



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial

Caracterización geológica-geotécnica del deslizamiento ubicado en el barrio Pindo Alto, parroquia El Lucero, cantón Calvas, provincia de Loja

Trabajo de Titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero en
Geología Ambiental y Ordenamiento
Territorial

AUTOR:

Anthony José Jiménez Cumbicus

DIRECTOR:

Ing. Fermín Alexander González Sisalima, Mg. Sc.

Loja-Ecuador

2024



Certificación

Loja, 30 de ene. de 24

Ing. Fermín Alexander González Sisalima, Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Caracterización geológica – geotécnica del deslizamiento ubicado en el barrio Pindo Alto, parroquia El Lucero, cantón Calvas, provincia De Loja**, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**, de la autoría del estudiante **Anthony José Jiménez Cumbicus, con cedula de identidad No 1150096095**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Ing. Fermín Alexander González Sisalima, Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN



Autoría

Yo, **Anthony José Jiménez Cumbicus**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:

Cédula de Identidad: 1150096095

Fecha: 30/01/2024

Correo electrónico: anthony.jimenez@unl.edu.ec

Teléfono: 0999560627



Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **Anthony José Jiménez Cumbicus**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Caracterización geológica-geotécnica del deslizamiento ubicado en el barrio Pindo Alto, parroquia El Lucero, cantón Calvas, provincia de Loja**, como requisito para optar el título de **Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**; autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja, para que con fines académicos muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y de exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los treinta días del mes de enero del dos mil veinticuatro.

Firma:

Autor: Anthony José Jiménez Cumbicus

Cédula de Identidad: 1150096095

Dirección: Celi Román

Correo electrónico: anthony.jimenez@unl.edu.ec

Teléfono: 0999560627

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Fermín Alexander González Sisalima Mg. Sc.



Dedicataria

El presente Trabajo de Titulación se lo dedico primeramente a Dios y a la Virgen por haberme dado su guía y protección en todo el recorrido de mi carrera, a mis padres Andrés Jiménez y Edilma Cumbicus quienes fueron los pilares fundamentales y ejemplo que me proyectaron las virtudes de perseverancia, superación y esfuerzo; a mis hermanos: Robinson y Joel Jiménez que siempre estuvieron presentes guiando y perfeccionando mi camino compartiendo muchos instantes de alegría, a mi novia Noemi Salazar la cual siempre me brindó su ánimo y apoyo incondicional.

Así mismo recalco esta dedicatoria a mis abuelos paternos: Arcesio Jiménez y Dorinda Cumbicus, abuelos maternos: Misael Cumbicus y Clara Castillo por sus ejemplos y sabios consejos para afrontar a la vida y al mundo. A mi tío Patricio Cumbicus que me dejó su ejemplo de lucha.

Anthony José Jiménez Cumbicus



Agradecimiento

Primeramente, agradezco a dios y a la virgen del cisne por haberme dado las habilidades y fuerzas para así poder alcanzar un objetivo tan anhelado, a mis padres, hermanos y novia quienes fueron mis pilares fundamentales que supieron brindarme su apoyo incondicionalmente en cada etapa del proceso y enseñarme la perseverancia para poder culminar mi formación académica a lo largo de todo este camino. Agradecimientos totales a la Universidad Nacional de Loja por la acogida, a la carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial como también a su planta de docentes por brindarme sus conocimientos y aptitudes. De la misma forma mis sinceros agradecimientos a mi director del Trabajo de Titulación Ing. Fermín Alexander González Sisalima Mg. Sc., quien me otorgó conocimientos, guio, sustentó y dio cumplimiento a mi trabajo de titulación.

A todos mis amigos que logré hacer en toda mi etapa universitaria y haber compartido momentos únicos de alegría, preocupación, tristeza y muchos logros.

A los dueños del terreno donde se realizó la investigación por las facilidades permitidas para el desarrollo del mismo.

Finalmente, a todos mis familiares, amigos y especialmente a mi abuela Clara arriba en el cielo.

Anthony José Jiménez Cumbicus



Índice De Contenido

| | |
|--|------|
| Portada | i |
| Certificación | ii |
| Autoría | iii |
| Carta de autorización | iv |
| Dedicataria | v |
| Agradecimiento | vi |
| Índice de Contenido | vii |
| Índice de tablas | x |
| Índice de figuras | xi |
| Tabla de anexos: | xiii |
| 1. Título | 1 |
| 2. Resumen | 2 |
| 2.1. Abstrac | 3 |
| 3. Introducción | 4 |
| 4. Marco Teórico | 6 |
| 4.1. Topografía | 6 |
| 4.1.1. Levantamiento topográfico | 6 |
| 4.1.2. GPS Diferencial | 7 |
| 4.2. Mapa de pendientes | 8 |
| 4.3. Estudio Geológico | 8 |
| 4.4. Geología | 8 |
| 4.4.1. Mapeo Geológico | 9 |
| 4.5. Geotecnia | 9 |
| 4.6. Caracterización Geotécnica | 9 |
| 4.6.1. Métodos directos | 10 |
| 4.6.1.1. Ensayo de penetración estándar. | 10 |
| 4.6.1.2. Calicatas. | 11 |
| 4.6.2. Métodos indirectos. | 11 |
| 4.6.2.1. Sondes eléctrico Vertical (SEV). | 12 |
| 4.7. Mecánica de suelos | 13 |
| 4.7.1. Ensayos Granulométricos | 14 |
| 4.7.2. Clasificación de suelos | 14 |
| 4.7.2.1. Sistema de la AASHTO. | 15 |



| | | |
|-----------|--|-----------|
| 4.7.2.2. | Sistema unificado | 15 |
| 4.7.3. | <i>Limite Atterberg</i> | 16 |
| 4.7.4. | <i>Resistencia cortante del Suelo</i> | 16 |
| 4.7.5. | <i>Criterio de falla de Mohr – Coulomb</i> | 17 |
| 4.7.6. | <i>Ensayo de corte directo</i> | 18 |
| 4.8. | Factores Geotécnicos | 18 |
| 4.9. | Hidrología..... | 19 |
| 4.9.1. | <i>Hidrogeología</i> | 19 |
| 4.9.2. | <i>Nivel Freático</i> | 19 |
| 4.9.3. | <i>Permeabilidad</i> | 19 |
| 4.9.4. | <i>Factores determinantes y factores activadores</i> | 20 |
| 4.10. | Movimiento de ladera..... | 20 |
| 4.10.1. | <i>Talud o ladera</i> | 21 |
| 4.10.2. | <i>Clasificación</i> | 23 |
| 4.11. | Deslizamiento | 23 |
| 4.11.1. | <i>Deslizamiento Rotacional</i> | 25 |
| 4.11.2. | <i>Deslizamiento de translación</i> | 26 |
| 4.12. | Análisis Geológico geotécnico | 26 |
| 4.12.1. | <i>Factor de Seguridad</i> | 26 |
| 4.12.2. | <i>Métodos de cálculo de factor de seguridad</i> | 28 |
| 4.12.3. | <i>Tipos de Rupturas</i> | 28 |
| 5. | Metodología | 30 |
| 5.1. | Área de estudio | 30 |
| 5.1.1. | <i>Ubicación geográfica</i> | 30 |
| 5.1.2. | <i>Acceso</i> | 30 |
| 5.1.3. | <i>Descripción Biofísica del área de estudio</i> | 31 |
| 5.2. | Materiales | 33 |
| 5.3. | Métodos | 34 |
| 5.4. | Procedimiento..... | 34 |
| 5.4.1. | <i>Metodología para primer objetivo</i> | 34 |
| 5.4.2. | <i>Metodología para el segundo objetivo</i> | 39 |
| 5.4.3. | <i>Metodología para el tercer objetivo</i> | 42 |
| 6. | Resultados | 44 |
| 6.1. | Topografía | 44 |
| 6.2. | Mapa de pendientes | 45 |



