. Curvas de nivel obtenido en Civil 3D.



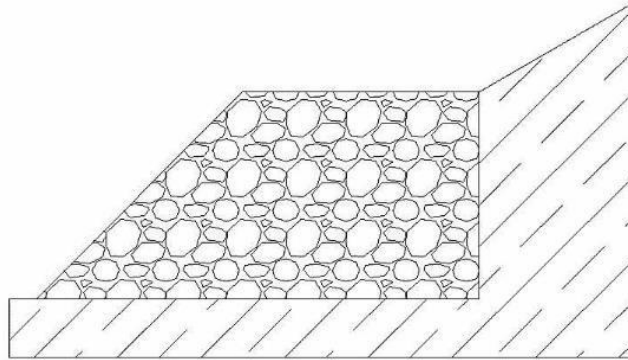
Fuente: (Autor).

9.4. Métodos habituales de estabilización.

9.4.1. Pedraplén

Este elemento constructivo consiste en la extensión y compactación de materiales procedentes de excavaciones de roca, son característicos por ser resistentes a la erosión (Quezada, 2015).

Imagen 9. Pedraplén.

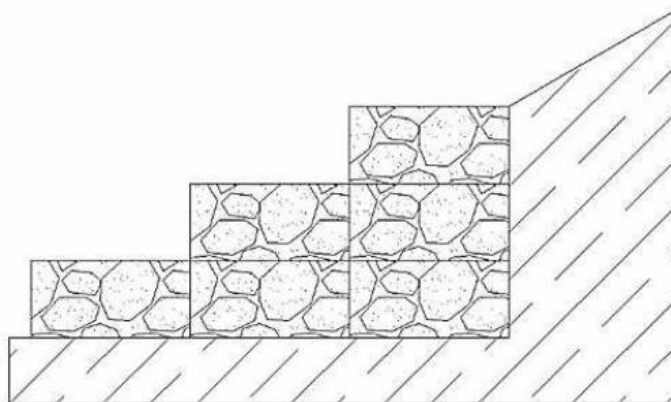


Fuente: (Quezada, 2015)

9.4.2. Muro gavión.

El muro gavión está constituido de cajas o cestas de forma prismática rectangular que se rellenan de rocas, posteriormente son enrejadas con malla y se superponen para dar forma a un muro de contención resistentes a la erosión, volteo y deslizamiento, permiten el flujo del agua y retienen los azolves (Quezada, 2015).

Imagen 10. Muro de gavión.

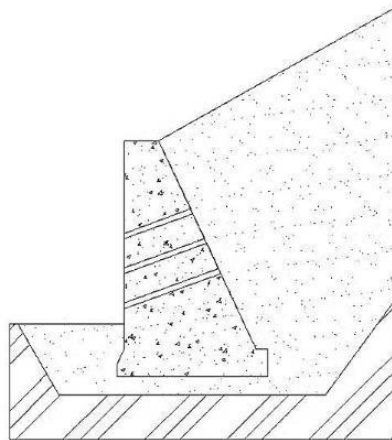


Fuente: (Quezada, 2015).

9.4.3. Muro de gravedad.

Este muro tiene un peso que contrarresta el empujo lateral del suelo, debido a sus grandes dimensiones, prácticamente no sufre de esfuerzos flectores, pueden construirse de concreto, mampostería, escollera, gaviones y prefabricados (Quezada, 2015)

Imagen 11. Muro de gravedad.

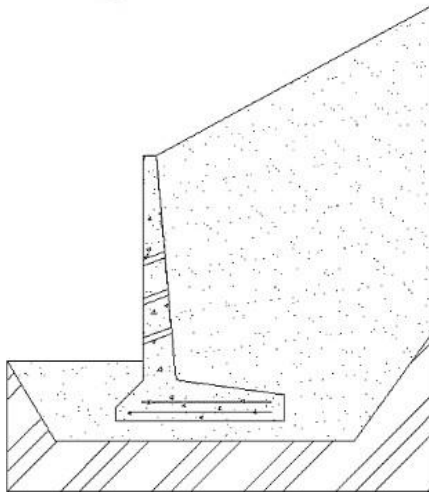


Fuente: (Quezada, 2015)

9.4.4. Muros en cantiléver.

Estos muros están contruidos de concreto reforzado y su forma usual de construcción es en forma de T, por lo tanto, este elemento estructural trabaja como una viga en voladizo, empotrada a una zapata inferior (Quezada, 2015).

Imagen 12. Muros en cantiléver.

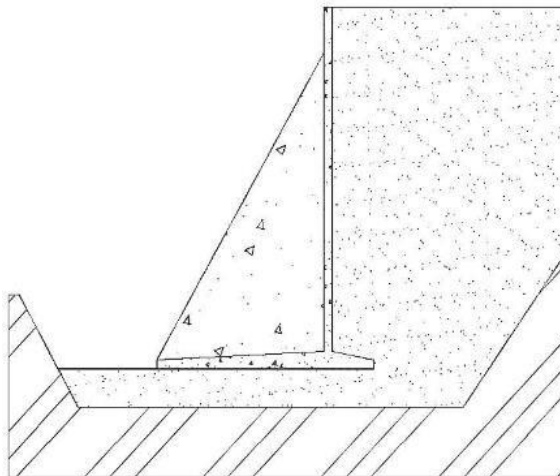


Fuente: (Quezada, 2015).

9.4.5. Contrafuerte

Son muros de concreto reforzado, su forma es similar al muro en cantiléver, pero esbelta, posee elementos de concreto reforzado que rigidiza el muro (Quezada, 2015).

Imagen 13. Contrafuerte de concreto.

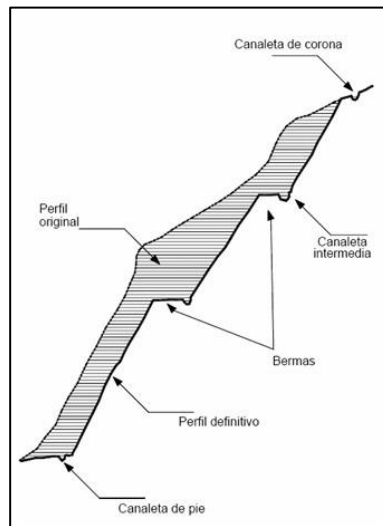


Fuente: (Quezada, 2015).

9.4.6. Elaboración de bermas.

Las bermas pueden ser plataformas horizontales o casi horizontales que se colocan entre las caras inclinadas de un talud e interrumpe la pendiente y proporciona estabilidad, en estabilidad de taludes su función principal es actuar como barreras para frenar la propagación de posibles fallas, reduciendo la pendiente y disminuyendo la probabilidad de deslizamientos.

Imagen 14. Bermas.



Fuente: (Pineda, 2018).

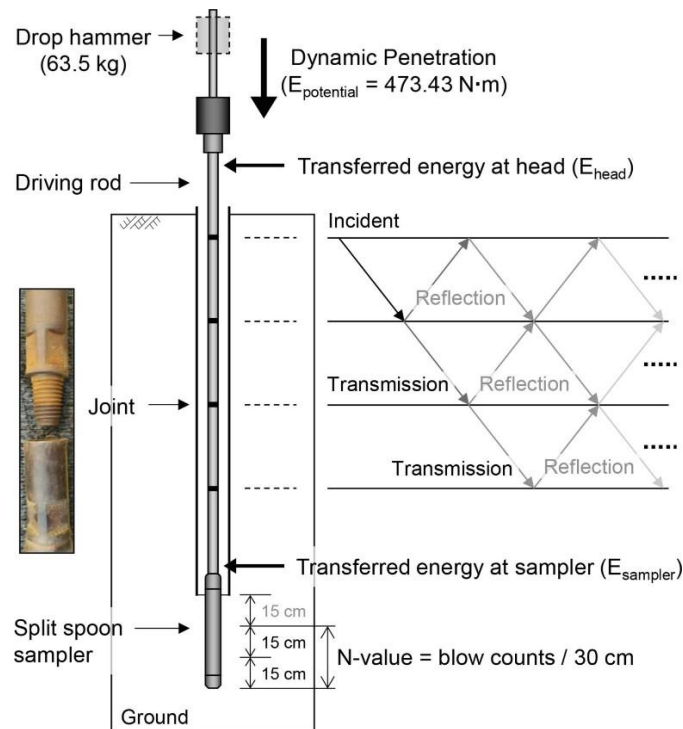
9.5. CARACTERIZACION MECANICA DE LOS SUELOS

9.5.1. Prueba de penetración estándar (SPT)

El SPT es un ensayo ampliamente empleado en investigación geotécnica utilizado básicamente para obtener información sobre la estratigrafía del subsuelo, los sondeos del SPT consisten en un proceso repetitivo, se basa en tres operaciones: perforación del pozo, pruebas de penetración y muestreo (Gonçalves et al., 2021).

Una prueba de penetración estándar (SPT) consiste en un martillo pesado con una masa de 63,5 kg que cae libremente desde una distancia de caída especificada (76 cm) y un dispositivo de penetración de especificación estándar que se introduce en una formación determinada. La naturaleza de la capa de suelo se determina basándose en el número de martillazos del dispositivo de penetración, que en nuestro caso de estudio fue un valor de $N = 10$ y alcanzando una profundidad de 2.4 m. El valor N depende de las propiedades del suelo y de la energía transferida a la tubería de perforación durante el martilleo (Ji et al., 2023).

Imagen 15. Tomada del artículo "Evaluation of driving energy transferred to split spoon sampler for accuracy improvement of standard penetration test".



Fuente: (Hong et al., 2022).

La prueba de penetración estándar (SPT) es un método de prueba in situ utilizado en todo el mundo que puede evaluar las propiedades del suelo en función del recuento de golpes (valor N) (Hong et al., 2022).

Se perfora el suelo hasta una profundidad requerida, teniendo en cuenta que los primeros 15 centímetros de profundidad alcanzados con los golpes del martillo son descartados ya que el suelo de su alrededor se altera durante la perforación previa, así a partir de los próximos 30 cm alcanzados por el muestreador de la cuchara partida, la muestra es válida para ser estudiada en laboratorio, se obtuvo una muestra a 2 m (muestra 1) y 2.4 m (muestra 2) de profundidad.

Imagen 16. Muestra obtenida en campo.



Fuente: (Autor).

En el laboratorio se procede a realizar diferentes tipos de ensayos mencionados a continuación:

9.5.2. DENSIDAD APARENTE MEDIANTE PARAFINA

El ensayo con parafina es una técnica utilizada principalmente para determinar la densidad aparente o real de muestras de suelo, roca, especialmente cuando estos son porosos o sus formas son irregulares.

El propósito de determinar la densidad es que la parafina sella los poros de la muestras, evitando que absorba agua y altere los resultados del volumen; al recubrir la muestra con parafina y sumergirla en agua, se determina su volumen mediante el principio de Arquímedes, lo cual nos indica que “todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje ascendente, homogéneo al peso de fluido desalojado (Terán, 2021).

Equipos y materiales

- Proctor estándar
- Parafina
- Cocineta
- Balanza
- Vaso de precipitación
- Espátula

Procedimiento

Con la muestra obtenida en campo, se procede a realizar un remoldeo debido a que el material se encontraba muy suelto.

En laboratorio con la ayuda del Proctor se realiza el remoldeo, aplicando 25 golpes en 3 capas, teniendo el peso de la muestra $W_m = 460.45g$.

Se calienta la parafina en la cocineta hasta que se derrita, para posteriormente sumergir el material obtenido en campo, con la ayuda de la espátula se recubre totalmente sin dejar espacios vacíos.

Imagen 17. Parafina en la cacineta.



Fuente: (Autor).

Imagen 18. Material sumergido en la parafina.



Fuente: (Autor).

Se pesa el material recubierto con parafina ($W_m + P$), para luego determinar el peso de la parafina (W_p) con la ecuación 2.

$$W_p = W_m + P - W_m$$

Ecuación 2

Se sumerge la muestra en un vaso de precipitación graduada con agua, para determinar el volumen de la parafina (V_p) con la ecuación 3.

$$V_p = \frac{W_p}{\delta_p}$$

Ecuación 3

Donde

w_p : Peso de la parafina

δ_p : Densidad de la parafina

Imagen 19. Muestra con parafina sumergida en agua.



Fuente: (Autor).

Para determinar el volumen de la muestra sin parafina (V_{SP}) con la ecuación 4:

$$V_{SP} = V_{m+p} - V_p$$

Ecuación 4

Donde

V_{m+p} : Volumen de la muestra más parafina.

V_p : Volumen de la parafina.

Finalmente se obtiene la densidad con parafina (δ_p) ecuación 5 y la densidad sin parafina (δ_{sp}) ecuación 6

$$\delta_p = \frac{W_{m+p}}{V_{m+p}}$$

Ecuación 5

$$\delta_{sp} = \frac{W_m}{V_m}$$

Ecuación 6

9.5.3. Ensayo de granulometría

Este método permite mediante el tamizado, determinar la distribución por tamaño de las partículas además de la clasificación de suelos, comportamiento mecánico, entre otros.

Equipo y material

Balanza: Debe ser una balanza con capacidad superior a la masa de la muestra

Tamices: Ser tejidos de alambre con abertura cuadrada

Tabla 5. Abertura tamices.

No. Tamices
12.5 mm
9.5 mm
N. 4
N. 10
N. 20
N. 40
N. 100
N. 200

Fuente: (Autor).

Herramientas y accesorios: brochas, brochas, espátulas, cuchareta.

Procedimiento

Pesar la muestra

Muestra 1: $W = 809$ g.

Muestra 2: $W = 820$ g.

Colocar el material en los tamices, realizar un movimiento de la columna de tamices de izquierda a derecha de manera manual, para que el material se distribuya respectivamente de acuerdo con su tamaño, para posteriormente pesar el material retenido en cada tamiz.

Imagen 20. Tamices.



Fuente: (Autor).

Imagen 21. Material pesado.



Fuente: (Autor).

Los datos obtenidos se ingresan a una hoja de Excel, en donde se elabora la curva granulométrica, que demuestra la distribución del suelo, en donde se obtiene mediante cálculos el valor del coeficiente de uniformidad (Cu) y el coeficiente de curvatura (Cc).

Tabla 6. Modelo para el análisis granulométrico.

TAMIZ	mm	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
1"	25.4				
1/2"	12.5				
3/8"	9.5				
N. 4	4.75				
N. 10	2				
N. 20	0.84				
N. 40	0.42				
N. 100	0.149				
N. 200	0.075				
BASE					
TOTAL		0	0.00		

Fuente: (Autor).

9.5.4. Ensayo de límites de consistencia

El objetivo de este ensayo es determinar si “*los suelos finos y las arenas de baja compacidad se pueden deformar en mayor o menor escala dependiendo de la cantidad de agua y sus características físicas*” (Domínguez et al., 2006).

Equipos y materiales

- Muestra obtenida pasante el tamiz 40 en adelante
- Muestra 1: W = 100 g.
- Muestra 2: W = 100 g.
- Aparato de casa grande
- Ranurador
- Capsulas

- Pocillo
- Espátula
- Jeringa
- Vidrio esmerilado
- Calibrador
- Balanza
- Horno

Procedimiento para limite liquido

Para este ensayo se coloca la muestra de 100 g en el pocillo, para posteriormente agregar cantidades de agua determinadas al material para realizar el ensayo en el aparato de casa grande.

Imagen 22. Muestra en el pocillo.



Fuente: (Autor).

Se coloca una parte del material en la cazuela, comprimiendo y extendiendo sobre la misma, teniendo en cuenta que el valor de profundidad aproximada sea de 10 mm. Haciendo una pasada de arriba hacia abajo manteniendo el ranurador perpendicular a la superficie de la cazuela, se realiza la ranura lo más uniforme posible.

Imagen 23. Material en la cazuela.



Fuente: (Autor).

Se acciona la cazuela a una razón de aprox. 2 golpes por segundo, contando el número de golpes necesario hasta que la ranura se cierre.

Imagen 24. Cazuela con sus respectivos golpes.



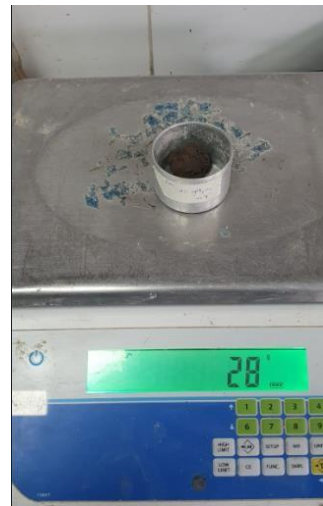
Fuente: (Autor).

Se extrae una parte del suelo presente en la cazuela, asegurándose que sea de lado y lado de la ranura y se coloca en un recipiente de masa conocida y se tapa.

Imagen 25. (a) Material extraído, (b) Material pesado



(a)



(b)

Fuente: (Autor).

El suelo sobrante se pasa a la zona de mezclado y con ayuda del agua se varía la humedad de este según se necesite aumentar o disminuir el número de golpes, teniendo en cuenta que se necesita un registro de los datos de golpes comprendidos entre 25-35, 20-30, 15-25.

Se registra el valor del peso de recipiente más la porción de suelo. Se somete a secado en el horno a una temperatura de ± 110 °C y una vez se obtengan valores de masa constante se registra el peso de suelo seco más recipiente. Para determinar el contenido de humedad se procede a utilizar la ecuación 1:

$$w(\%) = \frac{W_s}{W_w} \times 100$$

Ecuación 1.

Procedimiento para el Limite Plástico

Con el material sobrante del ensayo del límite líquido, se realiza pequeños cilindros, utilizando la palma de la mano, apoyando el material sobre el vidrio esmerilado, se moldea el material hasta que presente grietas y se rompa.

Imagen 26. Elaboración de cilindros



Fuente: (Autor).

Haciendo uso del calibrador se mide la dimensión del cilindro obtenido, para luego colocar una parte de la muestra en una capsula con tapa que será puesta al horno de secado.

Imagen 27. Muestra medida con el calibrador.



Fuente: (Autor).

Imagen 28. Muestras en el horno.



Fuente: (Autor).

Los datos obtenidos de los ensayos realizados se ingresan a una hoja de Excel, en donde se elabora la curva del límite líquido y se calcula en índice plástico, para determinar la clasificación del material.

9.5.5. Ensayo de resistencia a la compresión simple.

Este ensayo se utiliza para determinar la resistencia máxima que puede soportar un suelo o material cohesivo bajo un esfuerzo de compresión.

Equipos y materiales.

- Molde
- Latex
- Prensa de carga
- Balanza
- Capsulas
- Aceite

Procedimiento

Con la muestra obtenida del ensayo de SPT, se realiza un remoldeo del material.

Imagen 29. Remoldeo.



Fuente: (Autor).

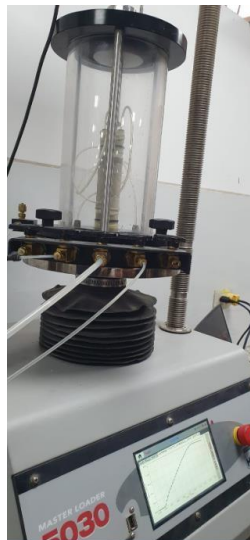
Con el material remoldeado, se procede a recubrir la muestra con latex, para ingresarlo a la prensa de carga.

Imagen 30. Muestra remoldada.



Fuente: (Autor).

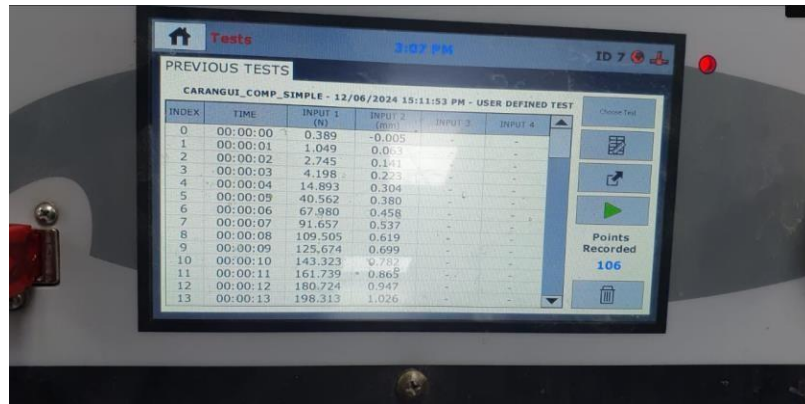
Imagen 31. Muestra ingresada a la prensa de carga.



Fuente: (Autor).

Con el ensayo realizado, se obtiene los datos de desplazamientos y cargas aplicadas por el equipo hacia la muestra.

Imagen 32. Datos obtenidos en prensa de carga.



INDEX	TIME	INPUT 1 (kN)	INPUT 2 (kN)	INPUT 3	INPUT 4
0	00:00:00	0.389	-0.005	-	-
1	00:00:01	1.049	0.003	-	-
2	00:00:02	2.745	0.141	-	-
3	00:00:03	4.198	0.23	-	-
4	00:00:04	14.893	0.304	-	-
5	00:00:09	40.562	0.380	-	-
6	00:00:06	67.980	0.458	-	-
7	00:00:07	91.657	0.537	-	-
8	00:00:08	109.505	0.619	-	-
9	00:00:09	125.674	0.699	-	-
10	00:00:10	143.323	0.782	-	-
11	00:00:11	161.739	0.865	-	-
12	00:00:12	180.724	0.947	-	-
13	00:00:13	198.313	1.026	-	-

Fuente: (Autor).

Los datos obtenidos por la prensa de carga son exportados a una hoja de calculo, para encontrar los valores de la resistencia a la compresion ultima (q_u), este valor es el esfuerzo maximo que el suelo puede soportar antes de fallar bajo una carga; la resistencia no drenada (c_u), sirve para analizar el comortamiento del suelo saturado en condiciones no drenadas, como puede ser durante la construccion; el modulo de elasticidad (E), que es una medida de la rigidez del suelo y refleja como se deforma bajo una carga.

q_u = valor max Esfuerzo

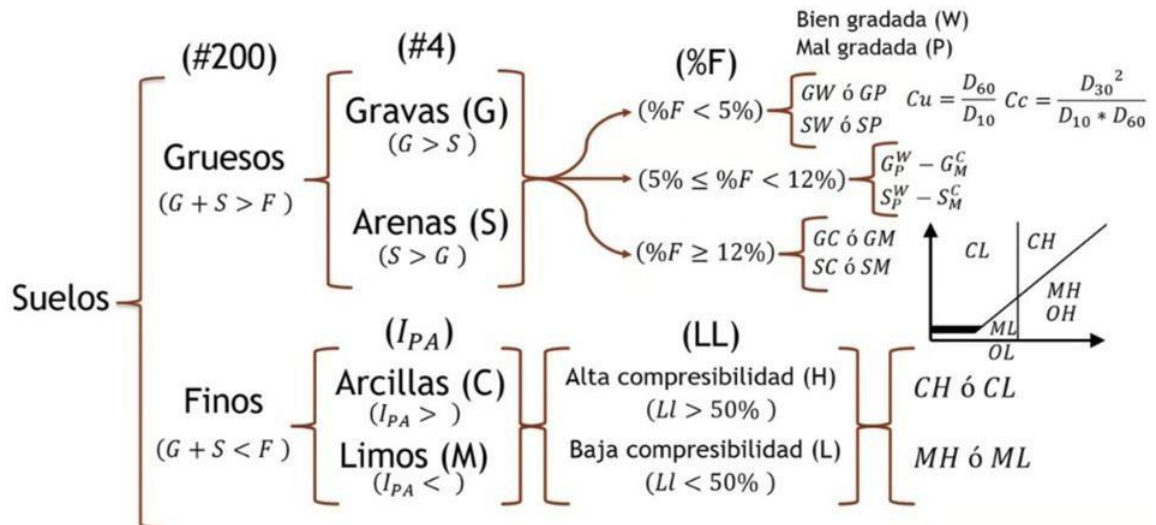
$c_u = q_u * 0.5$

9.6. CLASIFICACION SUCS

Esta clasificación es ampliamente utilizada en ingeniería civil y geotecnia, para clasificar los suelos según su granulometría y límites de consistencia. El propósito es agrupar los suelos en categorías de acuerdo con sus características similares facilitando así su uso en proyectos de construcción y diseño.

Uno de los usos principales del SUCS es para la estabilidad de taludes, ya que esta ayuda a determinar el tipo de suelo, evaluando su capacidad de soporte y su comportamiento ante cargas.

Imagen 33. Clasificación de suelos.



Fuente: (Ingeotecnica, S/F).

Si más del 50% del material queda retenido en el tamiz #200 se considera material grueso, el mismo que se deriva en grava (G) o arena (S), si más del 50% del material pasa el tamiz #4 se considera arena caso contrario se considera grava.

Gravas y arenas pueden ser bien gradadas o mal gradadas basado en los rangos presentados por el valor del coeficiente de uniformidad (C_u) ecuación 2 (Das, 2013) y coeficiente de curvatura (C_c) ecuación 3 (Das, 2013), datos obtenidos por medio del ensayo de granulometría:

$$\text{Coeficiente de uniformidad: } C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Ecuación 2

$$\text{Coeficiente de curvatura: } C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}}$$

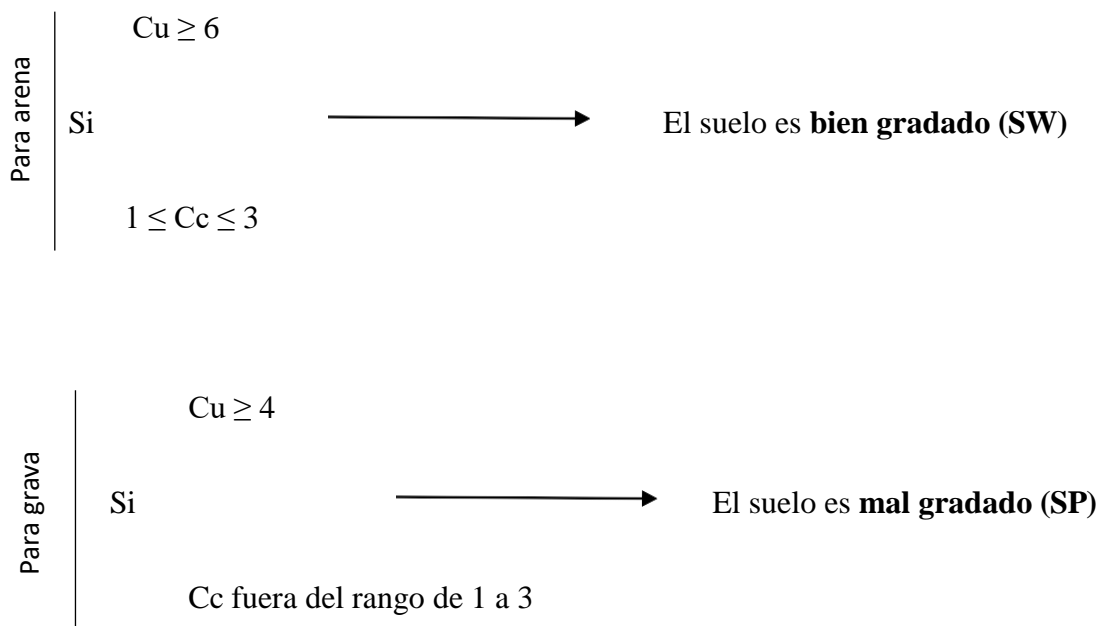
Ecuación 3

En donde:

D_{60} = tamaño de partícula cuyo porcentaje sea mayor o igual que el 60% en peso del suelo.

D_{10} = tamaño de partícula cuyo porcentaje sea mayor o igual que el 10% en peso del suelo.

D_{30} = tamaño de partícula cuyo porcentaje sea mayor o igual que el 30% en peso del suelo.

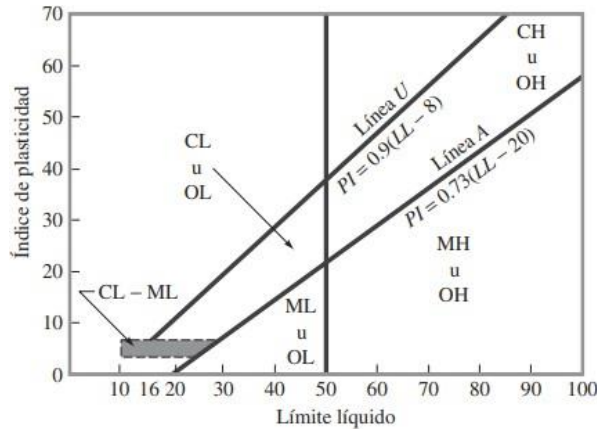


Las gravas y arenas se pueden clasificar en grava con limo (GM), grava con arcilla (GC), arena con limo (SM) o arena con arcilla (SC), tomando en cuenta el índice de plasticidad obtenido en el ensayo de Límites.

Si más del 50% de material pasa el tamiz #200 se considera fino, dentro de este se encuentra limos (M) y arcillas (C), para determinar si un suelo es Limo de baja plasticidad (ML), arcilla de

baja plasticidad (CL), limo de alta plasticidad (MH) o arcilla de alta plasticidad (CH) se obtienen los datos de laboratorio sobre el ensayo de límites líquido y plástico cuyos valores determinaran su clasificación de acuerdo con la siguiente figura:

Grafica 1. Grafica de plasticidad.



Fuente: (Das, 2013).

Tabla 7. Clasificación SUCS.

Tipo de suelo	prefijo	subgrupo	sufijo
Grava	G	Bien graduado	W
Arena	S	Mal graduado	P
limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Baja plasticidad	L
		Alta plasticidad	H

Fuente: (Cárdenas Ramírez and Moya Ortiz, 2022).

9.7. Método de las dovelas

Este método se puede explicar por referencia a la figura 24 en la que AC es un arco de un círculo que representa la superficie de la prueba de falla. El suelo por encima de la superficie de la prueba de falla se divide en varias dovelas verticales. La anchura de cada una de éstas no

necesita ser la misma. Considerando la longitud unitaria perpendicular a la sección transversal mostrada, las fuerzas que actúan sobre una porción típica (dovela enésima) se muestran en la figura (Das, 2013).

Donde:

W_n : Es el peso efectivo de la dovela.

N_r y T_r (fuerzas): Son las componentes normal y tangencial de la reacción R .

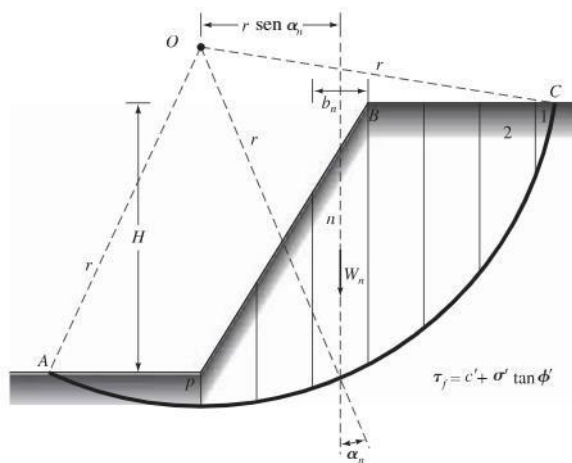
P_n y P_{n+1} : Son las fuerzas normales que actúan sobre los lados de las dovelas.

T_n y T_{n+1} : Fuerzas de corte que actúan sobre los lados de la dovela

Presión del agua intersticial es 0.

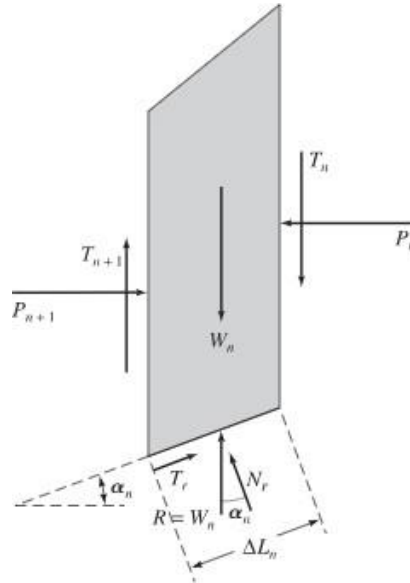
Las fuerzas P_n , P_{n+1} , T_n y T_{n+1} son difíciles de determinar por tal motivo se hace una suposición aproximada en donde las resultantes P_n y T_n son equivalentes en magnitud a las resultantes de P_{n+1} y T_{n+1} .

Imagen 34. Superficie de la prueba de falla.



Fuente: (Das, 2013).

Imagen 35. Fuerzas actuantes en la n-ésima dovela.



Fuente: (Das, 2013).

Para la consideración de equilibrio tenemos la ecuación 4 (Das, 2013):

$$N_r = W_n \cos \alpha_n$$

Ecuación 4

Donde:

N_r : componente normal de la reacción r.

W_n : peso efectivo de la dovela.

La resistencia de la fuerza de cortes con la ecuación 5 (Das, 2013):

$$T_f = \tau (\Delta L_n) = \frac{\tau_f (\Delta L_n)}{FS_s} = \frac{1}{FS_s} [c' + \sigma' \tan \phi'] \Delta L_n$$

Ecuación 5.

El esfuerzo efectivo normal es igual a la ecuación 6 (Das, 2013):

$$\frac{N_r}{\Delta L_n} = \frac{W_n \cos \alpha_n}{\Delta L_n}$$

Ecuación 6.

Para obtener el factor de seguridad cuando se aplica equilibrio de fuerzas tanto horizontales como verticales con respecto a momentos en un mismo punto se deduce con la siguiente ecuación 7 (Das, 2013).

$$FS_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} c' \Delta L_n + W_n \cos \alpha_n \tan \phi'}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \operatorname{sen} \alpha_n}$$

Ecuación 7.

9.8. Método de Bishop.

Este método es utilizado para determinar la estabilidad de los taludes a largo y corto plazo, para su solución se deben dibujar tajadas que dividan la masa de suelos a deslizarse (Universal Industrial de Santander, 2018).

En el método de Bishop la superficie de falla es circular y plantea el equilibrio de momentos según el cual el momento actuante producido por el peso propio de cada tajada alrededor del centro de rotación es igual al momento resistente producido por la resistencia al corte del suelo a lo largo de la dovela (Universal Industrial de Santander, 2018).

De acuerdo con la ubicación de la dovela esta puede ser considerada en fuerzas generadas por empujes pasivos o activos, este método tiene en cuenta el efecto de las fuerzas actuantes entre las dovelas.

La fórmula para determinar el factor de seguridad según el método de Bishop es la Ecuación 8 (Das, 2013):

$$FS_5 = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [c' b_n + (w_n - u_n b_n) \tan \phi'] \frac{1}{m(\alpha)_n}}{\sum_{n=1} w_n \text{sen } \alpha_n}$$

Ecuación 8.

Donde:

C'= cohesión.

Ø= ángulo de fricción interna.

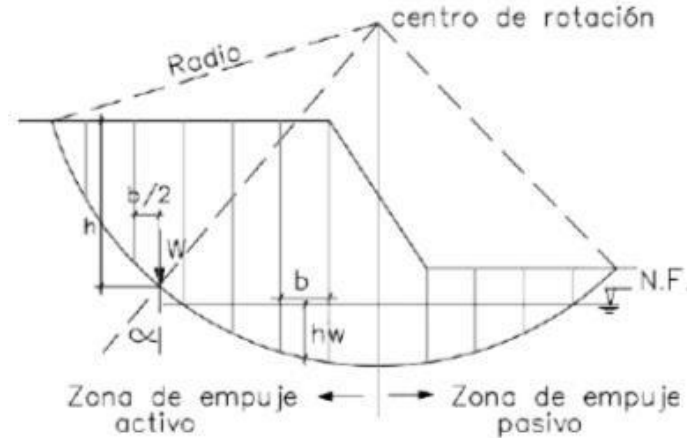
B= ancho de la dovela.

W= peso de la dovela.

U= presión de poros con respecto a la base de cada dovela.

α= ángulo formado entre la perpendicular a la línea de falla y la vertical en el centro de la dovela.

Imagen 36. Representación gráfica del método Bishop.



Fuente: (Universal Industrial de Santander, 2018)

9.9. Sismología.

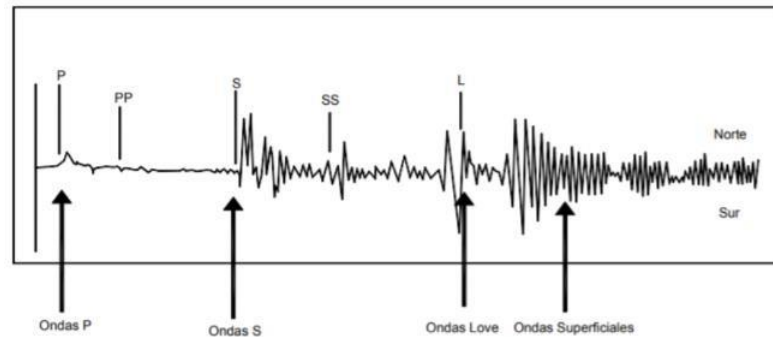
Los sismos son causados por la deriva continental de las placas tectónicas, estas placas tectónicas son elementos de gran tamaño organizados como bloques que forman la corteza terrestre, existen seis placas principales, Ecuador se encuentra ubicada sobre la Placa Sudamericana y Placa de Nazca.

Ecuador es un país con alta actividad sísmica, además de tener la elevación de los Andes y Volcanismo.

Los sismos producen ondas de diferentes tipos y son sensibles de diferentes maneras. Las ondas de compresión (P) son las primeras en sentirse, debido a la rapidez con la que viajan. Las ondas de cortante (S) producen un movimiento de corte en el suelo, esto quiere decir que las partículas se mueven en dirección normal a la dirección de las ondas. Las ondas Rayleigh son perceptibles en la superficie de la tierra y se asemejan al movimiento de las ondas en el agua. Las

ondas Love (L) se generan a partir de las ondas S y su interacción con la corteza. Estas generan torsión y no tienen una componente paralela a la gravedad (Lemus Aragón, 2020).

Imagen 37. Ondas sísmicas.



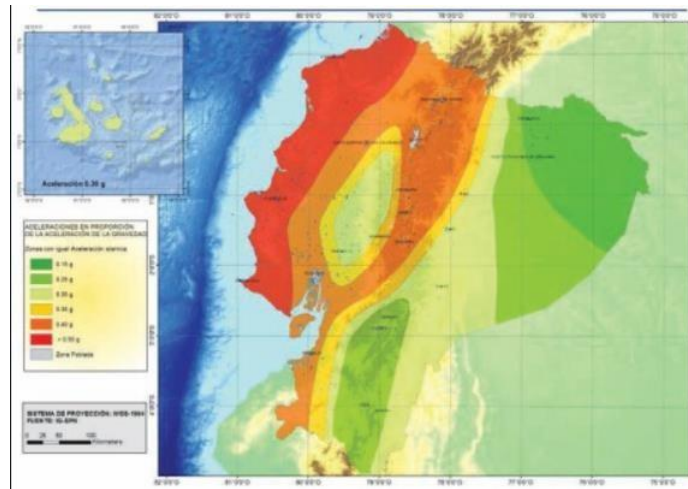
Fuente: (Lemus Aragón, 2020).