| | | |
|------------|--|-----------|
| 6.3. | Geología..... | 46 |
| 6.3.1. | <i>Geología Regional</i> | 46 |
| 6.3.2. | <i>Geología Local</i> | 47 |
| 6.3.3. | <i>Estratigrafía</i> | 54 |
| 6.3.4. | <i>Secciones geológicas</i> | 61 |
| 6.4. | Ensayo de SPT..... | 62 |
| 6.4.1. | <i>Ensayos de laboratorio</i> | 64 |
| 6.5. | Exploración a cielo abierto | 65 |
| 6.5.1. | <i>Ensayo de corte directo</i> | 66 |
| 6.6. | Sondeo eléctrico vertical | 67 |
| 6.7. | Correlación geológica de las calicatas..... | 72 |
| 6.8. | Correlación geológica de los SPT | 72 |
| 6.9. | Correlación geológica de los SEV | 73 |
| 6.10. | Correlación general..... | 74 |
| 6.11. | Mapa Geotécnico..... | 76 |
| 6.12. | Factor de Seguridad | 76 |
| 6.13. | Morfometría del movimiento de ladera | 79 |
| 6.14. | Clasificación del movimiento de ladera | 80 |
| 6.15. | Causa del movimiento | 81 |
| 6.15.1. | <i>Factores condicionantes</i> | 81 |
| 6.15.2. | <i>Factores desencadenantes</i> | 82 |
| 7. | Discusión | 83 |
| 8. | Conclusiones | 86 |
| 9. | Recomendaciones | 88 |
| 10. | Bibliografía | 89 |
| 11. | Anexos | 91 |



Tabla de Índice de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Valores típicos de resistividad..... | 12 |
| Tabla 2. Límites de separación del Tamaño de suelo..... | 14 |
| Tabla 3. Símbolos para identificación de sistema unificado | 15 |
| Tabla 4. Clasificación de los movimientos en maza | 23 |
| Tabla 5. Métodos de ruptura en Macizos Rocosos con Discontinuidades | 28 |
| Tabla 6. Coordenadas del área de estudio | 30 |
| Tabla 7. Precipitaciones en mm, periodo 2010-2017 | 32 |
| Tabla 8. Coordenadas del Punto de control..... | 36 |
| Tabla 9. Clasificación de Demek | 36 |
| Tabla 10. Ficha para descripción de afloramientos | 37 |
| Tabla 11. Ficha para descripción de calicatas | 38 |
| Tabla 12. Coordenadas de ubicación de calicatas | 40 |
| Tabla 13. Coordenadas ubicación SEVS..... | 41 |
| Tabla 14. Clasificación de deslizamientos de ladera..... | 43 |
| Tabla 15. Clasificación de Demerk | 45 |
| Tabla 16. Registro de sondeo 1 | 63 |
| Tabla 17. Registro sondeo 2 | 63 |
| Tabla 18. Ensayos de laboratorio, Sondeo 1 | 64 |
| Tabla 19. Ensayos de laboratorio, Sondeo 2 | 65 |
| Tabla 20. Ensayos de laboratorio, calicatas 1 y 2 | 66 |
| Tabla 21. Parámetros geotécnicos, ensayo de corte directo | 67 |
| Tabla 22. Interpretación de resultados de SEV | 69 |
| Tabla 23. Descripción de materiales | 77 |
| Tabla 24. Análisis de Factor de seguridad. | 79 |
| Tabla 25. Dimensiones de deslizamiento | 80 |



Tabla de Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Trabajo del GPS Diferencial..... | 7 |
| Figura 2. Configuración Schlumberger y Wenner | 13 |
| Figura 3. Definición de los Limites de Atterberg. | 16 |
| Figura 4. Envolvente de falla de Mohr y criterio de rotura de Mohr-Coulomb..... | 17 |
| Figura 5. Prueba de corte directo | 18 |
| Figura 6. Clasificación de movimientos de ladera | 21 |
| Figura 7. Nomenclatura de Taludes y laderas | 22 |
| Figura 8. Nomenclatura de un deslizamiento..... | 25 |
| Figura 9. Deslizamiento Rotacional Típico. | 26 |
| Figura 10. Deslizamiento de translación en la vía Tijuana -Ensenada en México. | 26 |
| Figura 11. Ubicación geográfica del área de estudio. | 30 |
| Figura 12. Acceso al área de estudio..... | 31 |
| Figura 13. Toma de puntos, levantamiento topográfico. | 35 |
| Figura 14. Delimitación del polígono de área de estudio | 35 |
| Figura 15. Modelo de Builder, mapa de pendientes | 36 |
| Figura 16. Ubicación de sondeos | 39 |
| Figura 17. Perfil topográfico, corte A-A" | 44 |
| Figura 18. Perfil topográfico, corte B-B" | 45 |
| Figura 19. Afloramiento 1 | 48 |
| Figura 20. Afloramiento 2..... | 48 |
| Figura 21. Afloramiento 3..... | 49 |
| Figura 22. Afloramiento 4..... | 50 |
| Figura 23. Afloramiento 5..... | 51 |
| Figura 24. Afloramiento 7..... | 52 |
| Figura 25. Afloramiento 8..... | 52 |
| Figura 26. Afloramiento 9..... | 53 |
| Figura 27. Afloramiento 10..... | 53 |
| Figura 28. Afloramiento 11..... | 54 |
| Figura 29. Columna 1, calicata 1 | 55 |
| Figura 30. Columna estratigráfica 2, calicata 2 | 56 |
| Figura 31. Columna estratigráfica 3, calicata 3..... | 57 |
| Figura 32. Columna estratigráfica 4, calicata 4..... | 58 |
| Figura 33. Columna estratigráfica 5, calicata 5..... | 59 |



| | |
|---|----|
| Figura 34. Columna estratigráfica 6, calicata 6..... | 60 |
| Figura 35. Perfil geológico, corte A-A"..... | 61 |
| Figura 36. Perfil geológico 37, corte B-B" | 62 |
| Figura 37. Carta de plasticidad. | 64 |
| Figura 38. Carta de plasticidad, sondeo 2. | 65 |
| Figura 39. Curva esfuerzo-deformación (a) Calicata 1 (b) Calicata 2. | 67 |
| Figura 40. Esfuerzo normal Vs Esfuerzo cortante (a) Calicata 1 (b) Calicata 2..... | 67 |
| Figura 41. Ubicación de las tres líneas de SEV | 68 |
| Figura 42. Correlación de calicatas | 72 |
| Figura 43. Correlación de SPT | 73 |
| Figura 44. Correlación de SEV | 74 |
| Figura 45. Correlación general de los perfiles. | 75 |
| Figura 46. Ubicación del perfil realizado para la obtención del factor de seguridad..... | 76 |
| Figura 47. Perfil longitudinal con sus materiales..... | 77 |
| Figura 48. Resultados del cálculo de Fs..... | 78 |
| Figura 49. Análisis de morfometría del talud de estudio, Barrio Pindo Alto..... | 79 |
| Figura 50. Epata inicial de rotación del deslizamiento | 81 |
| Figura 51. Etapa final rotacional y planar del deslizamiento..... | 81 |