En Ecuador existe la Normativa Ecuatoriana de la Construcción (NEC) con respecto al peligro sísmico y diseño sismorresistente

Zonificación sísmica y factor de zona z.

El mapa de zonificación sísmica presentado proviene del resultado del estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (periodo de retorno de 475 años).

Mapa 2. Zonificación sísmica.



Fuente: (NEC-SE-DS Peligro Sísmico., 2014).

Tabla 8. Valor Z con respecto a la zona sísmica.

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

Fuente: (NEC-SE-DS Peligro Sísmico., 2014).

9.10. GeoStudio Slope/W (Software)

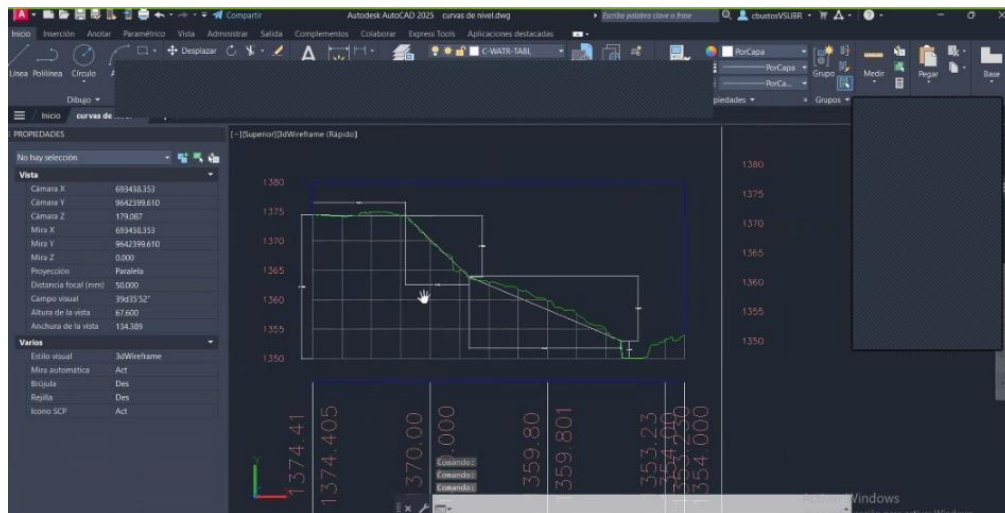
Este programa realiza el análisis de estabilidad de taludes evaluando la seguridad de estructuras de tierra, como presas, terraplenes, cortes, muros de contención y taludes naturales. En análisis de estabilidad de taludes determina el factor de seguridad frente al deslizamiento y evalúa los posibles mecanismos de falla y en donde se encuentran las superficies críticas de deslizamiento.

Con este programa se puede considerar diversos tipos de suelos, propiedades de materiales y condiciones de carga; simulando, además escenarios como variaciones de cargas extremas, sismos y nivel freático.

Integra métodos de equilibrio limite, Bishop, Janbú, Spencer, entre otros para la estabilidad de pendientes.

Para el caso de estudio presentado se generó un perfil obtenido por el programa Civil 3D, el cual servirá para dimensionar el modelo de talud natural, que se generará en el programa GeoStudio.

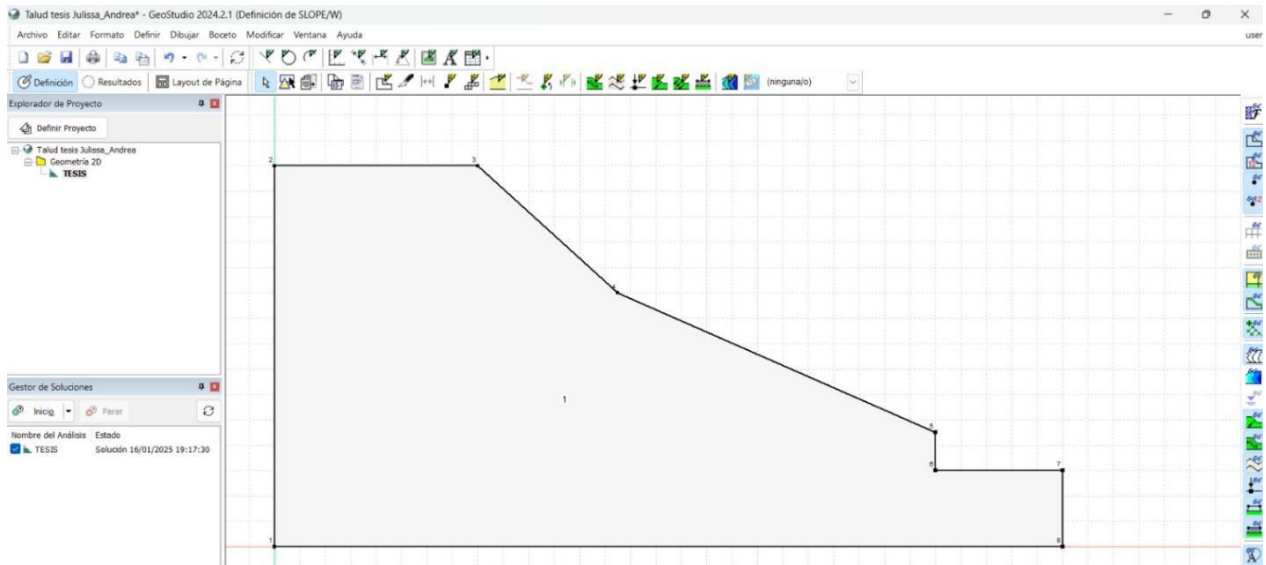
Imagen 38. Dimensionamiento de talud en Civil 3D.



Fuente: (Autor).

Una vez determinadas las dimensiones, se define la región en el programa.

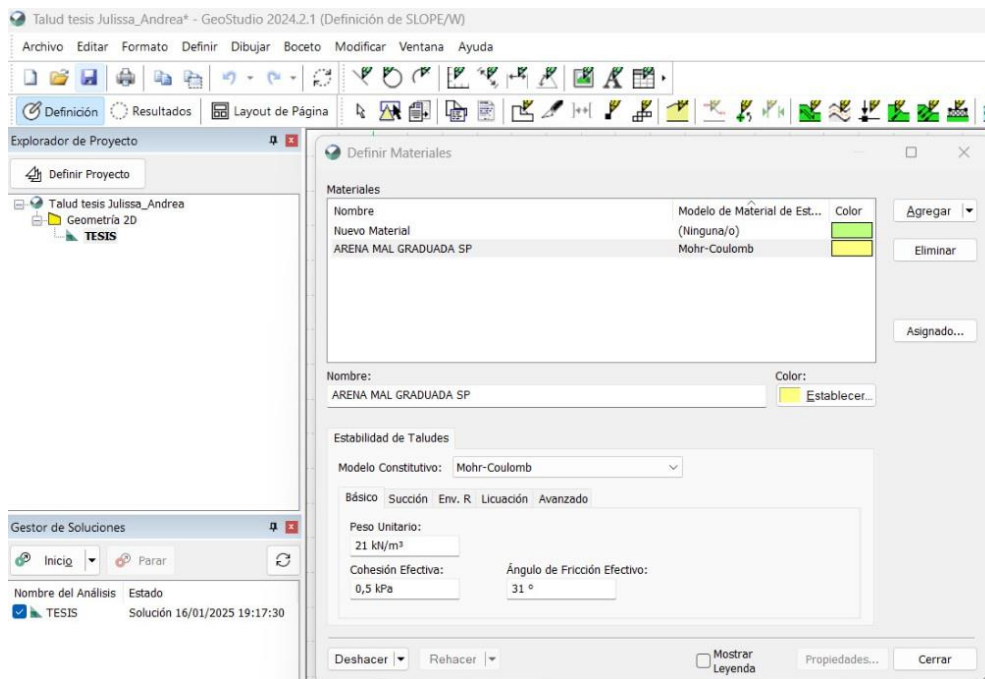
Imagen 39. Definir región.



Fuente: (Autor).

Con los resultados obtenidos de los ensayos realizados en laboratorio se determina el tipo de material que se aplicara al modelo de solución y se procede a definir el material.

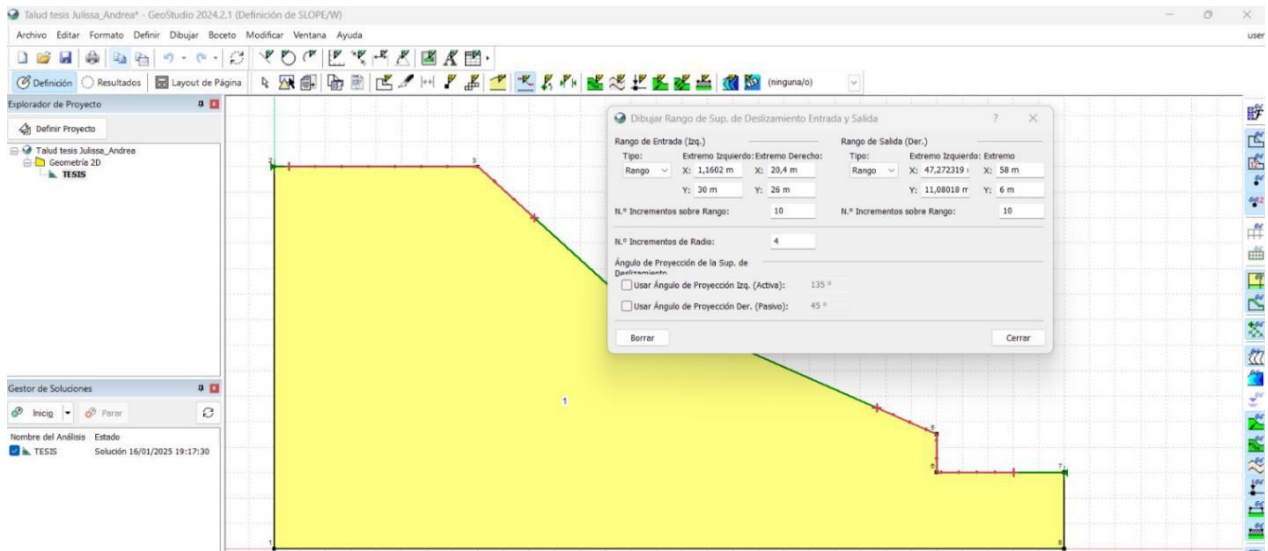
Imagen 40. Definir material.



Fuente: (Autor).

Se procede a ingresar los datos de entrada y salida de los circuitos de falla.

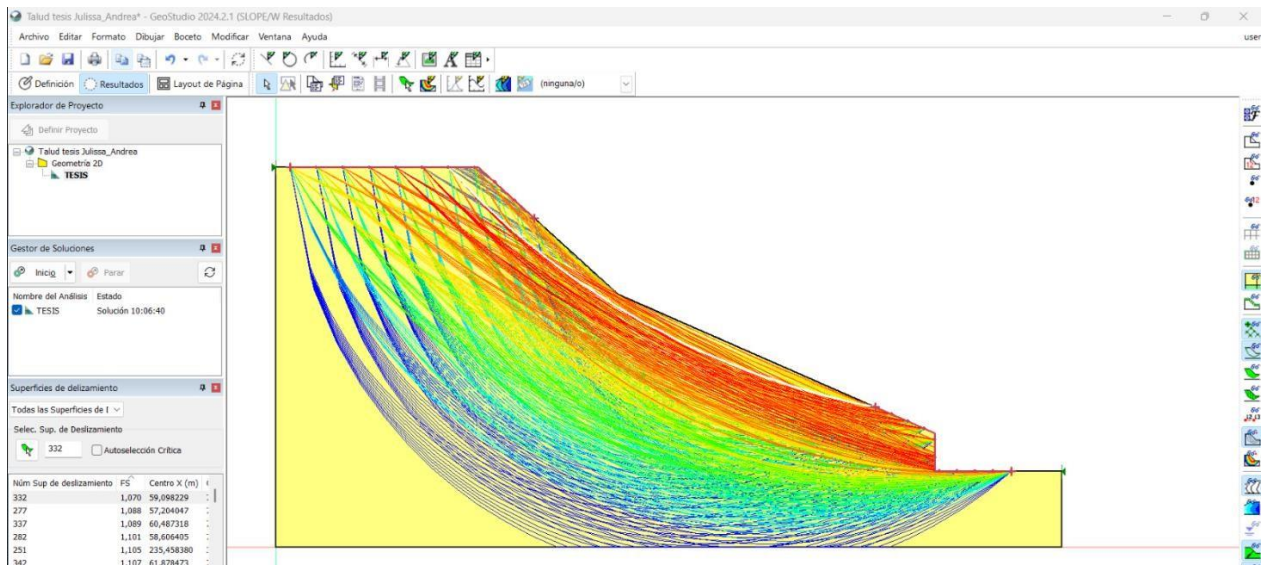
Imagen 41. Entrada y salida de circuitos de falla.



Fuente: (Autor).

Se procede a ejecutar el programa y se obtiene los circuitos de falla analizados.

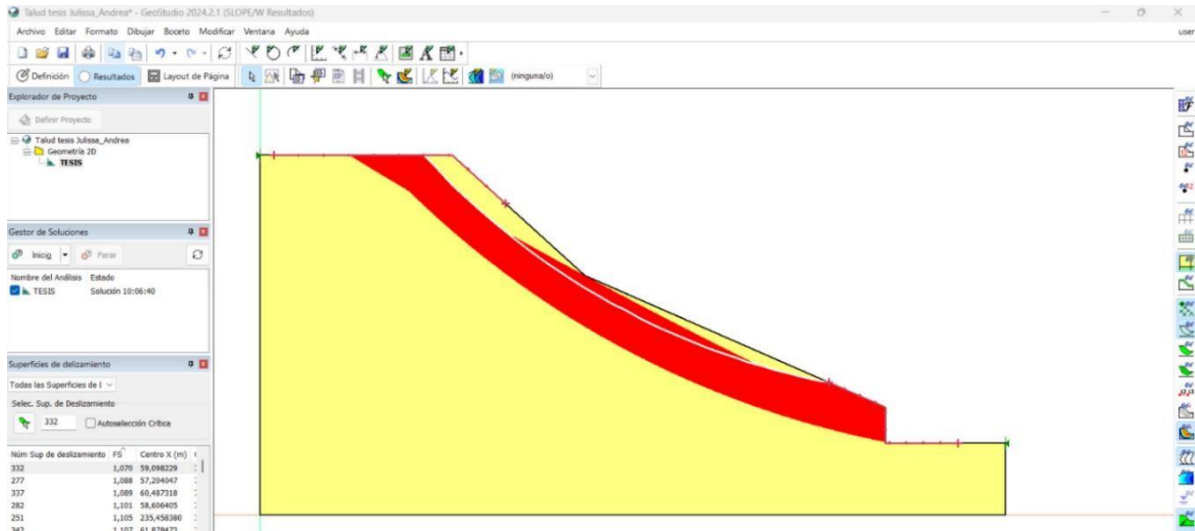
Imagen 42. Circuitos de falla.



Fuente: (Autor).

Lo cual la franja roja indica la magnitud del deslizamiento que llegara a tener el talud.

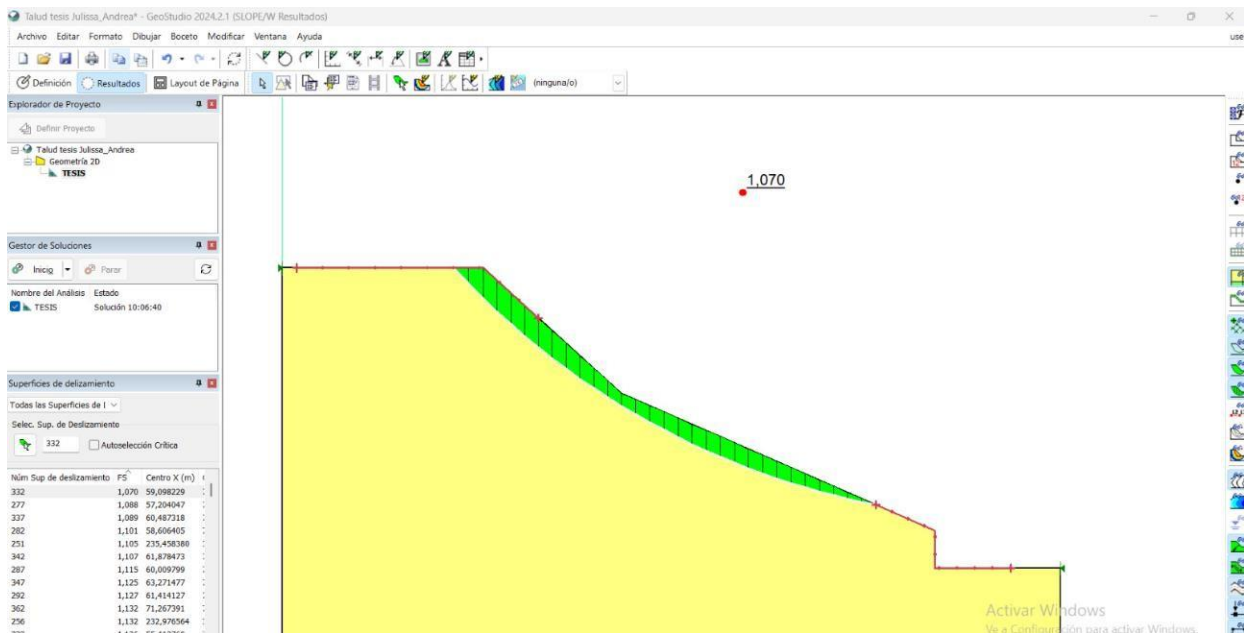
Imagen 43. Magnitud del deslizamiento.



Fuente: (Autor).

Analizando el talud con carga estática, se obtuvo un factor de seguridad de 1.07, significando que se encuentra fuera del rango aceptable.

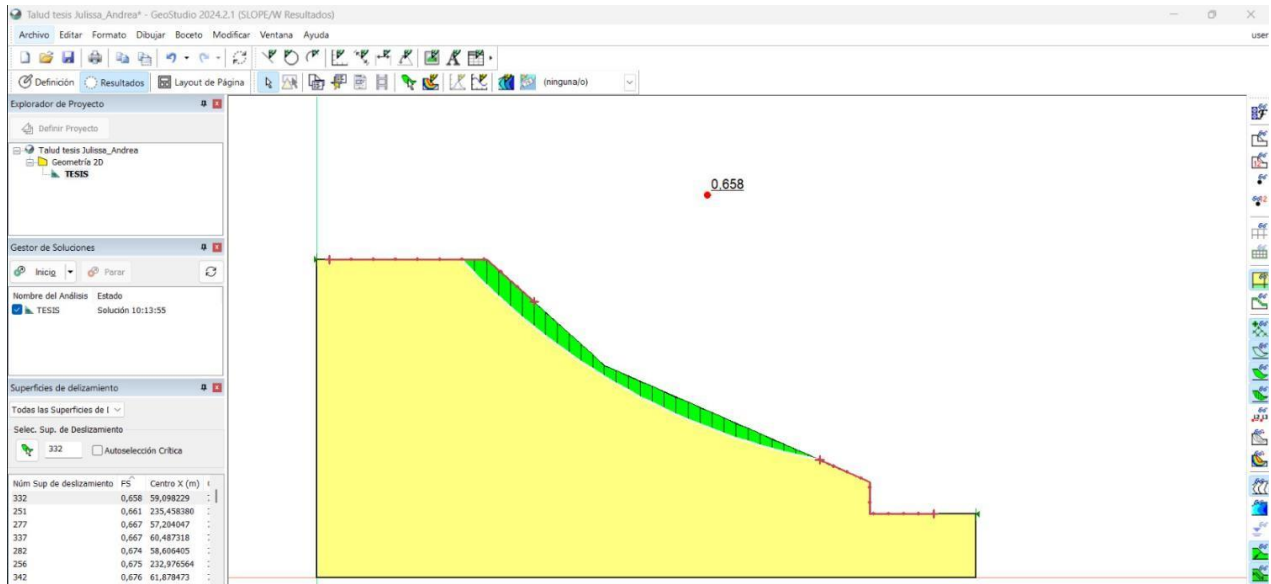
Imagen 44. Factor de seguridad aplicando carga estática.



Fuente: (Autor).

Aplicando carga sísmica, se obtuvo un factor de seguridad de 0.65, significando que se encuentra fuera del rango aceptable.

Imagen 45. Factor de seguridad aplicando carga sísmica.



Fuente: (Autor).

Como el factor de seguridad obtenido tanto en el análisis con carga estática y carga sísmica es inferior al valor aceptable para que el talud sea seguro, se procede a realizar una adecuada geometría para así lograr que nuestro talud cumpla con los factores de seguridad mínimos establecidos en la Normativa Ecuatoriana de la Construcción, Geotecnia y Cimentaciones (NEC-SE-GC).

Tabla 9. Factores de seguridad por cortes mínimos.

Condición	FS corte Mínimo	
	Diseño	Construcción
Carga Muerta + Carga Viva Nominal	1.5	1.25
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	1.25	1.1
Carga Muerta + Carga Viva Nominal + Sismo de diseño Pseudo estático	1.1	1
Taludes - condición estática y agua subterránea normal	1.5	1.25
Taludes - condición Pseudo estática con agua Subterránea Normal y Coeficientes Sísmicos de diseño	1.05	1

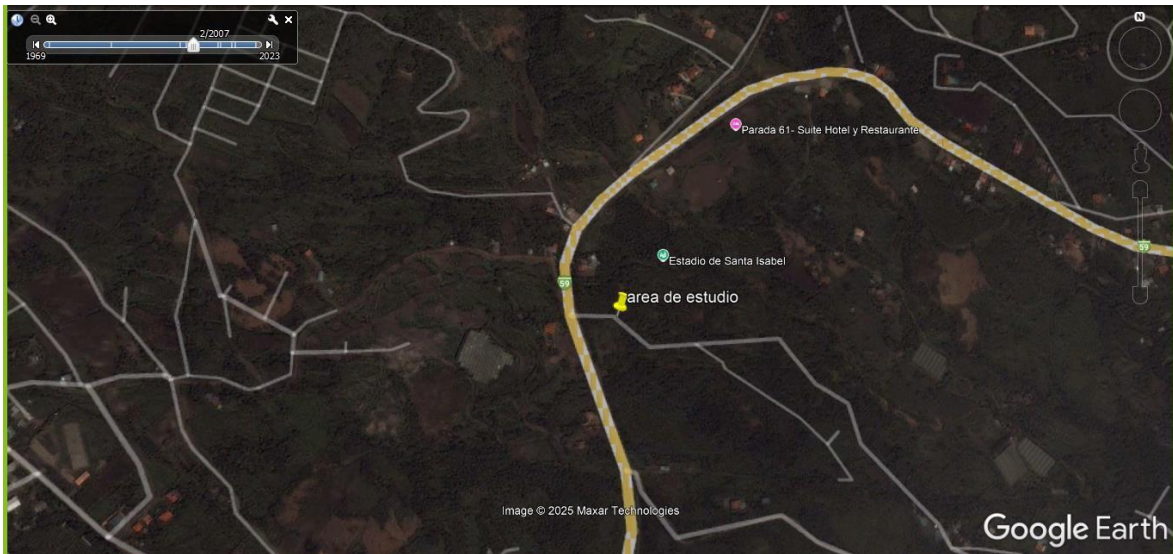
Fuente: (NEC-SE-GC, 2014).

10. Resultados

10.1. Análisis de antecedentes sobre el área de estudio.

El primer paso fue recopilar imágenes satelitales del área de estudio. Esta fase se centró en estudiar la morfología de la zona desde una vista aérea. Se realizó un inventario de las construcciones en el área, para considerar si estos pudiesen influir en la inestabilidad del terreno u ocurrió un desvío o taponamiento de quebradas, lo cual está ocasionando fallas en la zona de estudio.

Imagen 46. Zona de estudio año 2007.



Fuente: (Google Earth).

Imagen 47. Zona de estudio año 2023.



Fuente: (Google Earth).

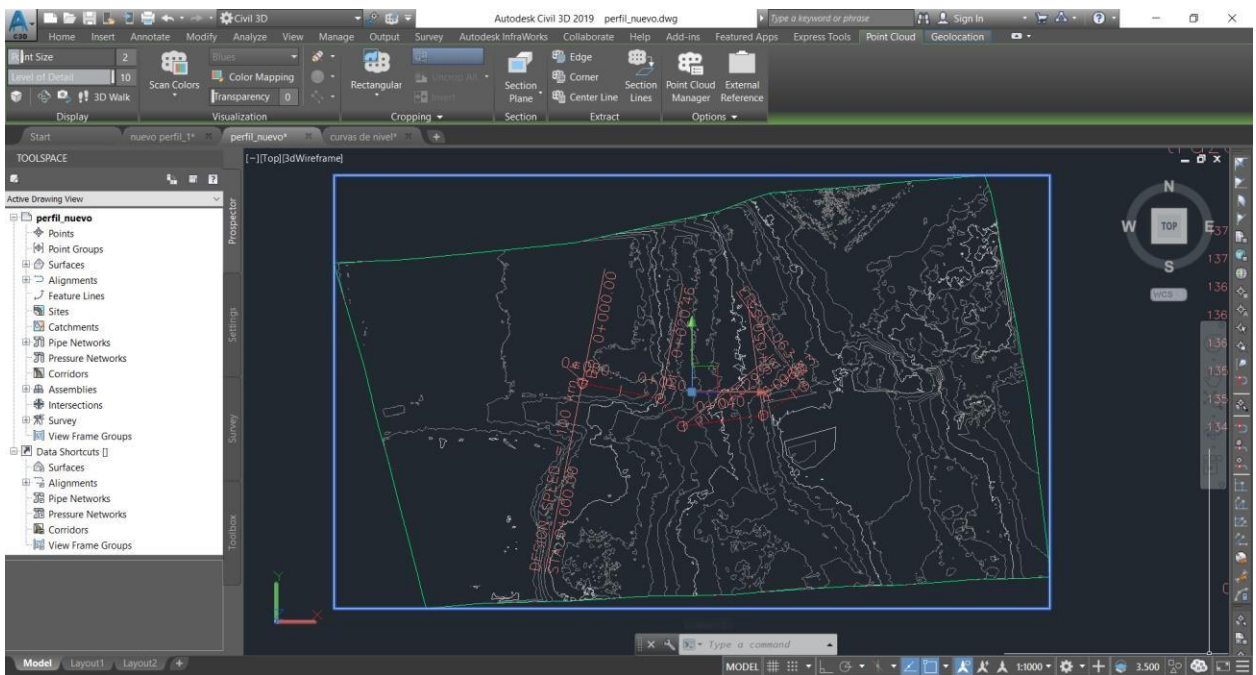
Se pudo observar que, con el paso del tiempo, la vegetación ha disminuido, lo cual puede ser un factor influyente con respecto a la estabilidad del suelo, además que en cuestiones de infraestructura estas han tenido un aumento considerable, ya que ha existido apertura de caminos

pudiendo este provocar la desviación de las quebradas siendo un causante de los deslizamientos y fallas geológicas que existen actualmente.

10.2. Resultados del levantamiento topográfico con Vehículo Aéreo no Tripulado (VANT).

Mediante el vuelo de VANT se determinó la magnitud de afectación del deslizamiento, obteniendo así mediante el modelo digital de elevación las curvas de nivel y el perfil de la zona afectada.

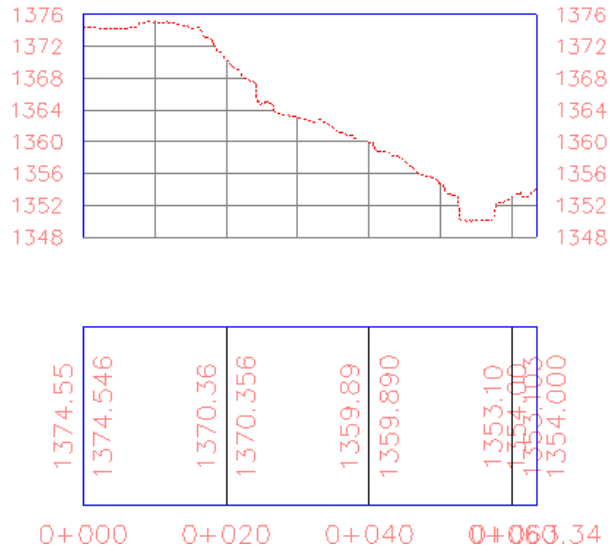
Imagen 48. Curvas de nivel generado en Civil 3D.



Fuente: (Autor).

Imagen 49. Perfil Longitudinal generado en Civil 3D.

trazo PERFIL LONGITUDINAL



Fuente: (Autor).

10.3. Resultados de los Estudios Geotécnicos.

Mediante la extracción de muestras obtenidas con la ayuda del SPT, se realizó los diferentes ensayos establecidos en laboratorio, con los cuales se obtuvo los resultados mencionados a continuación:

10.3.1. Resultados del ensayo de densidad aparente con parafina.

Tabla 10. Datos para determinar densidad del suelo.

Datos	
Peso probeta	221 g
Peso probeta con agua	504 g
Peso de la muestra	460.45 g
Peso de la parafina	10.03 g
Peso de la muestra + parafina	470.48 g
Peso del Hilo	0.82 g
Volumen de agua	400 ml
Volumen de la muestra + parafina	225 ml
Densidad del agua	0.997 g/ml
Densidad de la parafina	0.9 g/cm ³

Fuente: (Autor).

Para determinar el Volumen de la parafina (V_p) y el Volumen de la muestra sin parafina (V_{sp}) se utiliza las ecuaciones 3 y 4, en donde:

$$V_p = 11.14$$

$$V_{sp} = 213.85$$

Se determina la densidad del suelo con parafina (δ_p) y la densidad del suelo sin parafina (δ_{sp}) con las ecuaciones 5 y 6.

$$\delta_p = 2.09 \text{ g/cc}$$

$$\delta_{sp} = 2.15 \text{ g/cc}$$

10.3.2. Resultados del ensayo de Análisis Granulométrico.

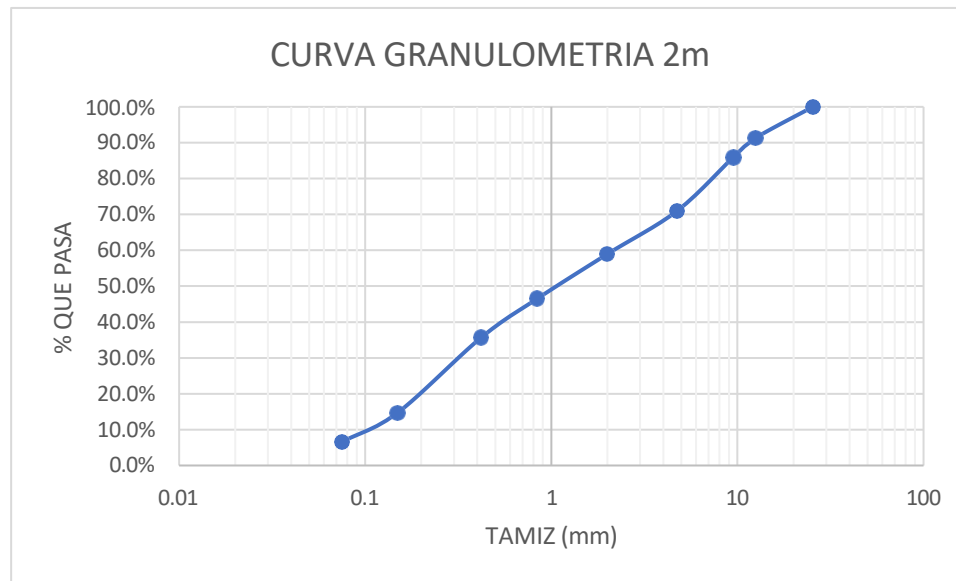
Como resultados del ensayo granulométrico se determinó que la muestra 1, que fue tomada a 2 m de profundidad, obtuvo un coeficiente de uniformidad y un coeficiente de curvatura, detallados en los siguientes análisis:

Tabla 11. Datos granulométricos a 2m.

No. Tamiz	mm	Peso retenido (g)	% Retenido	%Retenido Acumulado	% que pasa
1''	25.4	0	0	0	100
½''	12.5	70	8.71	8.71	91.29
3/8''	9.5	43	5.35	14.05	85.95
N. 4	4.75	120	14.93	28.98	71.02
N. 10	2	97	12.06	41.04	58.96
N. 20	0.84	100	12.44	53.48	46.52
N. 40	0.42	87	10.82	64.30	35.70
N. 100	0.149	169	21.02	85.32	14.68
N. 200	0.075	65	8.08	93.41	6.59
	Base	53	6.59	100	0
	Total	804	100		

Fuente: (Autor).

Grafica 2. Curva Granulométrica a 2m.



Fuente: (Autor).

$$D_{10} = 0.11$$

$$D_{30} = 0.367$$

$$D_{60} = 2.258$$

Coefficiente de uniformidad con la Ecuación 2:

$$C_u = \frac{2.258}{0.11} = 20.527 \text{ mm}$$

Coefficiente de curvatura con la Ecuación 3:

$$C_c = \frac{0.367^2}{0.11 \cdot 2.258} = 0.542 \text{ mm}$$

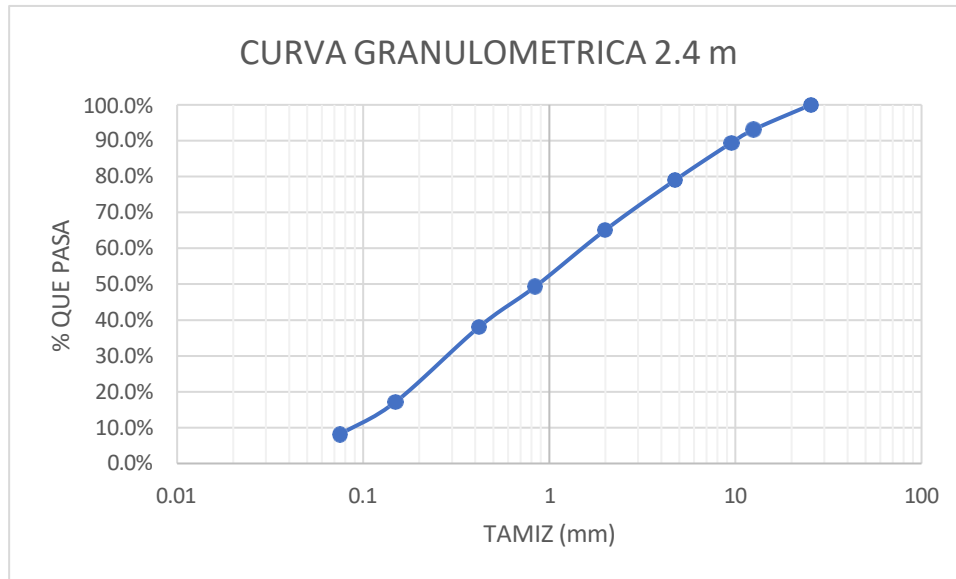
La muestra 2, que fue tomada a 2.4 m de profundidad, obtuvo un coeficiente de uniformidad y un coeficiente de curvatura, detallados en los siguientes análisis:

Tabla 12. Datos granulométricos a 2.4 m.

No. Tamiz	mm	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa
1''	25.4	0	0	0	100
½''	12.5	56	6.91	6.91	93.09
3/8''	9.5	30	3.70	10.60	89.40
N. 4	4.75	84	10.36	20.96	79.04
N. 10	2	113	13.93	34.90	65.10
N. 20	0.84	128	15.78	50.68	49.32
N. 40	0.42	91	11.22	61.90	38.10
N. 100	0.149	170	20.96	82.86	17.14
N. 200	0.075	73	9	91.86	8.14
	Base	66	8.14	100	0
	Total	811	100		

Fuente: (Autor).

Grafica 3. Curva Granulométrica a 2.4 m.



Fuente: (Autor).

Los valores D obtenidos de la ecuacion

$$D_{10} = 0.095$$

$$D_{30} = 0.337$$

$$D_{60} = 1.659$$

Coefficiente de uniformidad en base a la Ecuación 2:

$$C_u = \frac{1.659}{0.095} = 17.46 \text{ mm}$$

Coefficiente de curvatura con la Ecuación 3:

$$C_c = \frac{0.337^2}{0.095 * 1.659} = 0.72 \text{ mm}$$

10.3.3. Resultados del ensayo límites de consistencia.

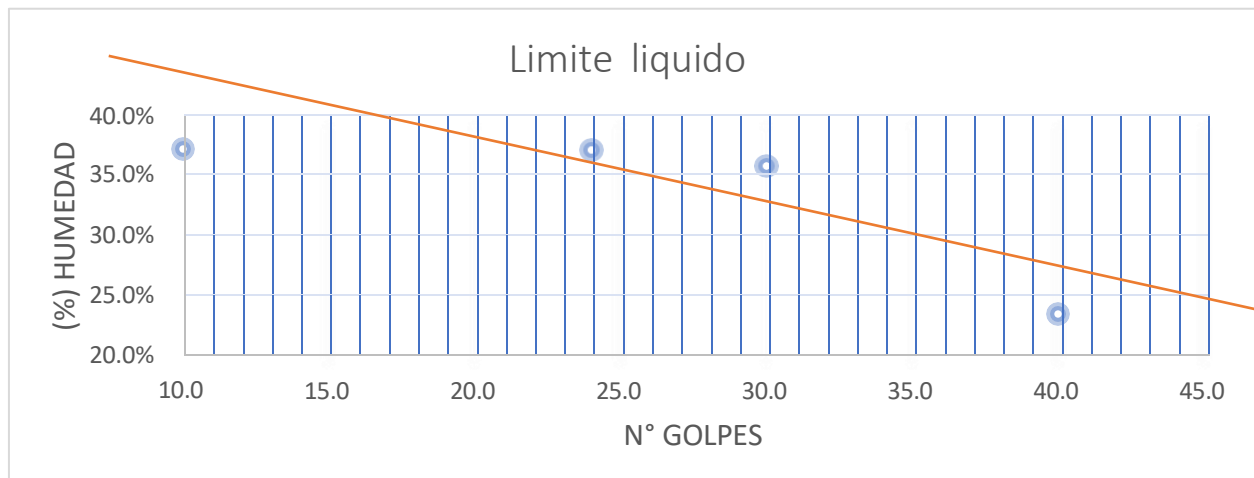
Limite Liquido de la muestra 1.

Tabla 13. Datos para obtener el límite líquido de la muestra 1.

Numero golpes	40		30		24		10	
Tara N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Wt (g)	17	17	17	17	17	17	17	17
Wt + mat (g)	28	30	27	26	30	27	31	34
Ws + t (g)	25.7	27.8	24.14	23.85	26.76	24.1	27.15	29.47
W (agua) (g)	2.3	2.2	2.86	2.15	3.24	2.9	3.85	4.53
W (masa seca) (g)	8.7	10.8	7.14	6.85	9.76	7.1	10.15	12.47
W (%)	26.4%	20.4%	40.1%	31.4%	33.2%	40.8%	37.9%	36.8%
Promedio	23.4%		35.7%		37%		37.1%	

Fuente: (Autor).

Grafica 4. Límite Líquido muestra 1.



Fuente: (Autor).