Tabla de Índice de Anexos:

| | |
|--|-----|
| Anexo 1. Mapas temáticos del área de estudio | 91 |
| Anexo 2. Fichas de afloramientos | 92 |
| Anexo 3. Ensayos SPT | 104 |
| Anexo 4. Ensayos SEVS | 106 |
| Anexo 5. Ensayos de corte directo | 109 |
| Anexo 6. Certificado de traducción de resumen. | 111 |



1. Título

**Caracterización geológica-geotécnica del deslizamiento ubicado en el barrio Pindo Alto,
parroquia El Lucero, cantón Calvas, provincia de Loja**



2. Resumen

La presente investigación corresponde a la “Caracterización geológica-geotécnica del deslizamiento ubicado en el barrio Pindo Alto, parroquia El Lucero, cantón Calvas, provincia de Loja” enfocada en determinar las características geológicas – geotécnicas, factores condicionantes y desencadenaste del deslizamiento con un área de 9 Ha, con la finalidad de determinar el factor de seguridad del mismo. Se inició con el levantamiento topográfico a detalle tomando un único punto de control para toda el área de estudio, posteriormente se realizó la geología local teniendo como base la topografía ya levantada y mediante el método de mapeo por afloramientos, complementando con la apertura de calitas geológicas en puntos estratégicos, determinando 2 formaciones en la cuales se halló litologías como aglomerados volcánicos, tobas y material coluvial, que sirvieron para ubicación estratégica de los ensayos geotécnicos SPT’s, SEV’s y Corte directo. Se aplico dos SPT’s, tres SEV’s y dos Corte directo ubicados en las distintas litologías, en los SPT’s y Corte directo de los cuales se tomaron muestras alteras e inalteradas respectivamente y posteriormente ser analizadas en el laboratorio autorizado (DICON S.A), realizando ensayos como: Límites de Atterberg, contenido de humedad, granulometría, resistencia al esfuerzo cortante de suelo bajo las normas, ASTM y clasificación de suelos de acuerdo a las normas SUCS y AASTHO, en los SEV’s se conoció el nivel freático, las distintas copas del suelo y un corte geoelectrico resultante y así mismo la información ser correlacionada con la de los SPT’s, consecutivamente se puntualizó los factores determinantes y activadores. Finalmente se unifico toda la información y se calculó el factor de seguridad en el programa Slide lo cual nos arrojó un factor de seguridad de 0.55 el cual es muy bajo y mediante esto se hizo recomendaciones para la mitigación del deslizamiento como diseño hidráulico del área de estudio, diseño de obras para la descarga de aguas en sitios seguros.

Palabras Clave: geología, geotecnia, Levantamiento topográfico, Mecánica de suelos



2.1. Abstract

The present investigation corresponds to the "Geological-geotechnical characterization of the landslide located in the Pindo Alto neighborhood, El Lucero parish, Calvas canton, Loja province" focused on determining the geological-geotechnical characteristics, conditioning and triggers factors of the landslide with an area of 9 ha, in order to determine its safety factor. It began with the topographic survey in detail, taking a single control point for the entire study area, posteriorly the local geology was carried out based on the topography already collected and through the outcrop mapping method, complemented by the opening of geological pits at strategic points, determining two formations in which lithologies, such as: volcanic agglomerates, tuffs and colluvial material, were found, which was used for the strategic location of the SPTs, SEVs and Direct Shear geotechnical tests. Two SPTs, three SEVs and two Direct Shear Test located in the different lithologies were applied, in the SPTs and Direct Shear Test from which altered and unaltered samples were taken respectively and later analyzed in the authorized laboratory (DICON S.A), carrying out tests such as: Atterberg limits, moisture content, granulometry, resistance to soil shear stress under ASTM standards and soil classification according to SUCS and AASTHO standards, in the SEVs the water table, the different soil layers and geoelectric shear were identified and in the same way the information was correlated with the SPTs, consecutively the determining and activating factors were pointed out. Finally, all the information was unified and the safety factor was calculated in the Slide program, which gave us a safety factor of 0.55, which is very low and through this, recommendations were made for the mitigation of the slide as a hydraulic design of the study area, works design for the discharge of water in safe places.

Keywords: *geology, geotechnics, Topographic survey, Soil mechanics*



3. Introducción

Según el Gobierno Autónomo Descentralizado de la parroquia el Lucero, la vía de primer orden que conecta el cantón Cariamanga, parroquia el Lucero y el cantón Espíndola, así mismo cuentan con vías de tercer orden que llevan a distintos barrios.

De igual manera de acuerdo a los datos obtenidos del plan de desarrollo cantonal del Calvas, la parroquia El Lucero cuenta con 14,18 Km de vías pavimentadas, 4,76 km de caminos lastrados, 33,31 km de vías de veranos que comunican con los diferentes barrios y 28,68 senderos, y 2,90 km de calles que corresponde al área urbana de la cabecera Parroquial. Sin embargo, es importante mencionar que la red vial no se encuentra en óptimas condiciones a causa de factores topográficos, climáticos, antrópicos y geológicos.

Así surge la necesidad de realizar el presente trabajo de investigación “Caracterización geológica-geotécnica del deslizamiento ubicado en el barrio Pindo Alto, parroquia El Lucero, cantón Calvas, provincia de Loja” el cual está enfocado en determinar los parámetros geológicos – geotécnicos que posee el deslizamiento, el mismo que presenta problemas a la población de manera directa e indirecta, así mismo esta información puede ser tomada como base para futuros estudios y propuestas de estabilización.

La investigación fue realizada mediante metodologías no experimentales de nivel exploratorio, descriptivo y correlacional, ya que las muestras no alteraron la realidad del área de estudio, ya que los resultados tienen la potencialidad de mejorar la realidad de la problemática.

El proyecto lleva consigo procedimientos secuenciales y ordenados, para dar un mayor enfoque y eficacia, mediante la recopilación de información bibliográfica, levantamiento topográfico con el GPS diferencial de 9 Ha de área, así como también el levantamiento geológico, ensayos de exploración geotécnica con muestras alteras (SPT's), con muestras inalteradas (corte directo) e indirectos (SEV's). Finalmente se realizó un análisis de estabilidad del talud para así obtener un factor de seguridad del estado actual del mismo.