W (%) a 25 golpes = 31.8%

Limite Plástico

Tabla 6: Datos para obtener el límite plástico de la muestra 1.

Tabla 14. Datos para obtener el límite plástico de la muestra 1.

Tara N°	9
Wt (g)	17
Wt + mat (g)	26
Ws + t (g)	24.55
W (agua) (g)	1.45
W (masa seca) (g)	7.55
W (%)	19%

Fuente: (Autor).

Como resultado obtenido del IP en base a la figura 23, dio un valor de 18.3, clasificando así el material como una arcilla de baja compresibilidad (CL).

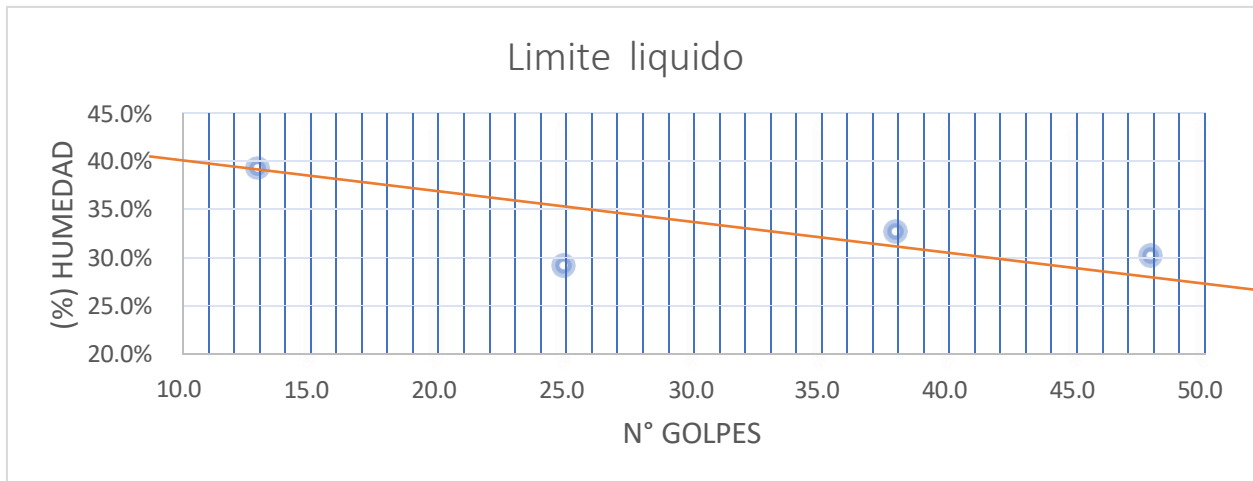
Limite Liquido de la muestra 2.

Tabla 15. Datos para obtener limite liquido de la muestra 2.

Numero golpes	48		38		25		13	
Tara N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Wt (g)	17	17	17	17	17	17	17	17
Wt + mat (g)	27	31	29	25	29	24	23	24
Ws + t (g)	24.61	27.86	25.79	23.21	26.08	22.55	21.29	22.05
W (agua) (g)	2.39	3.14	3.21	1.79	2.92	1.45	1.71	1.95
W (masa seca) (g)	7.61	10.86	8.79	6.21	9.08	5.55	4.29	5.05
W (%)	31.4%	28.9%	36.5%	28.8%	32.2%	26.1%	39.9%	38.6%
Promedio	30.2%		32.7%		29.1%		39.2%	

Fuente: (Autor).

Grafica 5. Límite Líquido muestra 2.



Fuente: (Autor).

W (%) a 25 golpes = 33.7%

Limite Plástico

Tabla 16. Datos para obtener el Limite Plástico de la muestra 2.

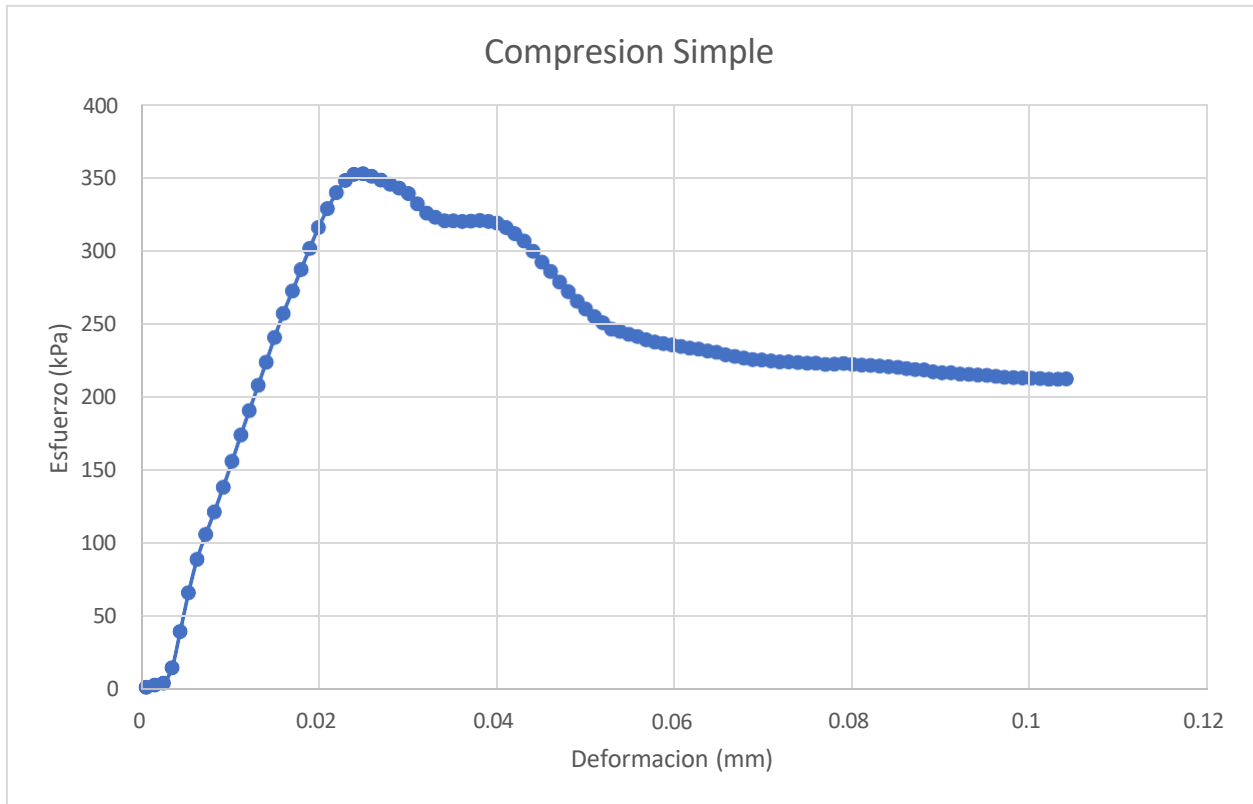
Tara N°	9
Wt (g)	17
Wt + mat (g)	20.1
Ws + t (g)	19.74
W (agua) (g)	0.36
W(masa seca)(g)	2.74
W (%)	13%

Fuente: (Autor).

Como resultado obtenido del IP en base a la figura 23, dio un valor de 20.6, clasificando así el material como una arcilla de baja compresibilidad (CL).

10.3.4. Resultados del ensayo de compresión simple.

Grafica 6. Compresión Simple.



Fuente: (Autor).

Realizando los cálculos con los datos obtenidos del ensayo compresión simple, se determinó:

Valor a la resistencia a la compresión ultima.

$$q_u = 352.18 \text{ kPa.}$$

Valor de la resistencia no drenada.

$$c_u = 176.09 \text{ kPa, } c_u = 1.76 \text{ kg/cm}^2$$

Módulo de Elasticidad.

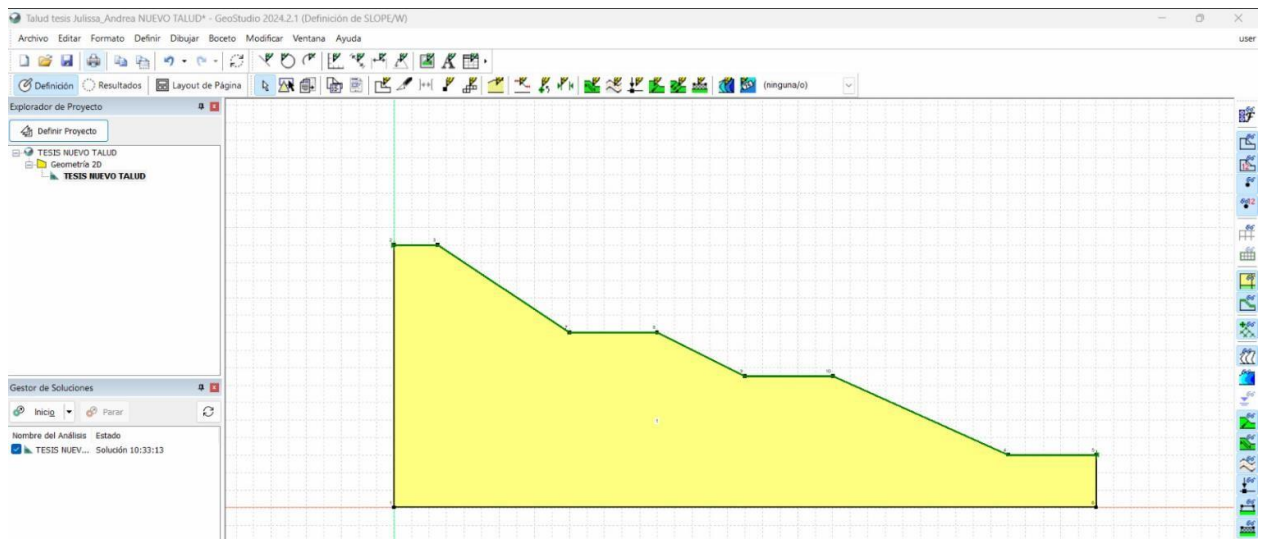
$$E = 18.43 \text{ MPa.}$$

Estos datos nos permiten realizar un diseño seguro y eficiente, ya que con esto se puede predecir el comportamiento del suelo bajo cargas y evaluar problemas potenciales como fallas o asentamientos.

10.4. GeoStudio Slope/W

Luego de haber realizado varias configuraciones de geometría, se determinó que el modelo más apto para la estabilidad del deslizamiento es el presentado en la Imagen 50.

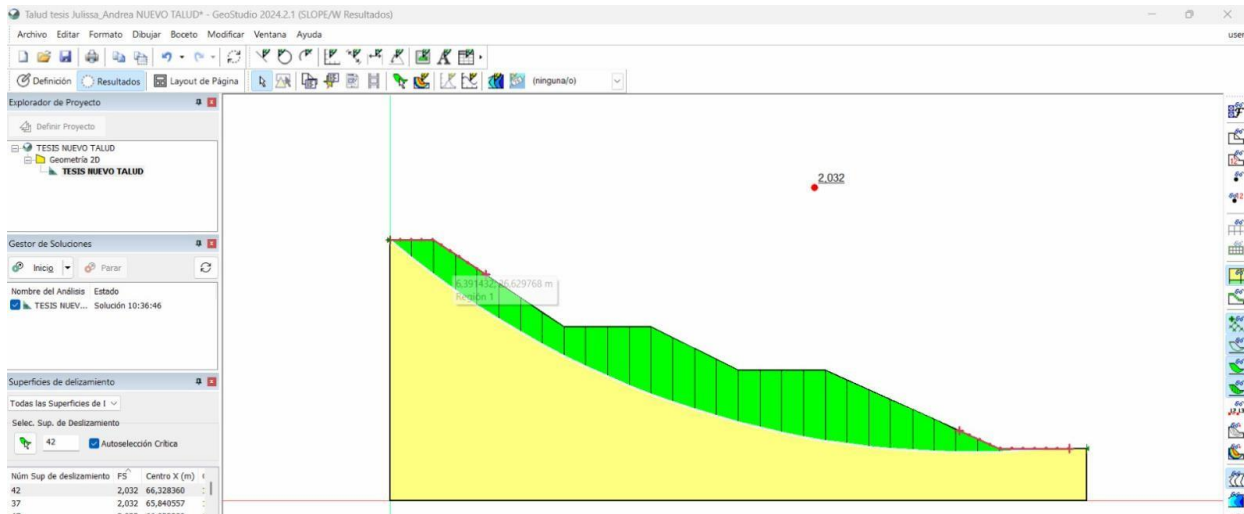
Imagen 50. Nueva geometría.



Fuente: (Autor).

Obteniendo un factor de seguridad con carga estática de 2.032, lo cual indica que se encuentra dentro del rango aceptable según lo establecido en la NEC.

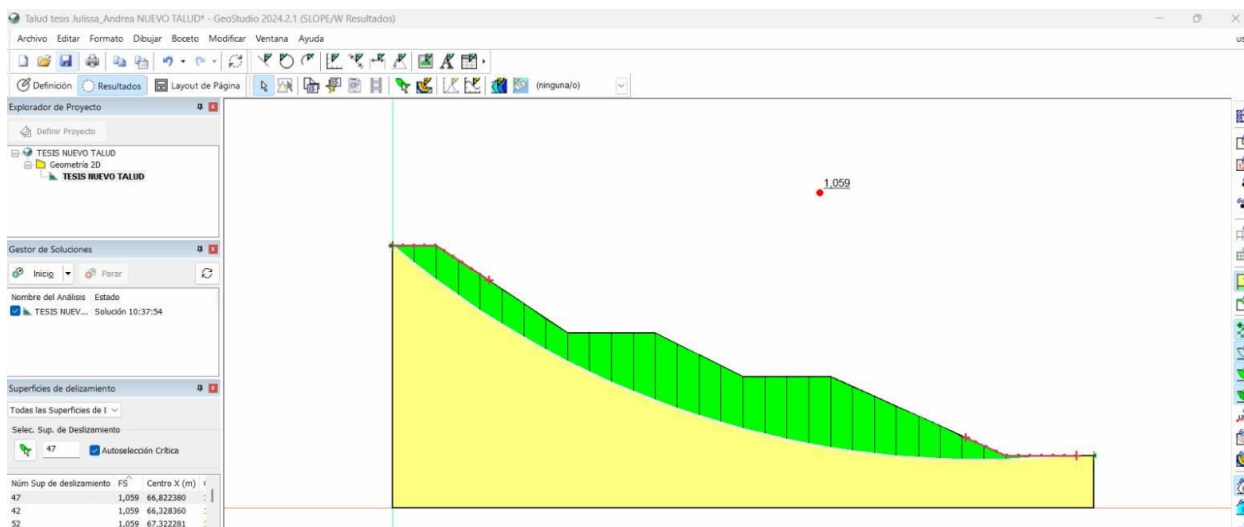
Imagen 51. Factor seguridad carga estática aceptable.



Fuente: (Autor).

Como también aplicando carga sísmica se obtiene un factor de seguridad de 1.059, lo cual indica que se encuentra dentro del rango aceptable, según lo establecido dentro de la NEC.

Imagen 52. Factor seguridad carga sísmica aceptable.



Fuente: (Autor).

Con estos resultados se puede garantizar la estabilidad del talud, debido a que cumple con los factores de seguridad aceptables.

11. Conclusiones

A partir del análisis visual de imágenes satelitales históricas de la zona, se concluye que el aumento de construcciones a lo largo del tiempo ha generado inestabilidad en el terreno. Esto podría atribuirse al uso recurrente de maquinaria pesada, lo que probablemente ha contribuido a que el suelo pierda su compactación natural, quedando más suelto y vulnerable.

Por medio de todos los ensayos realizados in situ y en laboratorio, se obtuvo que el suelo existente en la zona de estudio es una arena mal gradada que contiene partículas de arcilla de alta comprensibilidad, datos obtenidos por medio de la clasificación SUCS.

Con los análisis realizados con respecto a la estabilidad de talud, se determinó en función al factor de seguridad, que este es inestable y no cumple con los criterios de seguridad, por tal motivo se propone un modelo de solución de una nueva configuración geométrica del talud que sea segura, estable y que no ponga en riesgo las infraestructuras ni vidas humanas.

El material del talud analizado se encuentra formando un talud semejante al ángulo de reposo, por tal motivo el factor de seguridad sale de 1.07, sin embargo, en caso de sismo este talud va a fallar debido a que con carga sísmica tiene un factor de seguridad de 0.65.

Por medio del software GeoStudio Slope/W, se plantea la nueva propuesta de diseño, la cual consiste en realizar cortes que reduzcan la pendiente y bermas a lo largo del talud en deslizamiento, dándonos un factor de seguridad de 2.03 aplicando cargas estáticas, mientras que con cargas sísmicas un factor de seguridad de 1.05, indicándonos que el diseño es factible y seguro.

Las posibles causas del deslizamiento es el hecho de que existe arena mal graduada en la zona ya que esto significa que el suelo tiene una distribución de tamaños de partículas muy desigual

o poco uniforme, las partículas no están distribuidas de manera equilibrada entre finas, medias y gruesas lo que genera que el material no se comporte de manera resistente.

12. Recomendaciones

Las recomendaciones presentadas a continuación buscan mitigar los impactos que pudieran sufrir las construcciones, así como proponer soluciones para el manejo del suelo existente en la zona, considerando su morfología y composición.

Como una recomendación para mejorar las condiciones del suelo, se puede implementar técnicas de estabilización para reducir la compresibilidad y mejorar la capacidad de carga del suelo, pudiéndose también realizar compactaciones controladas durante cualquier obra para garantizar la estabilidad estructural en terrenos de arena mal gradada.

Se debe establecer un control en las construcciones para limitar el peso y las características de las viviendas construidas en zonas, además de exigir estudios geotécnicos detallados antes de cualquier nueva construcción para identificar riesgos relacionados con fallas geológicas y quebradas cercanas.

Sobre la gestión de agua y canales en quebradas se recomienda diseñar sistemas de canalización y drenaje que reduzcan el riesgo de erosión y colapso del terreno en la zona.

Para futuras investigaciones se sugiere investigar el comportamiento del suelo durante temporadas de lluvias intensas para evaluar su estabilidad ante deslizamientos.

13. Bibliografía

Apraez Bastidas, A.M., 2020. Desarrollo e implementación de una metodología para levantamiento de planos topográficos mediante fotogrametría aérea con UAV. Universidad de la Salle, Bogota, Colombia.

Gil, L., 2015. Levantamientos Topográficos, 9a ed. Universidad nacional de Colombia, Colombia.

Ji, P., Yang, J., Zhang, N., Zhai, Q., Li, M., Wang, Y., Shen, T., Satyanaga, A., 2023. Energy Measurement in Standard Penetration Tests. SUSTAINABILITY 15. <https://doi.org/10.3390/su15064763>

Arata, Y., Gomi, T., Sidle, R.C., 2020. Topographic features and stratified soil characteristics of a hillslope with fissures formed by the 2016 Kumamoto earthquake. *Geoderma* 376, 114547. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114547>

Cárdenas Ramírez, L.A., Moya Ortiz, A.J., 2022. Analisis granulometrico de los agregados grueso y fino.

Corominas, J., 2004. Tipos de rotura en laderas y taludes.

Das, B.M., 2013. Fundamentals of geotechnical engineering, 4th ed. ed. Cengage Learning, Stamford, CT.

Domínguez, R., Hernández, S., Almanza, F., Juárez, J., 2006. Manual de Practicas de Laboratorio de Geotecnia.

Falconez, K., Loor, J., Oleas, M., 2021. Capacidad portante del suelo con y sin uso del malacate en el ensayo de SPT 2, 7.

Giarola, A., Meisina, C., Tarolli, P., Zucca, F., Galve, J.P., Bordoni, M., 2024. A data-driven method for the estimation of shallow landslide runout. *CATENA* 234, 107573. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107573>

Gonçalves, J.T.D., Botelho, M.A.B., Machado, S.L., Netto, L.G., 2021. Correlation between field electrical resistivity and geotechnical SPT blow counts at tropical soils in Brazil. *Environ. Chall.* 5, 100220. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100220>

Hong, W.-T., Kim, S.Y., Lee, J.-S., 2022. Evaluation of driving energy transferred to split spoon sampler for accuracy improvement of standard penetration test. *Measurement* 188, 110384. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.110384>

Ingeotecnica, S/F. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Ing. Geotec. URL <https://ingeotecnica.com/sistema-unificado-de-clasificacion-de-suelos-sucs>

Lemus Aragón, A., 2020. Determinacion de los factores sismicos que afectan la estabilidad de los taludes. Universidad del Valle de Guatemala.

NEC-SE-DS Peligro Sísmico., 2014. PELIGRO SISMICO.

- NEC-SE-GC, 2014. GEOTECNIA Y CIMENTACIONES.
- Pineda, L., 2018. Alternativas de estabilidad de Taludes. UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA JOSE CIMEON CANAS.
- Quezada, L.E., 2015. Estabilización de taludes con métodos de bioingeniería. Soc. Mex. Ing. Geotec.
- Sanhueza Plaza, C., Rodríguez Cifuentes, L., 2013. Análisis comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales. Rev. Constr. 12, 17–29.
- Terán, L.V., 2021. Principio de Arquimedes.
- Universal Industrial de Santander, 2018. Metodo de bishop y ejemplos.
- Arata, Y., Gomi, T., Sidle, R.C., 2020. Topographic features and stratified soil characteristics of a hillslope with fissures formed by the 2016 Kumamoto earthquake. Geoderma 376, 114547. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114547>
- Basabe R. Pedro, 1998. Proyecto PRECUPA (Tecnico No. I de II), Prevencio de Desastres Naturales en la Cuenca del Paute. Cuenca - Ecuador.
- Giarola, A., Meisina, C., Tarolli, P., Zucca, F., Galve, J.P., Bordoni, M., 2024. A data-driven method for the estimation of shallow landslide runout. CATENA 234, 107573. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107573>
- Kim, S., Kim, M., An, H., Chun, K., Oh, H.-J., Onda, Y., 2019. Influence of subsurface flow by Lidar DEMs and physical soil strength considering a simple hydrologic concept for shallow landslide instability mapping. CATENA 182, 104137. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104137>
- Marin, R.J., Velásquez, M.F., García, E.F., Alvioli, M., Aristizábal, E., 2021. Assessing two methods of defining rainfall intensity and duration thresholds for shallow landslides in data-scarce catchments of the Colombian Andean Mountains. CATENA 206, 105563. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105563>

Mauri, L., Straffelini, E., Tarolli, P., 2022. Multi-temporal modeling of road-induced overland flow alterations in a terraced landscape characterized by shallow landslides. *International Soil and Water Conservation Research* 10, 240–253. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.07.004>

Zapata-Galvis, J., Esquivel, E.R., 2016. Evaluation of internal and external stresses on the SPT sampler. *DYNA (Colombia)* 83, 229–236. <https://doi.org/10.15446/dyna.v83n195.51138>

10.3: *Clasificación e identificación de deslizamientos*. (2022, October 30). LibreTexts Español; Libretexts.

[https://espanol.libretexts.org/Geociencias/Geolog%C3%ADa/Libro%3A_Una_introducci%C3%B3n_a_la_geolog%C3%ADa_\(Johnson%2C_Affolter%2C_Inkenbrandt_y_Mosher\)/10%3A_Desplazamiento_masivo/10.03%3A_Clasificaci%C3%B3n_e_identificaci%C3%B3n_de_deslizamientos](https://espanol.libretexts.org/Geociencias/Geolog%C3%ADa/Libro%3A_Una_introducci%C3%B3n_a_la_geolog%C3%ADa_(Johnson%2C_Affolter%2C_Inkenbrandt_y_Mosher)/10%3A_Desplazamiento_masivo/10.03%3A_Clasificaci%C3%B3n_e_identificaci%C3%B3n_de_deslizamientos)

ALBERTI ARROYO, J., CANALES BERNAL, R., & ELIZABETH SANDOVAL, B. (10 de 2006). *UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR*. Obtenido de <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/4514/1/T%C3%A9cnicas%20de%20mitigaci%C3%B3n%20para%20el%20control%20de%20deslizamientos%20en%20taludes%20y%20su%20aplicaci%C3%B3n%20a%20un%20caso%20espec%C3%ADfico.pdf>

Capítulo 10. Evaluación del peligro de deslizamientos de tierra. (n.d.). Oas.org. Retrieved November 9, 2023, from <https://www.oas.org/DSD/publications/Unit/oea65s/ch15.htm>

Chacón, P., & Alberto, C. (n.d.). *EVALUACIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES POR DESLIZAMIENTOS ACTIVADOS POR LLUVIAS. CASO ESTUDIO: BARRIOS INFORMALES*

DE MAMERA - EL JUNQUITO. Redalyc.org. Retrieved November 9, 2023, from <https://www.redalyc.org/journal/721/72163802004/72163802004.pdf>

de Ágreda, E. A. P. (n.d.). *Estabilidad de Taludes*. Upc.edu. Retrieved November 9, 2023, from <https://deca.upc.edu/es/el-departamento/secciones/itcg/docencia/ asignaturas/geolquat/ejercicios/P2/ analisis-estabilidad>

de la Ilustre Municipalidad de Santa Isabel, 1. Dato s. (n.d.). *ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTON SANTA ISABEL*. Gob.Ec. Retrieved November 9, 2023, from https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0160000780001_pdyot%20gad%20si_13-03-2015_19-11-58.pdf.

Deslizamientos de tierra y aludes de barro. (2019, March 27). Cdc.gov. <https://www.cdc.gov/es/disasters/landslides.html>

Marín, R. J., Guzmán-Martínez, J. C., Martínez Carvajal, H. E., García-Aristizábal, E. F., Cadavid-Arango, J. D., & Agudelo-Vallejo, P. (2018). Evaluación del riesgo de deslizamientos superficiales para proyectos de infraestructura: caso de análisis en vereda El Cabuyal. *Ingeniería y Ciencia*, 14(27), 153–177. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.14.27.7>

MÉTODOS GEOELÉCTRICOS PARA EL ESTUDIO DE DESLIZAMIENTOS Y ESTABILIZACIÓN DE TALUDES. (2017, January 9). Geofísica Aplicada. <https://orbisgeofisica.com/geofisica/tomografia-deslizamientos-taludes/>

SUPERFICIE Y LÍMITES. (n.d.). 1Library.co. Retrieved November 9, 2023, from <https://1library.co/article/superficie-y-1%C3%ADmites-aspectos-geogr%C3%A1ficos.y93p6oly>

Tipos y clasificación de movimientos de ladera. (2018, May 17). geotecniafacil.com.
<https://geotecniafacil.com/tipos-y-clasificacion-de-movimientos-de-ladera/>

Torres, B. A. (n.d.). *DESLIZAMIENTOS EN TALUDES INDUCIDOS POR ALTAS PRECIPITACIONES EN VIAS INTERMUNICIPALES EN COLOMBIA.* Edu.Co. Retrieved November 9, 2023, from <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7116/AriasTorresBenjamin2012.pdf?sequence=1&isAllowed=n>

Alva Hurtado, J. E. (s/f). *TERZAGHI Y LA MECANICA DE SUELOS.* Jorgealvahurtado.com. Recuperado el 9 de noviembre de 2023, de https://www.jorgealvahurtado.com/files/labgeo31_a.pdf

SANHUEZA PLAZA, C, & RODRÍGUEZ CIFUENTES, L. (2013). Análisis Comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales. *Revista de la construcción*, 12(1), 17-29. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2013000100003>

14. ANEXOS

14.1. Anexo 1

- 14.1.1. Visita preliminar a la zona de deslizamiento.**

14.1.1.1. Ingreso a la zona de deslizamiento



14.1.1.2. Talud en deslizamiento.



14.2. ANEXO 2

14.2.1. ENSAYO SPT EN CAMPO

14.2.1.1. Ensamblado de SPT



14.2.1.2. Extracción de la muestra con el SPT



14.3. ANEXO 3.

14.3.1. VUELO DE VANT

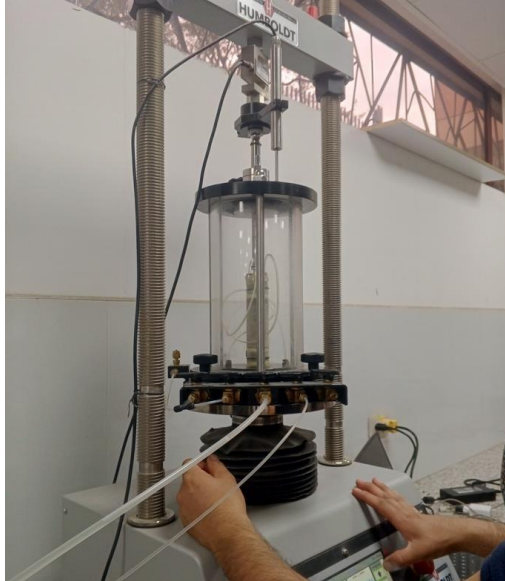


14.4. ANEXO 4.

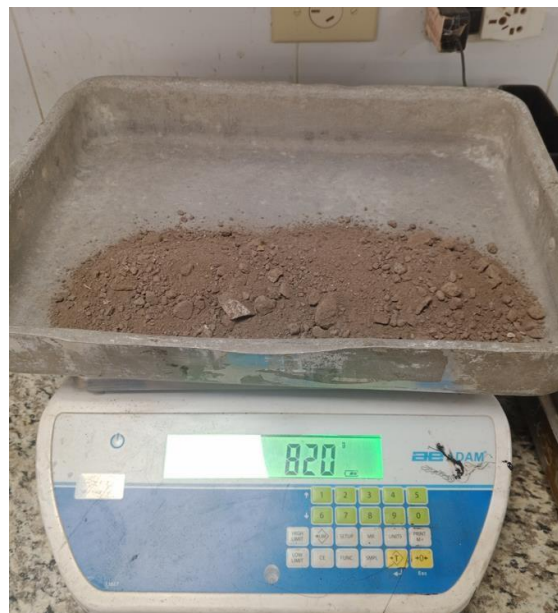
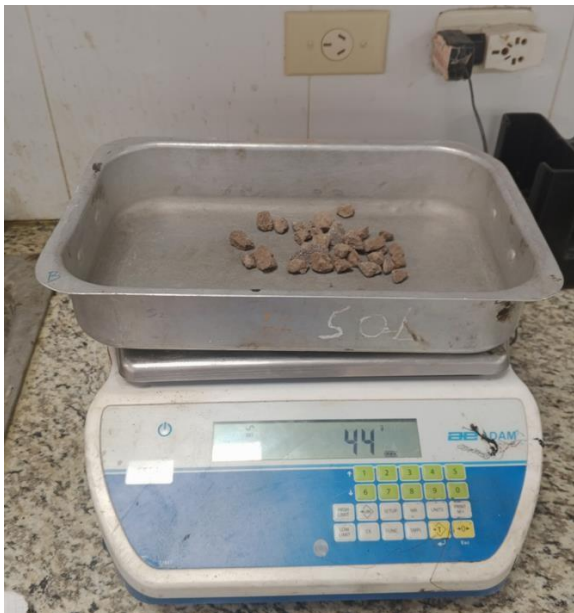
ENSAYOS DE LABORATORIO

14.4.1. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE.





14.4.2. ENSAYO GRANULOMETRICO.



14.4.3. ENSAYO LIMITES DE CONSISTENCIA.



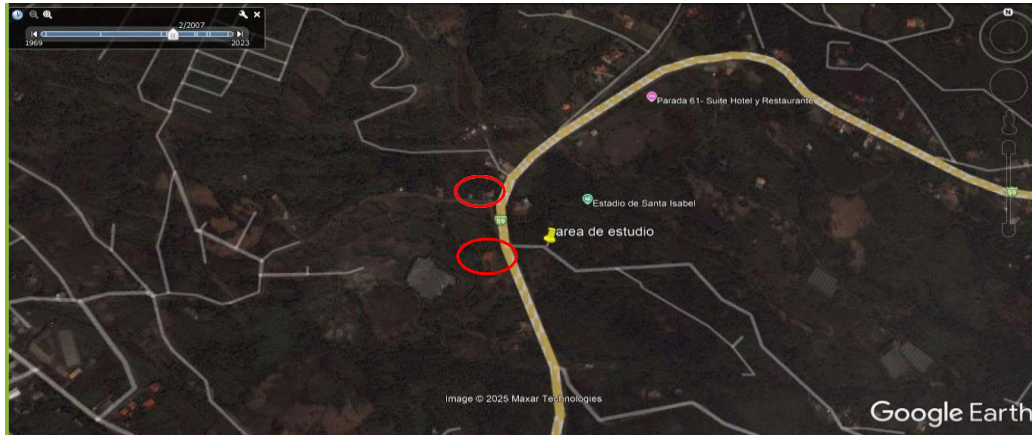


14.4.4. ENSAYO DENSIDAD CON PARAFINA.



14.5. ANEXO 5

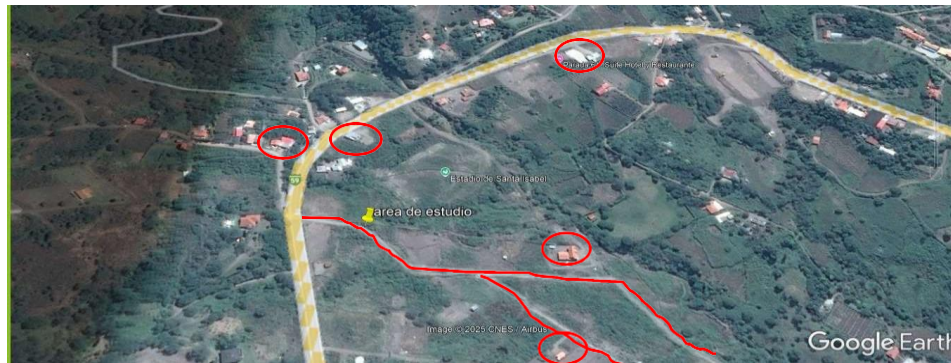
INVENTARIO DE INFRAESTRUCTURAS.



Infraestructura habitacional	2
apertura de caminos	carretera principal
area verde	indice elevado



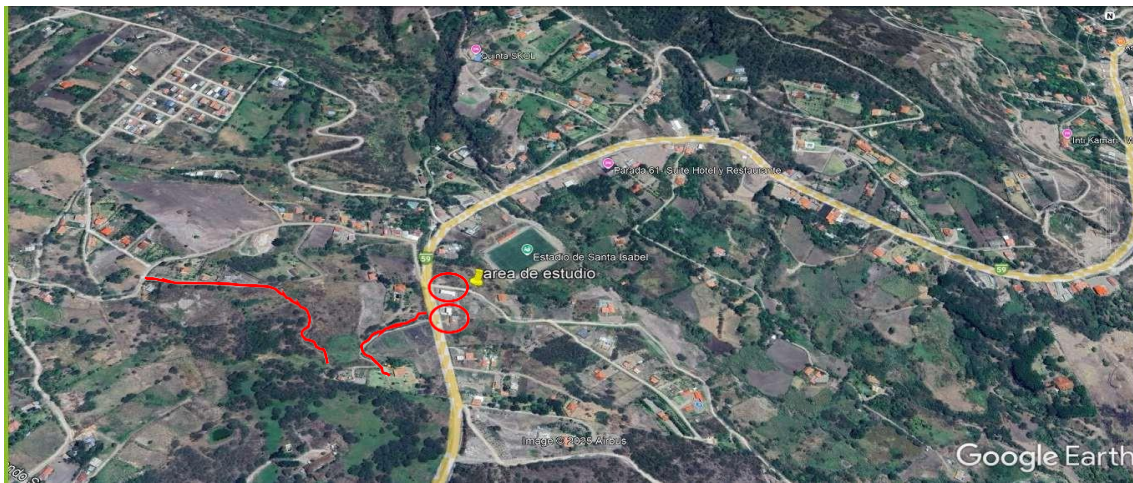
no existe cambios significativos



Infraestructura habitacional	5
apertura de caminos	2
area verde	perdida de areas verdes



Infraestructura habitacional	7
apertura de caminos	0
area verde	disminucion de areas verdes
Infraestructura deportiva	



area verde	disminucion de area verde
apertura de caminos	2
Infraestructura habitacional	2

14.6. ANEXO 6

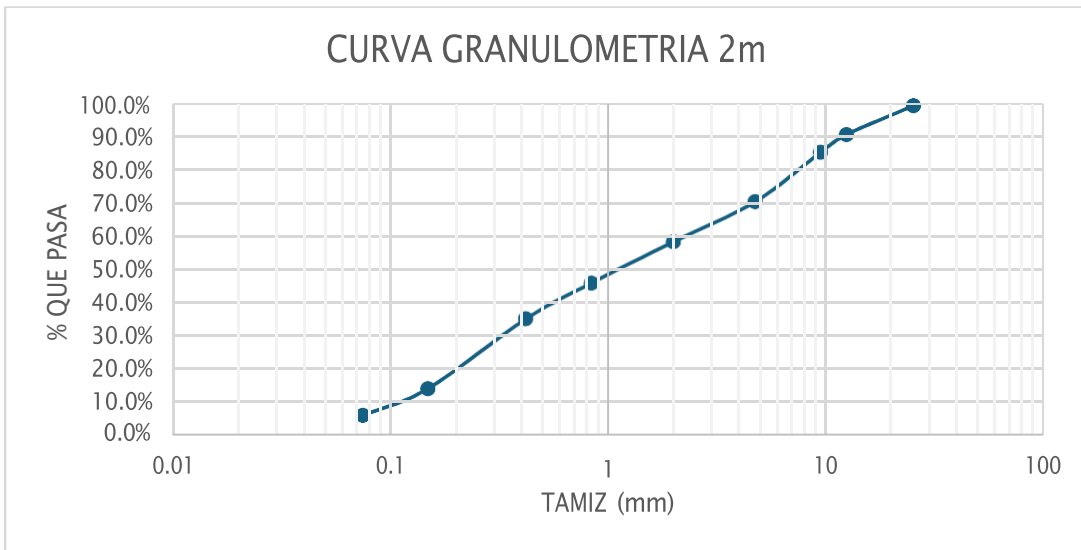
CALCULOS DE ANALISIS GRANULOMETRICO

granulometria

Primera muestra 2 m

peso 809 gramos

TAMIZ	mm	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
1"	25.4	0	0.0%	0.0%	100.0%
1/2"	12.5	70	8.7%	8.7%	91.3%
3/8"	9.5	43	5.3%	14.1%	85.9%
N. 4	4.75	120	14.9%	29.0%	71.0%
N. 10	2	97	12.1%	41.0%	59.0%
N. 20	0.84	100	12.4%	53.5%	46.5%
N. 40	0.42	87	10.8%	64.3%	35.7%
N. 100	0.149	169	21.0%	85.3%	14.7%
N. 200	0.075	65	8.1%	93.4%	6.6%
BASE		53	6.6%	100.0%	
TOTAL		804	100%		



$$D_x = \frac{D_2 - D_1}{\text{Log}\%_2 - \text{Log}\%_1} * (\text{Log}\%_x - \text{Log}\%_1) + D_1$$

D10 =	0.11
D30 =	0.367
D60 =	2.258

Coefficiente de uniformidad

$$\square_u = \frac{\square_{60}}{\square_{10}}$$

Cu 20.5272727 mm

Coefficiente de curvatura

$$\square_c = \frac{(\square_{30})^2}{(\square_{10} * \square_{60})}$$

Cc 0.54226991 mm

• Si $Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$, el suelo es **bien graduado (SW)**.