Los objetivos planteados para dar cumplimiento al presente proyecto de investigación son:

Objetivo General

- Caracterización Geológica-Geotécnica del deslizamiento ubicado en el barrio Pindo Alto, parroquia El Lucero, cantón Calvas, provincia de Loja



Objetivos Específicos

- Realizar el levantamiento Topográfico y Geológico a detalle, a escala 1:100 del deslizamiento ubicado en el barrio Pindo Alto, Parroquia el Lucero, Cantón Calvas, Provincia de Loja
- Caracterizar las propiedades de los geomateriales y determinar los factores condicionantes y desencadenantes del deslizamiento.
- Definir el Factor de seguridad y tipo al cual pertenece el deslizamiento.



4. Marco Teórico

4.1. Topografía

En un sentido general, Rincón, et. al (2017) señalan que la topografía se define como la rama que comprende todos los métodos de obtención de información sobre las partes físicas de la Tierra, tales como relieves, los litorales, los cauces de las corrientes de agua, entre otros, utilizando métodos clásicos terrestres, ópticos y de teledetección.

Por otra parte, de manera concreta Gomez Morales, (2019) define a la topografía como:

la ciencia que estudia el conjunto de procedimientos para determinar la ubicación de puntos en la superficie terrestre, a través de mediciones de los tres elementos del espacio. Estos tres factores pueden ser, dos distancias y una altitud, o una distancia y una dirección, o una combinación de los tres. Las unidades de longitud (decimales) se utilizan para la distancia y la altitud, y las unidades de arco (grados decimales) se utilizan para las direcciones.

Es así que Rincón, et. al (2017) y Gómez Morales, (2019) nos dan a entender que la topografía es de gran importancia en la rama de ingeniería ya que esta ayuda a determinar cómo esta modelada la superficie de la tierra nos ayuda a obtener un perfil de cómo está constituida de manera puntual. Nos indica los métodos y procedimientos que nos permiten obtener mediciones sobre el terreno, de tal forma su representación gráfica o analítica, esto en una escala determinada.

4.1.1. Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico es aquello que, por cubrir áreas pequeñas, se pueden hacerse ignorando la curvatura de la tierra, esto sin error apreciable. (Gómez Morales, 2019)

Rincón, et. al (2017) nos resaltan que el levantamiento topográfico es el conjunto de operaciones con el objetivo de determinar la posición de puntos en el espacio y su representación en un plano, es así que el conjunto de operaciones incluye:

- Selección del método de levantamiento.
- Elección del equipo a utilizar.
- Identificar y ubicar posibles vértices de apoyo.
- Realización de mediciones en terreno.
- Cálculo y procesamiento de datos.
- Elaboración de planos.

El levantamiento topográfico según Rincón, et. al (2017) y Gomez Morales, (2019) se lo puede hacer de dos formas; Levantamiento planimétrico y levantamiento altimétrico; estos se diferencian en que el uno obtiene puntos para así definir la proyección sobre el plano de



comparación y el otro obtiene alturas respecto al plano de comparación, respectivamente. Para cual nos ayuda obtener planos o mapas de un área determinada en las cuales deben resaltar las características del terreno, las diferentes relieves o diferenciación de alturas entre otras, obtener un estudio descriptivo del terreno.

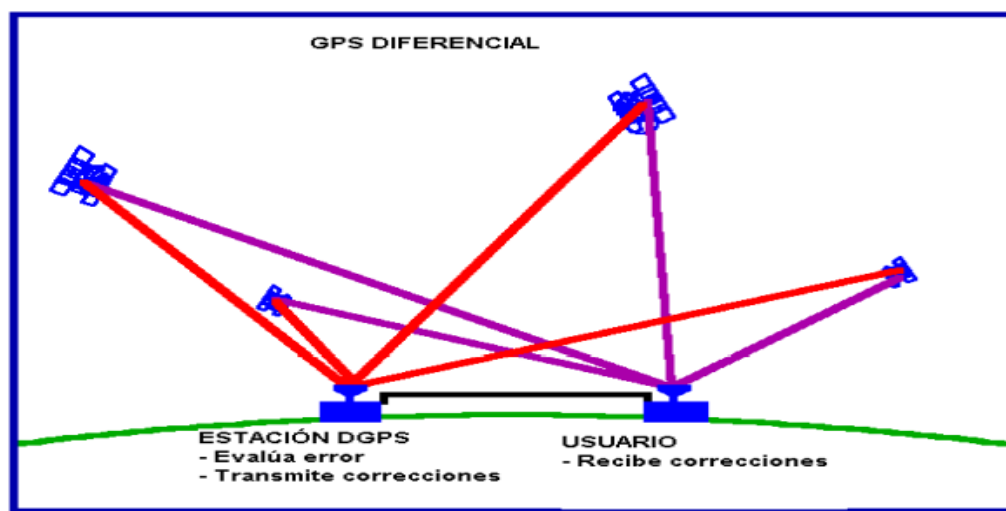
4.1.2. GPS Diferencial

Según Del Carmen, et. al (2017), el GPS Diferencial se basa en el uso de un georreceptor móvil y una o más estaciones que actúan como base referencia ubicadas en coordenadas conocidas con alta precisión, de tal manera el GPS diferencial o también llamado DGPS, la cual esta opción para corregir la precisión en las posiciones de los puntos medidos.

Por otra parte, Ana, et. al (2000) nos dicen que un receptor GPS ubicado en un lugar conocido para calcular la distancia de un grupo de satélites; la diferencia entre la posición calculada y la posición exacta del receptor, el cual determina el error medición. Por lo tanto, la precisión de las medidas se ve alterada por el movimiento del satélite durante el tratamiento de la información y por el tiempo que se tarda en obtener las posiciones, esto en consecuencia a lecturas iterativas de todos los mensajes de la constelación.

De tal forma que, Del Carmen, et. al (2017) y Ana, et. al (2000) indican que el GPS Diferencial minimiza el margen de error a menos de un metro de diferencia con la posición indicada, lo único en contra de este es que, la señal que expresa la estación terrestre envuelve solamente un radio aproximado de unos 200 kilómetros, pero aun así es muy versátil para un levantamiento topográfico a detalle.

En la figura 1 el gráfico representa la toma y recepción de datos; el trabajo del GPS



Diferencial.

Figura 1: Trabajo del GPS Diferencial.
Fuente: González (2015)



4.2. Mapa de pendientes

Franzpc (2011) menciona que; el mapa de pendiente básicamente determina la diferencia de pendiente entre dos terrenos, en sí; es la relación entre la distancia horizontal y la altura entre dos puntos. (Franzpc, 2011)

Por otra parte Torres (2007) señala que; los mapas temáticos, por cualquier sistema gráfico, representan distintos grados de inclinación de un área.

Es así que el propósito de este mapa es mostrar, en color, áreas del territorio con pendientes similares; lo cual esta actividad tiene como objetivo aprender el concepto de gradientes.

4.3. Estudio Geológico

Anguita (1994) nos dice que la geología utiliza métodos analíticos propios de la ciencia, para investigar las causas de estos procesos e integrarlos en la comprensión global del planeta.

La geología moderna es solo una de las disciplinas científicas que nos ayuda a comprender la Tierra.

González de Vallejo et. al (2002) mencionan que, el estudio Geológico nos ayuda a aprender sobre las características de nuestro planeta, las características de la Tierra, cómo se formó hace mucho tiempo y su estructura.

Es por esto que en el presente trabajo investigativo es preciso aplicar el estudio geológico ya que nos ayudara a establecer las formaciones geológicas dadas del área de estudio; las tipologías y propiedades del suelo, para así establecer los materiales que son cohesivos y no cohesivos, de tal forma obtener el proceso por el cual se da el deslizamiento a través de los planos de falla del terreno.

4.4. Geología

De acuerdo a Spikermann (2010) y Varela y Ricardo (2014) indican que la Geología es aquella que se encarga de establecer los materiales de la cual está conformada la tierra, nos ayuda a obtener la cronología de los mismos y en si las distintas características del terreno.

Spikermann (2010) nos menciona que el conocimiento de la naturaleza suele dividirse en varias ramas denominadas ciencias naturales como la física, la química, la biología, la geología, la meteorología, etc. Todo está respaldado por matemáticas siempre que sea posible.

Por otra parte, Varela y Ricardo (2014) nos dicen que la Geología se define como el campo de las ciencias naturales que se ocupa del estudio de la tierra. Esa área es el estado inorgánico de la materia.



4.4.1. Mapeo Geológico

Según Delgado et. al (2010) la finalidad del mapeo Geológico es de simbolizar e incorporar la información de la situación geológica de área de estudio, lo cual nos ayuda a la interpretación rápida y concisa, además la base fundamental de la misma es la topografía; el mapeo geológico es básico y fundamental para las áreas de geología, minería, geotecnia, etc.

Así mismo manifiestan que los mapas geológicos no son otra cosa que un modelo a escala real. Por eso, como cualquier otro modelo, se deben hacer una serie de concesiones (simplificaciones) durante la construcción. Esto permite un buen compromiso entre la legibilidad y la representatividad de los rasgos. Un sitio geológico especial en el área de estudio.

Según González de Vallejo et. al (2002) la confección de los mapas geológicos se monta sobre la topografía del área, lo cual nos proporciona la información acerca del modelado del terreno, el relieve de acuerdo a las curvas de nivel, como también la representación de ríos.

Por lo cual la mayoría de los mapas geológicos escalan de 1/1.000.000 a 1/50.000, pero la escala más común en ingeniería es de 1/10.000 a 1/500. Los mapas geológicos a escala de detalle son la práctica habitual de la ingeniería geotécnica, petrología, o mapas temáticos, donde se representan discontinuidades, datos geológicos hidrológicos, documentación, etc. a la misma velocidad que el proyecto.

4.5. Geotecnia

Según Das (2015) menciona que la geotecnia es la geoingeniería que tiene sus raíces en la geología y está involucrada en el estudio de las propiedades mecánicas e hidrodinámicas de los materiales geológicos tanto en la superficie como en la subsuperficie, y es fundamental para la cimentación de estructuras y el diseño, construcción y almacenamiento de taludes.

Por su parte Masabana et. al (2018) nos dicen que la geotecnia es la es un departamento de ingeniería donde se asocia la mecánica de suelos, la mecánica de rocas y la geología con el desarrollo de la ingeniería civil, con el objetivo de determinar las características del suelo y las rocas subterráneas para determinar el tipo de cimentación de la edificación.

4.6. Caracterización Geotécnica

La norma ecuatoriana de la construcción en su publicación de geotecnia y Cimentaciones del año 2014 indican que la caracterización geotecnia incluye las actividades necesarias para asegurar que las características de geoingeniería del terreno sean conocidas a través de estudios de campo, inspecciones y sondeos. En base a esto, ya sea una cimentación,



un sistema de perforación o un sistema de contención, se pueden establecer las recomendaciones y parámetros requeridos para el diseño de estructuras de ingeniería de suelos

Por otra parte, Lomoschitz (1994) resalta que para coordinar con precisión los estudios de geoingeniería, es muy eficaz realizar un reconocimiento preliminar del terreno, investigar las características estructurales y planificar el reconocimiento y la inspección necesarios. Por lo tanto, la investigación en geoingeniería ha pasado por varias etapas, cuyo propósito es determinar el nivel de soporte más favorable de acuerdo con la estructura soportada y determinar el tipo de cimentación más adecuado.

Estas son las cuatro fases fundamentales:

- 1) La campaña de reconocimientos
- 2) Los ensayos de laboratorio
- 3) La integración de los datos de campo y laboratorio
- 4) El encuadre de la cimentación.

4.6.1. Métodos directos

Ramírez (2016) nos menciona que los métodos directos contemplan la utilización de muestras que ayudan a conocer las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas del suelo; las muestras deben ser representativas del área de estudio las cuales pueden ser alteradas o inalteradas.

Por consiguiente, los métodos directos de exploración en la ingeniería geotécnica proporcionan información directa sobre las condiciones geotécnicas y geológicas del área de estudio al observar las características del área de estudio, medir los parámetros del campo y tomar muestras. En esta categoría se encuentran métodos agrupados que proporcionan un registro continuo y representativo de la muestra. También hay formas de permitir el acceso directo a la superficie de la tierra, lo que permite la inspección y el registro directo de la estratificación.

4.6.1.1. Ensayo de penetración estándar.

Por su parte Ramírez (2016) nos menciona que este método de exploración se usa ampliamente para determinar la resistencia a la penetración de la capa de suelo por el número de golpes necesarios para impulsar un muestreador de metal. Las pruebas de penetración estándar se realizan con muestreo continuo sin perturbaciones. El muestreador utilizado en la prueba SPT se denomina tubería de derivación, lo que permite la recuperación de muestras de suelo perturbadas por el arrastre del muestreador.

Así mismo Devincenzi y Frank (2014) nos indica la realización del ensayo:



- 1) Se ejecuta un taladro hasta la cota deseada y en el fondo del mismo se introduce una toma muestras de dimensiones estándar que consta de tres elementos: zapata, tubo bipartido y cabeza de acoplamiento con el varillaje.
- 2) Se hinca él toma muestras o cuchara SPT en el terreno 60 cm, contando en número de golpes necesarios para hincar tramos de 15 centímetros. La hinca se realiza mediante una maza de 63,5 kg (140 libras) que cae desde una altura de 76,2 cm (30 pulgadas) en una cabeza de golpeo o yunque, lo que corresponde a un trabajo teórico de 0,5 kJ por golpe.

No se tienen en cuenta las mediciones de impacto en el primer y último tramo, ya que los cambios de suelo y las paredes del pozo pueden colapsar en el primer caso y hundirse en el segundo caso. Los valores de impacto en la sección central de 15 cm se suman para dar los parámetros N30SPT o NSPT, también conocidos como resistencia a la penetración estándar.

Si el terreno es muy resistente, se detendrá la prueba por negativa, anotando el número de penetraciones realizadas y los aciertos correspondientes. La prueba se puede dar por finalizada cuando (norma ASTM D1586-84):

- Cuando se aplican 50 golpes para un tramo de 15 cm.
- Cuando se aplican 100 golpes en total.
- Cuando no se observa penetración alguna para 10 golpes. En estos casos resulta prudente insistir en el golpeo pues bien podría tratarse de un bolo o grava gruesa

4.6.1.2.Calicatas.