• Si $Cu \geq 4$ y Cc fuera del rango **1 a 3**, el suelo es **mal graduado (SP)**.

1. $Cu \geq 4$ (para gravas) o $Cu \geq 6$ (para arenas).

2. $1 \leq Cc \leq 3$.

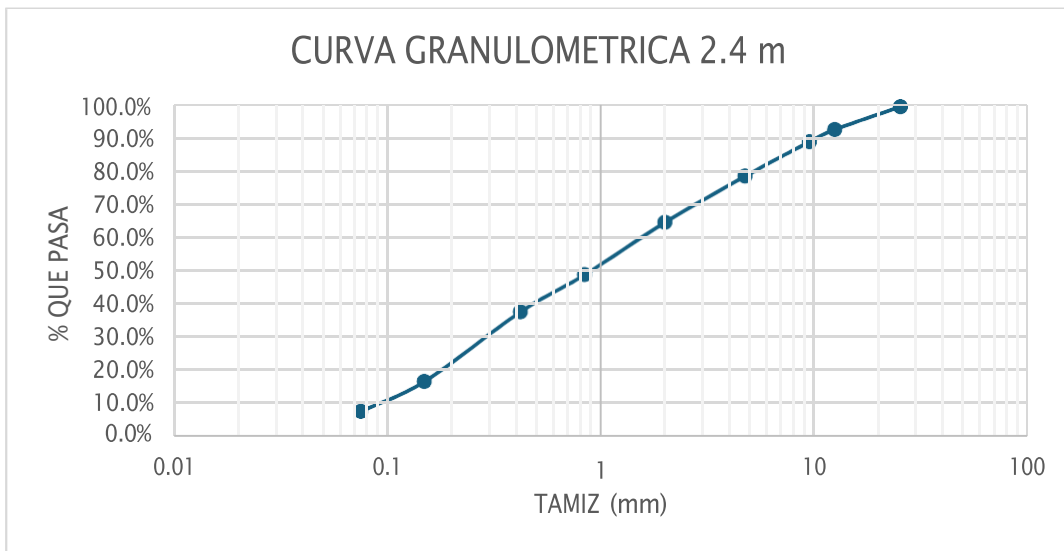
Con los resultados obtenidos se pudo determinar que el suelo de la zona de estudio es un suelo mal graduado

Segunda muestra 2.4 m

peso

820 gramos

TAMIZ	mm	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
1"	25.4	0	0.0%	0.0%	100.0%
1/2"	12.5	56	6.9%	6.9%	93.1%
3/8"	9.5	30	3.7%	10.6%	89.4%
N. 4	4.75	84	10.4%	21.0%	79.0%
N. 10	2	113	13.9%	34.9%	65.1%
N. 20	0.84	128	15.8%	50.7%	49.3%
N. 40	0.42	91	11.2%	61.9%	38.1%
N. 100	0.149	170	21.0%	82.9%	17.1%
N. 200	0.075	73	9.0%	91.9%	8.1%
BASE		66	8.1%	100.0%	
TOTAL		811	100.0%		



$$D_x = \frac{D_2 - D_1}{\text{Log}\%_2 - \text{Log}\%_1} * (\text{Log}\%_x - \text{Log}\%_1) + D_1$$

$$D_{10} = 0.095$$

$$D_{30} = 0.337$$

$$D_{60} = 1.659$$

Coefficiente de uniformidad

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

$$C_u = 17.46 \text{ mm}$$

Coefficiente de curvatura

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

$$C_c = 0.72 \text{ mm}$$

1. $C_u \geq 4$ (para gravas) o $C_u \geq 6$ (para arenas).

2. $1 \leq C_c \leq 3$.

• Si $C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3$, el suelo es **bien graduado (SW)**.

• Si $C_u \geq 4$ y C_c fuera del rango **1 a 3**, el suelo es **mal graduado (SP)**.

14.7. ANEXO 7

CALCULOS LIMITES DE CONSISTENCIA

Limite Liquido

Muestra 2 m

peso 100 gramos

30 ml de agua con 10 golpes

m1 14 g
m2 17 g

aumentamos 2 ml de agua con 40 golpes

m1 11 g
m2 13 g

aumentamos 1.1 ml de agua con 30 golpes

m1 10 g
m2 9 g

aumentamos 1 ml de agua con 24 golpes

m1 13 g
m2 10 g

secado en el horno

10 golpes m1 10.15 g
m2 12.47 g

40 golpes m1 8.7 g
m2 10.8 g

30 golpes m1 7.14 g
m2 6.85 g

24 golpes m1 9.76 g
7.1 g

Limite Plastico

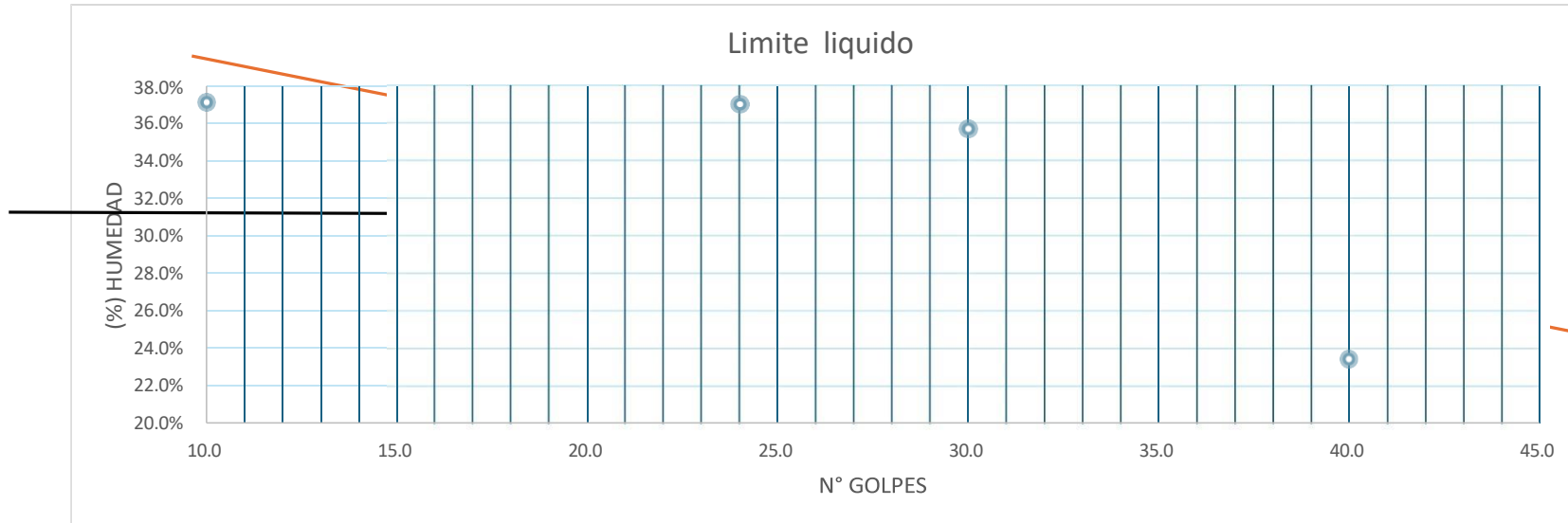
m1 9
d1 4.17

secado en el horno

m1 7.55

2 m

LIMITE LIQUIDO								
enyase a No de golpes	40		30		24		10	
Tara No	1	2	3	4	5	6	7	8
W _t (gr)	17	17	17	17	17	17	17	17
W _{s+t} (gr)	28	30	27	26	30	27	31	34
W _(agua) (gr)	2.3	2.2	2.86	2.15	3.24	2.9	3.85	4.53
W _(masa seca) (gr)	8.7	10.8	7.14	6.85	9.76	7.1	10.15	12.47
w(%)	26.4%	20.4%	40.1%	31.4%	33.2%	40.8%	37.9%	36.3%
Prom	23.4%		35.7%		37.0%		37.1%	



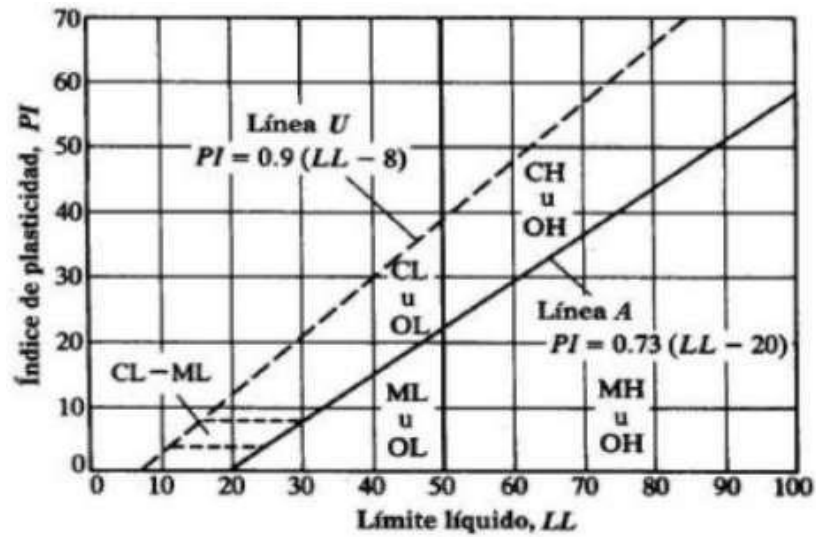
W(%) A 25 GOLPES = 31.8%

LIMITE PLASTICO	
Tara No	9
W _t (gr)	17
W _{t+mat} (gr)	26
W _{s+t} (gr)	24.55
W _(agua) (gr)	1.45
W _(masa seca) (gr)	7.55
W(%)	19%

W(%) PROMEDIO = 19%

OBSERVACIONES: IP=18.3. ARCILLA DE BAJA COMPRESIBILIDAD (CL)

8.614



Limite Liquido
Muestra 2.4 m

peso 100 gramos

24 ml de agua con 48 golpes

m1 10 g
m2 14 g

aumentamos 2 ml de agua con 38 golpes

m1 12 g
m2 8 g

aumentamos 2 ml de agua con 25 golpes

m1 12 g
m2 7 g

aumentamos 2 ml de agua con 13 golpes

m1 6 g
m2 7 g

secado en el horno

48 golpes m1 7.61 g
m2 10.86 g

38 golpes m1 8.79 g
m2 6.21 g

25 golpes m1 9.08 g
m2 5.55 g

13 golpes m1 4.29 g
m2 5.05 g

Limite Plastico

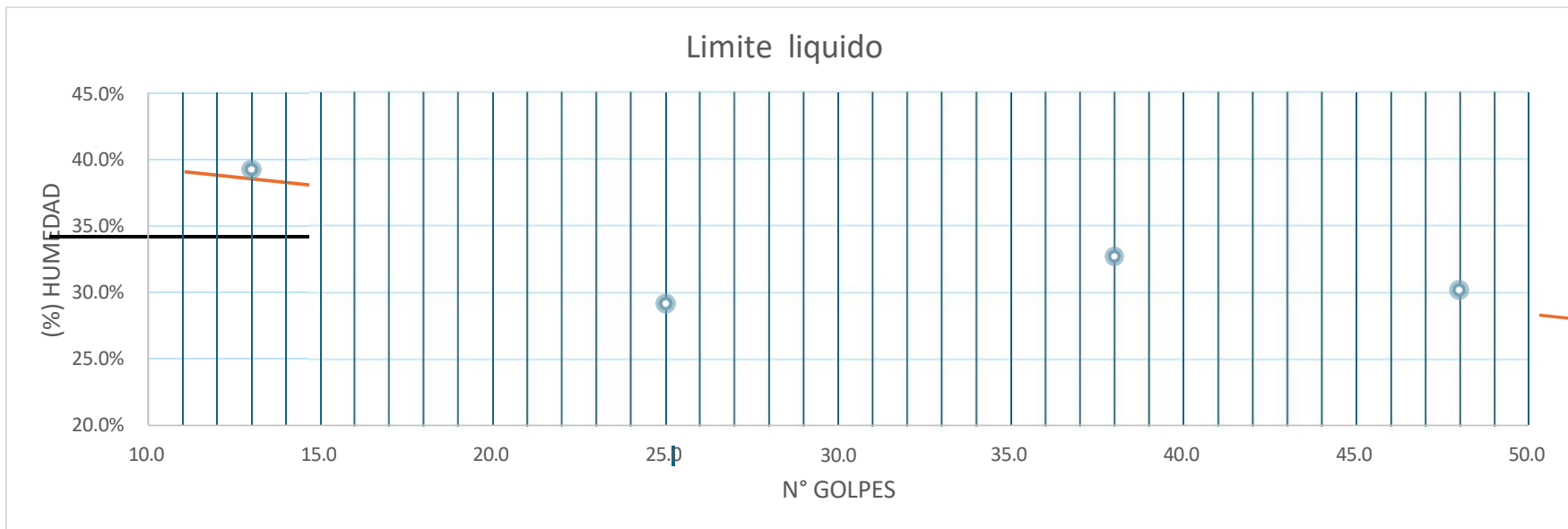
m1 3.1 g
d1 5.43 mm

secado en el horno

m1 g
m1 2.74 g

2.4 m

LIMITE LIQUIDO								
enyase a No de golpes	48		38		25		13	
Tara No	1	2	3	4	5	6	7	8
W _t (gr)	17	17	17	17	17	17	17	17
W _{t+mat} (gr)	27	31	29	25	29	24	23	24
W _{s+t} (gr)	24.61	27.86	25.79	23.21	26.08	22.55	21.29	22.05
W _(agua) (gr)	2.39	3.14	3.21	1.79	2.92	1.45	1.71	1.95
W _(masa seca) (gr)	7.61	10.86	8.79	6.21	9.08	5.55	4.29	5.05
W(%)	31.4%	28.9%	36.5%	28.8%	32.2%	26.1%	39.9%	38.6%
Prom	30.2%		32.7%		29.1%		39.2%	

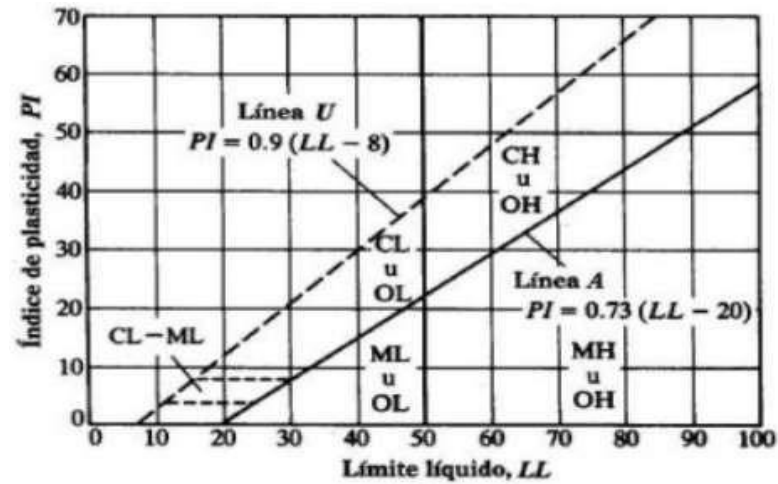


W(%) A 25 GOLPES = 33.7%

LIMITE PLASTICO	
Tara No	9
W_t (gr)	17
W_{t+mat} (gr)	20.1
W_{s+t} (gr)	19.74
$W_{(agua)}$ (gr)	0.36
$W_{(masa\ seca)}$ (gr)	2.74
$W(\%)$	13%

W(%) PROMEDIO 13%

OBSERVACIONES: IP=20.6. ALCILLA DE BAJA COMPRESIBILIDAD (CL)



14.8. ANEXO 8

CALCULOS COMPRESION SIMPLE

CARANGUI_	Column1	Column2	Column3	Column4
N	mm	Deformacion (mm)	Area Corregida (m2)	Esfuerzo (kPa)
0.389	-0.005	-6.0241E-05	0.001029155	0.37797993
1.049	0.063	0.000759036	0.001029999	1.018447615
2.745	0.141	0.001698795	0.001030969	2.662544786
4.198	0.223	0.002686747	0.00103199	4.067869407
14.893	0.304	0.003662651	0.001033001	14.41722174
40.562	0.38	0.004578313	0.001033951	39.23010193
67.98	0.458	0.005518072	0.001034928	65.68573035
91.657	0.537	0.00646988	0.001035919	88.47888762
109.505	0.619	0.007457831	0.001036951	105.602912
125.674	0.699	0.008421687	0.001037959	121.0780549
143.323	0.782	0.009421687	0.001039006	137.94237
161.739	0.865	0.010421687	0.001040056	155.5098492
180.724	0.947	0.011409639	0.001041096	173.5901905
198.313	1.026	0.012361446	0.001042099	190.3014937
216.504	1.109	0.013361446	0.001043155	207.5472504
233.085	1.183	0.014253012	0.001044099	223.2403846
251.063	1.262	0.015204819	0.001045108	240.226883
268.515	1.343	0.016180723	0.001046145	256.6710322
284.746	1.428	0.017204819	0.001047235	271.9027674
300.583	1.51	0.018192771	0.001048288	286.7369211
316.027	1.59	0.019156627	0.001049319	301.1735502
331.317	1.673	0.020156627	0.001050389	315.4229998
345.115	1.757	0.021168675	0.001051476	328.2197217
357.039	1.841	0.022180723	0.001052564	339.2088932
366.15	1.923	0.023168675	0.001053628	347.513431
371.01	2.005	0.024156627	0.001054695	351.7699285
371.828	2.087	0.025144578	0.001055764	352.1885881
370.361	2.17	0.026144578	0.001056848	350.4392257
367.821	2.257	0.027192771	0.001057987	347.6612502
365.26	2.343	0.028228916	0.001059115	344.8728965
362.865	2.427	0.029240964	0.001060219	342.2547623
359.377	2.512	0.03026506	0.001061339	338.607287
352.355	2.596	0.031277108	0.001062447	331.644637
345.931	2.683	0.032325301	0.001063598	325.2459114
343.115	2.765	0.033313253	0.001064685	322.2689371
341.09	2.85	0.034337349	0.001065814	320.0275737
341.402	2.932	0.035325301	0.001066906	319.9925938
341.253	3.015	0.036325301	0.001068013	319.521372
341.787	3.097	0.037313253	0.001069109	319.6932825
342.578	3.18	0.038313253	0.001070221	320.1002978
342.382	3.261	0.039289157	0.001071308	319.5925115
341.337	3.341	0.040253012	0.001072384	318.2974084
338.525	3.425	0.04126506	0.001073516	315.3423351
334.504	3.508	0.04226506	0.001074637	311.2716906
329.353	3.594	0.043301205	0.001075801	306.1468733
322.156	3.676	0.044289157	0.001076913	299.1477325
314.379	3.761	0.045313253	0.001078068	291.6133483