Estos son pozos excavados en el suelo de 1,5 x 0,80 de largo o 1,0 m de ancho y 1,2-1,50 m de profundidad, o pozos hasta el contacto con la roca donde se expone todo el suelo. La excavación se suele hacer con un pico y una pala recta. Los hoyos permiten una representación directa y detallada del suelo bajo investigación. El propósito del muestreo es establecer todas las propiedades modales más frecuentes y las propiedades para su posterior clasificación. Los agujeros son parte de una técnica topográfica utilizada para facilitar las investigaciones geotécnicas, investigaciones geomorfológicas o histológicas del suelo. (SERFOR, 2016)

4.6.2. Métodos indirectos.

El autor Ramírez (2016), nos menciona que los métodos indirectos son aquellos que ayudan al muestreo y exploración de los suelos para lo cual nos indican la información sin la necesidad de recopilar las muestras de campo y se lo realiza en la superficie.



Además, menciona que los métodos indirectos Incluyen mediciones indirectas de las propiedades físicas del suelo y la roca. Estos métodos corresponden a procedimientos de exploración geofísica. Los principales métodos geofísicos son los terremotos, la geoelectricidad, la gravedad y la compasión. Estos métodos se caracterizan por realizarse principalmente desde la superficie o la profundidad utilizando sistemas y equipos.

Es así que los métodos geofísicos permiten una amplia gama de exploración profunda mediante levantamientos directos o puntuales, tienen un tiempo de desarrollo más corto y un costo más bajo que la exploración directa, pero los resultados obtenidos por estos métodos son geingenieros y deben interpretarse por el ingeniero geotecnista.

4.6.2.1.Sondes eléctrico Vertical (SEV).

Los métodos de estudio geofísico determinan el contacto entre suelos, identifican formaciones hidrogeológicas y determinan la profundidad de las rocas negativas en el área de estudio. Consiste en realizar una medición superficial realizada por la diferencia de potencial entre dos electrodos generada por la inyección de corriente de otro par de electrodos, cuyo resultado proporciona un análisis de resistencia. Potencia aparente del terreno en función de la profundidad en curva. (Masabana, et. al, 2018)

Así mismo Arias, et. al (2012) nos resaltan que la finalidad del sondeo eléctrico vertical (SEV) es determinar bajo el supuesto de que el suelo está compuesto por unidades materiales individuales dispuestas en capas paralelas, determinando la distribución vertical de la profundidad de resistencia aparente de los subpuntos examinados a partir de las mediciones de la diferencia de potencial superficial, estimamos la distribución vertical de la geología de la materia existente en la tierra

A continuación, se presentan valores típicos de resistividad tanto en suelo como en rocas, los cuales nos ayudaran a correlacionar con los ensayos.

La tabla 1 describe los valores típicos que se dan en los materiales del suelo y poder describir de acuerdo a los Sevs.

Tabla 1: Valores típicos de resistividad

| MATERIAL | RESISTIVIDAD (Ω M) |
|--|----------------------------|
| Basamento. Roca sana con diaclasas espaciadas | >10000 |
| Basamento. Roca fracturada | 1500-5000 |
| Basamento. Roca fracturada saturada con agua corriente | 100-2000 |
| Basamento. Roca fracturada saturada con agua salada | 1-100 |
| Gruss no saturado | 500-1000 |
| Gruss saturado | 40-60 |
| Saprolito no saturado | 200-500 |
| Saprolito saturado | 40-100 |
| Gravas no saturadas | 500-2000 |



| | |
|------------------------------------|-----------|
| Gravas saturadas | 300-500 |
| Arenas no saturadas | 400-700 |
| Arenas saturadas | 100-200 |
| Limos no saturados | 100-200 |
| Limos saturados | 20-100 |
| Limos saturados con agua salada | 5-15 |
| Arcillas no saturadas | 20-40 |
| Arcillas saturadas | 5-20 |
| Arcillas saturadas con agua salada | 1-10 |
| Andosoles secos | 1000-2500 |
| Andosoles no saturados | 300-1000 |
| Andosoles saturados | 30-50 |

Fuente: Arias, et. al (2012)

En SEV, se introduce una corriente CC a tierra a través de un par de electrodos AB y la diferencia de potencial que genera en tierra se mide a través de un par de electrodos MN. A partir de la resistencia calculada con los valores de la diferencia de corriente y tensión, ya partir de la distancia entre la tensión y la red, se calcula la resistencia aparente.

En la figura 2 la gráfica indica como deben ir ubicados los electrodos con sus distancias respectiva en los Sevs.

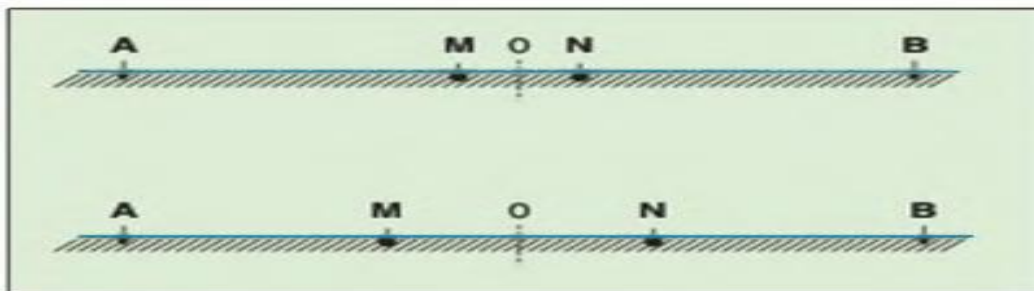


Figura 2: Configuración Schlumberger y Wenner

Fuente: González de Vallejo et. al (2002)

4.7.Mecánica de suelos

La mecánica de suelos es frecuentada para saber el comportamiento de los materiales ya que con esta ha sido posible el estudio de los mismo para una cimentación o estabilización de un talud.

Das (2015) resalta que la mecánica de un campo de la ingeniería que se ocupa del estudio de las propiedades del suelo y su comportamiento bajo presión y deformación en condiciones ideales.

A partir de las condiciones idealizadas de la mecánica de suelos en la mayoría de los casos, la deposición natural del suelo no es uniforme, por lo que las condiciones ideales de mecánica de suelos requieren aproximación y razonamiento para diseñar una cimentación adecuada.



4.7.1. Ensayos Granulométricos

Según González de Vallejo et, al (2002) para estudiar materiales complejos como el suelo (con diferentes tamaños de partículas y composiciones químicas), es necesario seguir una metodología definida. Un sistema de valoración de activos para formar un lenguaje que pueda ser entendido por ingenieros en diferentes disciplinas y países.

Por su parte Badillo y Rodríguez (2005) menciona que el límite de tamaño de las partículas que componen el suelo es un criterio claro para la clasificación descriptiva del suelo. Dichos estándares se han utilizado en mecánicas únicas desde el comienzo de esta ciencia hasta tiempos premodernos.

De esta manera González de Vallejo et. al (2002) mencionan que se han clasificado los suelos en cuatro grandes grupos en función de su granulometría.

En la Tabla 2 podemos ver los límites de separación de tamaño de suelo en base a varias organizaciones.

Tabla 2: Límites de separación del Tamaño de suelo

| Nombre de la organización | Tamaño del grano en mm | | | |
|--|------------------------|--------------|---------------------------------------|---------|
| | Grava | Arena | Limo | Arcilla |
| Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) | >2 | 2 a 0.06 | 0.06 a 0.002 | <0.002 |
| Departamento de Agricultura de E.U. (USDA) | >2 | 2 a 0.05 | 0.05 a 0.002 | <0.002 |
| Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte (AASHTO) | 76.2 a 2 | 2 a 0.075 | 0.075 a 0.002 | <0.002 |
| Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de E.U., Oficina de Reclamación de E.U., Sociedad Americana para Pruebas y Materiales) | 76.2 a 4.75 | 4.75 a 0.075 | Finos (p.ej., linos y arcillas) 0.075 | |

Fuente: Das (2015)

4.7.2. Clasificación de suelos

Das (2012) nos menciona que el sistema de clasificación de suelos clasifica los suelos en grupos y subgrupos en función de propiedades técnicas comunes, como la distribución del tamaño de las partículas, los límites líquidos y los límites plásticos. Los dos sistemas de clasificación principales de uso actual son 1) el sistema de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y 2) el Sistema unificado de clasificación de suelos (Unified Soil Classification System (también es el sistema de la ASTM).



4.7.2.1. Sistema de la AASHTO.

El sistema de clasificación de suelos AASHTO se propuso originalmente al Comité de Clasificación de Granos y Subsuelos del Comité de Investigación de Carreteras (1945). En la forma actual de este sistema, el suelo se puede dividir en ocho grupos principales, A-1 a A-8, según la distribución del tamaño de las partículas, el límite líquido y el índice de plasticidad. Los suelos enumerados en los grupos A-1, A-2 y A-3 son de grano grueso y los suelos enumerados en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 lo son. material. es suave Turba, limo y otros suelos altamente orgánicos clasificados en el Grupo A-8 e identificados mediante inspección visual. (Das, 2012)

4.7.2.2. Sistema unificado.

El sistema unificado de clasificación de suelos fue propuesto por primera vez por A. Casa Grande en 1942, y desde entonces ha sido revisado y adoptado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos y el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos. Hoy en día, este sistema se utiliza en casi todos los trabajos de geoingeniería. (Das, 2012)

En el sistema unificado se utilizan los símbolos siguientes para fines de identificación:

En la tabla 3 se describe la simbología para los distintos tipos de suelo en el sistema unificado

Tabla 3: Símbolos para identificación de sistema unificado

| Símbolo | Descripción |
|-----------|------------------------------------|
| G | Grava |
| S | Arena |
| M | Limo |
| C | Arcilla |
| O | Limos orgánicos y arcilla |
| Pt | Turba y suelos altamente orgánicos |
| H | Alta plasticidad |
| L | Baja plasticidad |
| W | Bien graduado |
| P | Mal graduado |

Fuente: Das (2012)



4.7.3. Límite Atterberg

Das (2012) nos menciona que, A medida que el suelo se seca gradualmente, se comporta como un material semisólido o sólido blando, dependiendo del contenido de humedad. El contenido de agua (porcentaje) en el que el suelo cambia de un estado líquido a un estado plástico se define como el límite líquido (LL). De manera similar, el contenido de humedad (porcentaje) en el que el suelo pasa de plástico a semisólido y de semisólido a sólido se define como el límite plástico (LP) y el límite de recuperación (LC). Estos límites se denominan límites de Atterberg. A estos límites se les refiere como límites de Atterberg.

La figura 3 muestra los Límites de Atterberg, cuando supera cada situación respectivamente.

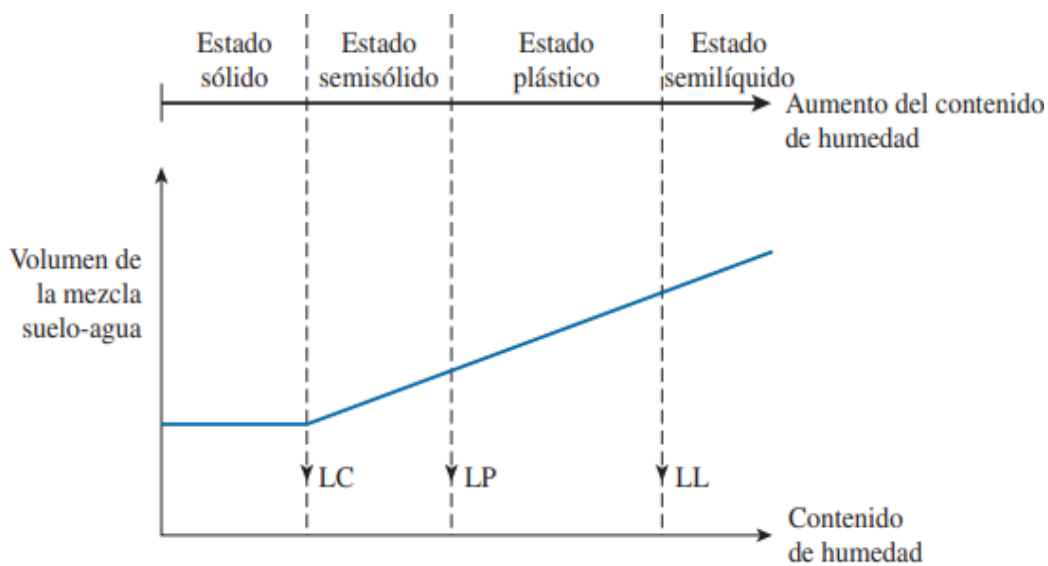


Figura 3: Definición de los Límites de Atterberg.
Fuente: Das (2012)

4.7.4. Resistencia cortante del Suelo

Según Das (2015) La resistencia al corte de un piso es la resistencia interna por unidad de área que la masa del piso puede ejercer cuando se rompe o se desliza a lo largo de cualquier plano del mismo. Los ingenieros deben comprender el principio de la resistencia al corte del suelo para analizar el problema, como:

- Capacidad de carga de cimentaciones superficiales
- Estabilidad de taludes naturales o de origen humano
- Estimación de la presión lateral de tierra para el diseño de estructuras de retención de tierras
- Capacidad de carga de pilotes y pozos perforados

La resistencia al cizallamiento es, en general, una función de:

- La cohesión entre las partículas del suelo



- La resistencia a la fricción entre las partículas sólidas
- El contenido de humedad y la presión del agua intersticial en la masa del suelo

4.7.5. Criterio de falla de Mohr – Coulomb

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

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

Donde:

τ_f : esfuerzo cortante sobre el plano de falla

σ : esfuerzo normal sobre el plano de falla

Por su parte (Coulomb, 1776). Tenga en cuenta que la envolvente de daño definida por la siguiente ecuación es una curva. Para la mayoría de los problemas de mecánica de suelos, es suficiente estimar el esfuerzo cortante de la superficie de fractura como una función lineal del esfuerzo normal.