307.969	3.842	0.046289157	0.001079171	285.3755101
300.496	3.925	0.047289157	0.001080304	278.1587853
293.616	4.007	0.048277108	0.001081425	271.5083627
286.876	4.09	0.049277108	0.001082563	264.9971147
281.479	4.169	0.050228916	0.001083648	259.751414
276.035	4.251	0.051216867	0.001084776	254.462673
271.702	4.33	0.052168675	0.001085865	250.2170333
267.353	4.412	0.053156627	0.001086998	245.9552988
265.9	4.492	0.054120482	0.001088106	244.3695766
263.925	4.572	0.055084337	0.001089216	242.3073319
262.489	4.652	0.056048193	0.001090328	240.7431331
260.408	4.734	0.057036145	0.00109147	238.584566
259.076	4.814	0.058	0.001092587	237.1215709
258.083	4.897	0.059	0.001093748	235.9619624
257.373	4.978	0.059975904	0.001094884	235.0687775
256.555	5.06	0.060963855	0.001096036	234.0753976
255.632	5.141	0.061939759	0.001097176	232.9908815
255.129	5.225	0.062951807	0.001098361	232.2815588
254.012	5.309	0.063963855	0.001099549	231.0148142
253.341	5.392	0.064963855	0.001100724	230.1584146
251.69	5.475	0.065963855	0.001101903	228.4139482
250.62	5.562	0.067012048	0.001103141	227.1876602
249.684	5.647	0.068036145	0.001104353	226.0907321
248.778	5.731	0.069048193	0.001105554	225.0257143
248.796	5.815	0.070060241	0.001106757	224.7973501
248.277	5.9	0.071084337	0.001107977	224.0813706
247.874	5.982	0.072072289	0.001109157	223.4797089
248.165	6.067	0.073096386	0.001110382	223.4951401
247.921	6.152	0.074120482	0.001111161	223.0287085
247.886	6.239	0.075168675	0.00111287	222.7447664
247.951	6.322	0.076168675	0.001114075	222.5622617
247.461	6.41	0.077228916	0.001115355	221.8675146
247.751	6.495	0.078253012	0.001116594	221.8810032
248.659	6.581	0.079289157	0.001117851	222.4438578
248.228	6.664	0.080289157	0.001119066	221.817115
248.08	6.75	0.081325301	0.001120328	221.4351121
247.907	6.832	0.082313253	0.001121534	221.0427257
247.889	6.917	0.083337349	0.001122787	220.7800206
247.666	7	0.084337349	0.001124013	220.3407724
247.253	7.086	0.085373494	0.001125287	219.7244219
246.643	7.167	0.086349398	0.001126489	218.948471
246.08	7.249	0.087337349	0.001127708	218.2124743
246.064	7.332	0.088337349	0.001128945	217.9592074
244.954	7.416	0.089349398	0.0011302	216.735121
244.389	7.5	0.090361446	0.001131457	215.9948972
244.663	7.585	0.091385542	0.001132733	215.993617
244.145	7.668	0.092385542	0.001133981	215.2991015
244.114	7.751	0.093385542	0.001135231	215.03458
243.851	7.834	0.094385542	0.001136485	214.5659806

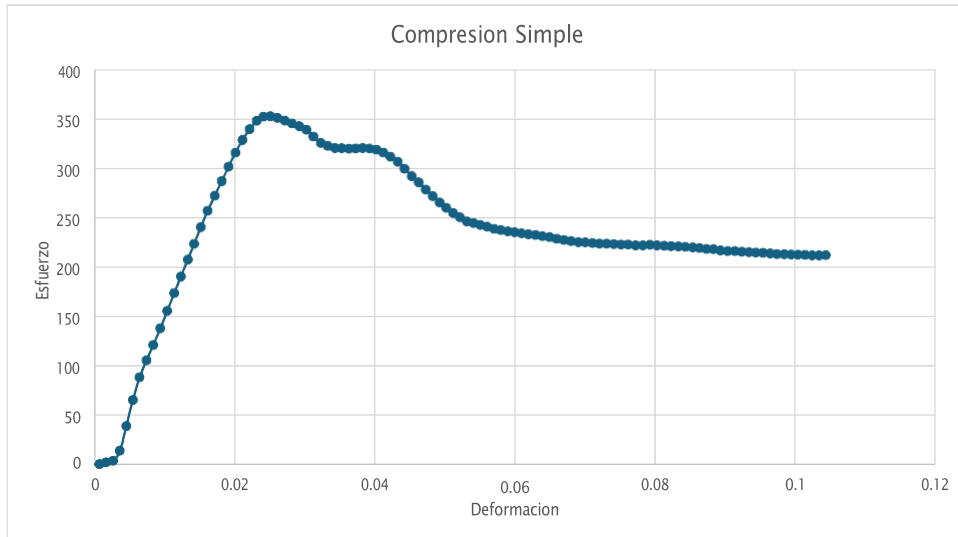
243.796	7.918	0.09539759	0.001137756	214.2778567
243.301	8.003	0.096421687	0.001139046	213.6006994
242.9	8.085	0.097409639	0.001140293	213.0154892
242.991	8.168	0.098409639	0.001141557	212.8592002
242.94	8.252	0.099421687	0.00114284	212.5756371
242.921	8.333	0.10039759	0.00114408	212.3286741
242.976	8.416	0.10139759	0.001145353	212.1406692
242.761	8.499	0.10239759	0.001146629	211.7170847
243.103	8.583	0.103409639	0.001147924	211.7763026
243.439	8.662	0.104361446	0.001149143	211.8438756

DIMENSION DE LA MUESTRA	
DIAMETRO [mm]	36.2
ALTURA [mm]	83
DATOS DE LA MUESTRA	
DIAMETRO [cm]	3.62
ALTURA [cm]	8.3
AREA [cm ²]	10.292
VOLUMEN [cm ³]	85.425
Gs	
Wsh (gr)	21.15
Wss	19.5
w (%)	8.462
Yh	0.248
Yd	0.2283
VELOCIDAD DE FORMACION [mm/min]	

0.92

96 17 79
94 17 77

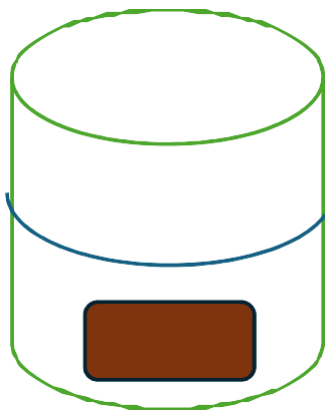
qu	352.188588	kPa	
su (cu)	176.094294	kPa	1.76094294 kg/cm ²
E	18.4342544	Mpa	



14.9. ANEXO 9

CALCULOS DENSIDAD

DATOS		
peso probeta	221	g
peso probeta con agua	504	g
peso de la muestra	460.45	gr
peso de la parafina	10.03	g
peso de la muestra con parafina	470.48	g
peso del hilo	0.82	g
volumen de agua	400	ml
volumen de la muestra + parafina	625	ml
volumne de la muestra sin pa.	213.855556	
volumen parafina	11.1444444	
densidad del agua	0.997	g/ml
densidad de la parafina	0.9	g/cm3



**Ensayo con remoldeo proctor estandar
25 golpes en 3 capas**

$$\rho = \frac{\rho_{\text{parafina}}}{\rho_{\text{agua}}}$$

Densidad del suelo con parafina

$$\rho = 2.091022222 \text{ gr/cc}$$

Densidad del suelo sin parafina

$$\rho = 2.153088793 \text{ gr/cc}$$

14.10. ANEXO 10

CLASIFICACION SUCS

$$D_x = \frac{D_2 - D_1}{\text{Log}\%_2 - \text{Log}\%_1} * (\text{Log}\%_x - \text{Log}\%_1) + D_1$$

D10 = 0.095
 D30 = 0.337
 D60 = 1.659

Coefficiente de uniformidad

TIPO DE SUELO

$$\square_u = \frac{\square_{60}}{\square_{10}}$$

ARENA MAL GRADADA

Cu 17.46 mm

1. **Cu ≥ 4** (para gravas) o **Cu ≥ 6** (para arenas).

Coefficiente de curvatura

2. **1 ≤ Cc ≤ 3**.

$$\square_c = \frac{(\square_{30})^2}{(\square_{10} * \square_{60})}$$

• Si **Cu ≥ 6** y **1 ≤ Cc ≤ 3**, el suelo es **bien graduado (SW)**.

• Si **Cu ≥ 4** y **Cc fuera del rango 1 a 3**, el suelo es **mal graduado (SP)**.

Cc 0.72 mm

◦ Si **menos del 50%** del material pasa por el Tamiz No. 4 → **SUELO DE GRAVA**.

◦ Si **más del 50%** del material pasa por el Tamiz No. 4 → **SUELO DE ARENA**.

Arena mal graduada (SP) significa que el suelo tiene una distribución de tamaños de partículas muy desigual o poco uniforme. En otras palabras, las partículas de arena no están distribuidas de manera equilibrada entre finas, medias y gruesas, lo que genera un material que no se comporta de manera tan predecible ni resistente como una arena bien graduada.

Calculos SPT

Er =	65
N =	10
N60 =	10.8
E ref =	60
N corregido	10.83

$E_r/60 = 80/60 = 1,33 \cdot N$, para ensayos SPT a partir de 10 m de profundidad.
 $E_r/60 = 75/60 = 1,25 \cdot N$, para ensayos SPT entre 6 m y 10 m de profundidad.
 $E_r/60 = 65/60 = 1,10 \cdot N$, para ensayos SPT entre 2 m y 6 m de profundidad.

$$N_{60} = \frac{E_r}{60\%} \times N \quad N_{cor} = \frac{E_r}{E_{ref}} \times N$$

Angulo de friccion

$\phi' = 31.21^\circ$

Cohesion efectiva

Nspt= 10.8
 $c' = 0.54166667$ kPa

$$c' = \frac{N_{SPT}}{20} \quad (\text{en kPa})$$

- c' es la cohesión efectiva (en kPa).
- N_{SPT} es el valor del número de golpes corregido obtenido en el ensayo de penetración estándar.

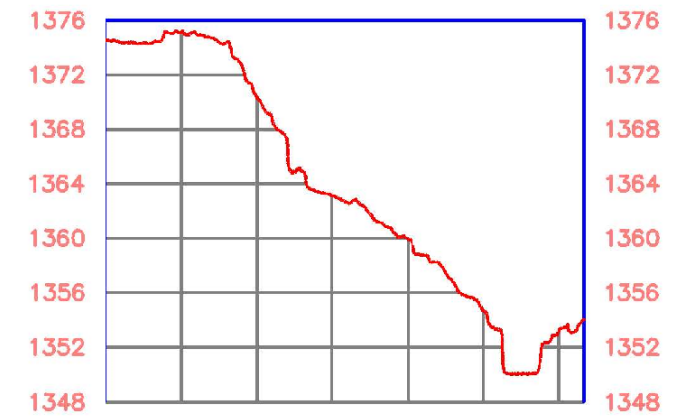
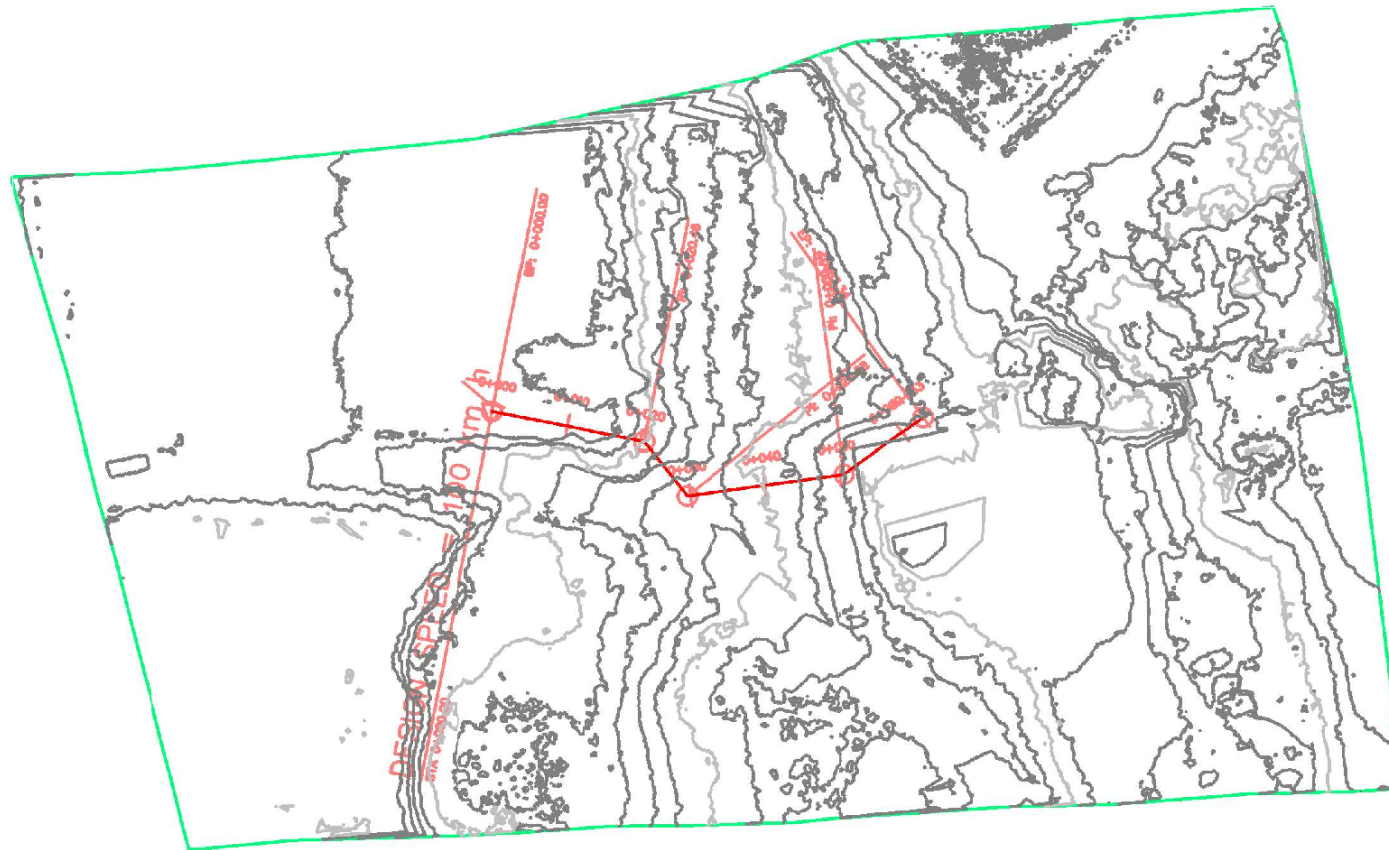
Tabla 2. Correlaciones para obtener el ángulo de fricción efectivo a partir del N_1 . Fuente: [7]



Autor	Año	Ecuación
Terzaghi & Peck [1]	1948	$\phi' = 28,5 + 0,25N_1$
Peck <i>et al.</i> [19]	1953	$\phi' = 26,25 \left(2 - \left(e^{-\frac{N_1}{32,5}} \right) \right)$
Kishida [20]	1969	$\phi' = 15 + \sqrt{20N_1}$
Schmertmann [16]	1970	$\phi' = \tan^{-1} \left[\left(\frac{N_1}{32,5} \right)^{0,34} \right]$
JNR (Japan National Railway) [21]	1999	$\phi' = 27 + 0,30N_1$
JRB (Japan Road Bureau) [21]	1986	$\phi' = 15 + \sqrt{9,375N_1}$
Hatanaka & Uchida [22]	1996	$\phi' = \sqrt{20N_1} + 20$
Montenegro & Gonzalez [8]	2014	$\phi' = 12,79 + \sqrt{25,86N_1}$

14.11. ANEXO 11

PLANO CURVAS DE NIVEL

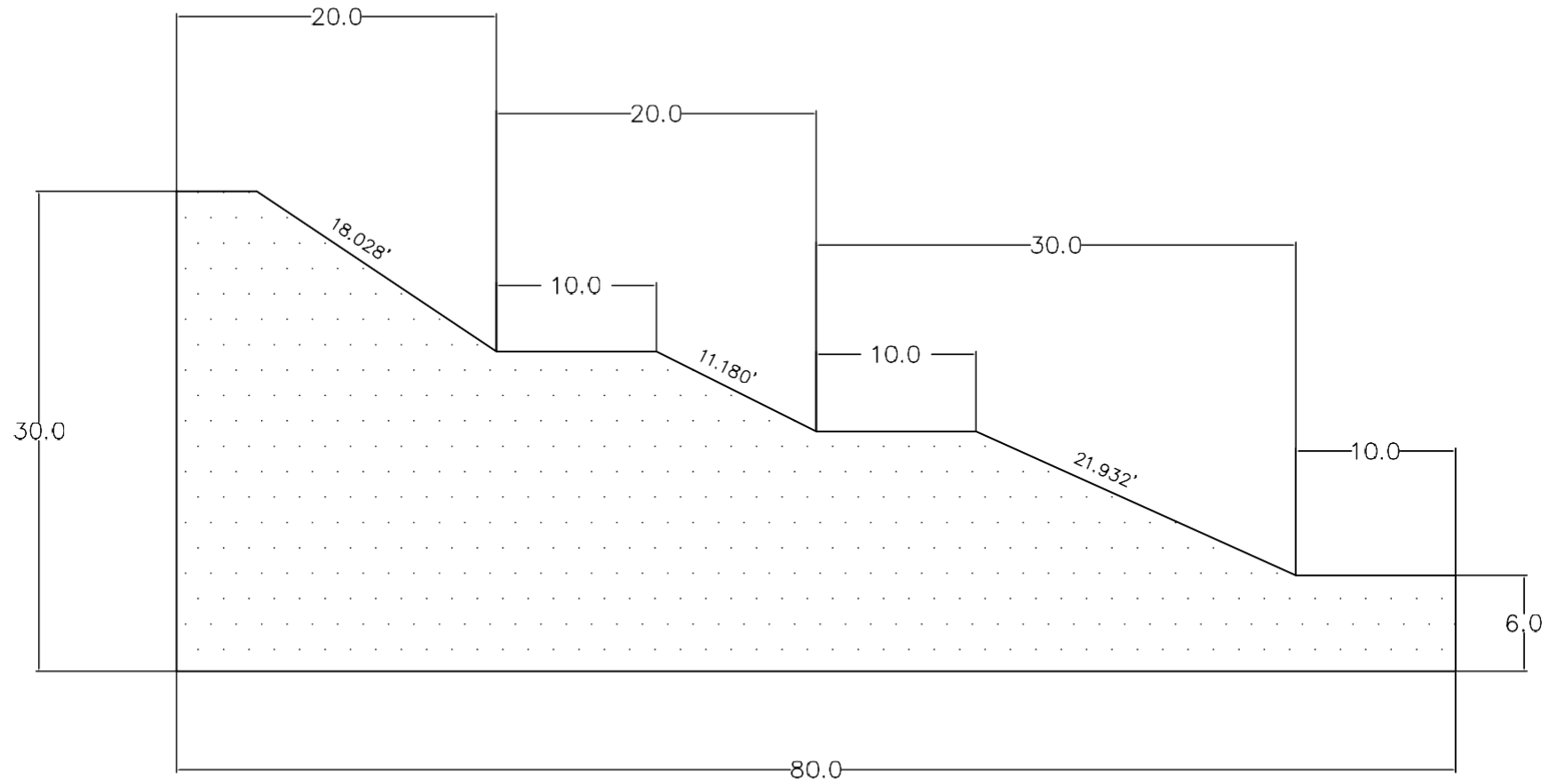
trazo PERFIL LONGITUDINAL



	Nombre	Fecha	INGENIERIA CIVIL MATRIZ SEDE CUENCA	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
Dibujado	JULISA CARANGUI ANDREA ROCANO	29/01/2025		
Comprobado	ING. DANILLO BUSTOS MSc			
Proyección	CURVAS DE NIVEL Y PERFIL DE TALUD EN DESLIZAMIENTO			Escala: 1:1000
				Lámina N° 1

14.12. ANEXO 12

PLANO DISEÑO DE TALUD PROPUESTO



	Nombre	Fecha	INGENIERIA CIVIL MATRIZ SEDE CUENCA	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
Dibujado	JULISA CARANGUI ANDREA ROCANO	29/01/2025		
Comprobado	ING. DANILO BUSTOS MSc.			
Proyección	DISEÑO PROPUESTA NUEVO TALUD			Escala: 1: 500
				Lámina N° 2