Esta relación puede escribirse como:

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad (6)$$

Donde:

τ_f : esfuerzo cortante sobre el plano de falla

c : cohesión

σ : esfuerzo normal sobre el plano de falla

ϕ : ángulo de fricción interna

La importancia de la envolvente de destrucción se puede explicar de la siguiente manera. Cuando los esfuerzos normal y cortante están en el plano de la masa del suelo.

La figura 4 describe cuando el esfuerzo normal y cortante están en un plano de la masa de suelo.

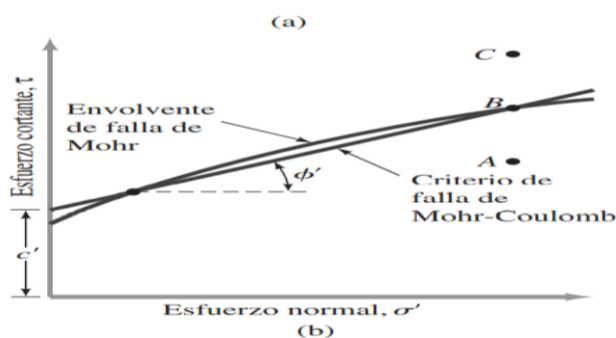


Figura 4: Envolvente de falla de Mohr y criterio de rotura de Mohr-Coulomb.
Fuente: Das (2015)



4.7.6. Ensayo de corte directo

Das (2012) La arena seca se puede probar de manera conveniente por medio de las pruebas de corte directo. La arena seca se puede confirmar fácilmente mediante una prueba de corte directo. La arena se coloca en una caja cortadora dividida en dos. Primero, se aplica la carga normal a la muestra. A continuación, aplique fuerza de corte en la parte superior de la caja de corte para triturar la arena. El esfuerzo cortante normal y el esfuerzo cortante en el momento de la falla son los siguientes, son:

$$\sigma' = \frac{N}{A}$$

Y

$$s = \frac{R}{A}$$

Donde A = área del plano de falla en el suelo, es decir, el área de la sección transversal de la caja de corte.

La Figura 5 demuestra el ensayo de corte directo en arena: a) diagrama esquemático del equipo de prueba; b) gráfica de los resultados de la prueba para obtener el ángulo de fricción.

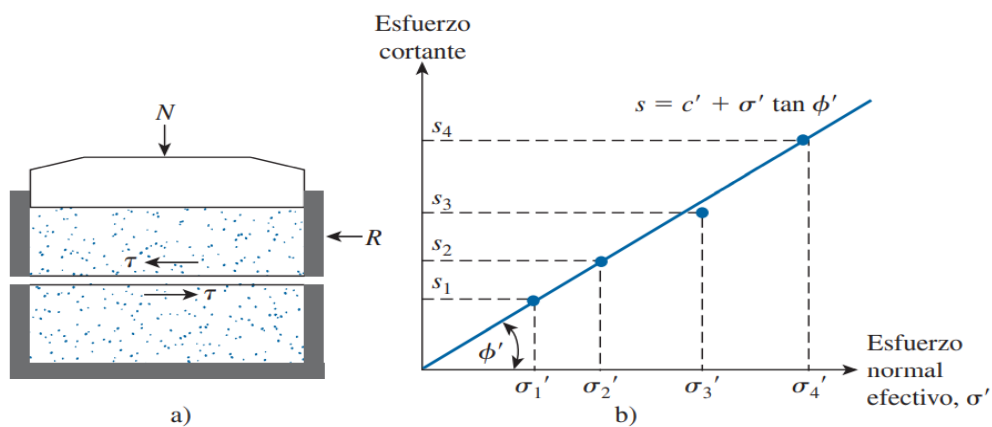


Figura 5: Prueba de corte directo
Fuente: Das (2012)

4.8. Factores Geotécnicos

Los factores geológicos, hidrogeológicos y de geingeniería se consideran factores de coordinación y son la esencia de los materiales naturales. Para formaciones rocosas competentes, el principal factor de mitigación es la composición geológica. Disposición superficial discontinua y frecuencia, y grado de falla. Para materiales blandos como la pizarra y el esquisto, la litología y el grado de cambio también juegan un papel importante. (González de Vallejo et. al, 2002)



4.9. Hidrología

La hidrología es la encargada de estudiar la distribución del agua que se encuentra presente en todo el planeta tierra, sus propiedades y físicas y químicas. La hidrología puede definirse como aquella ciencia que es capaz de estudiar la distribución y movimientos del agua en el medio natural de los continentes. (Giai, 2008)

La hidrología se define generalmente como una ciencia relacionada con el estudio del ciclo del agua. Dado que la hidrología está relacionada con el estudio de los fenómenos naturales, los métodos utilizados por la hidrología no pueden ser rigurosos y corresponde al ingeniero tomar decisiones específicas. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la aplicación de las medidas cautelares es universal, por lo que estas imprecisiones de predictibilidad no se dan únicamente en hidrología, sino que son comunes a todas las áreas de la ingeniería. (Wendor, 1989)

4.9.1. Hidrogeología

La hidrología geológica, o hidrogeología, es una rama de la hidrología que se ocupa de las aguas subterráneas. Estos son el 49% del agua del continente y son muy comúnmente considerados "flujos subterráneos", absorbiendo el movimiento de los sedimentos y sus ríos. (Giai, 2008)

Por otra parte, González de Vallejo et. al (2002) nos mencionan que, la evaluación de parámetros hidrogeológicos como la permeabilidad, la porosidad y el factor de retención es una de las tareas básicas de la investigación hidrogeológica. Estos parámetros son la base para calcular la capacidad de drenaje, la infiltración, la velocidad de bombeo, el tiempo de tránsito de las sustancias transportadas por las aguas subterráneas, etc.

4.9.2. Nivel Freático

De acuerdo con Coras (2006), el nivel freático o también conocido como capa freática esta denominada como los puntos en la superficie en los cuales la presión del agua y la presión atmosférica son los mismos, este posee un relieve más suavizado que el de la superficie el cual puede llegar surgir en la parte exterior como agua libre.

Por lo tanto, las fuentes de agua más importantes que pueden producir la recarga de las aguas subterráneas son la lluvia, el riego y la escorrentía de las aguas subterráneas. A medida que disminuye la evapotranspiración, la precipitación excesiva eleva el nivel freático.

4.9.3. Permeabilidad



Según el autor Ordoñez (2011), la permeabilidad del material es la capacidad de un fluido (en este caso, agua) para pasar. Si el material es poroso y sus poros son grandes y están conectados, el material será más permeable

Por consiguiente, si el material tiene muchos espacios abiertos o en si muchos poros, el material no tendrá la capacidad de retener un fluido, por el contrario si estos espacios son muy cerrados o tiene pocos poros el material será capaz de retener el fluido sin que altere su composición.

4.9.4. Factores determinantes y factores activadores

Chacón (2012) manifiesta que, en el análisis espacial realizado al identificar áreas inestables, las condiciones de estabilidad del terreno a menudo se expresan como un determinante o determinante de la estabilidad. Estos elementos incluyen todos los aspectos del entorno físico asociados con la configuración integrada del terreno y pueden ser analizados por los sistemas de información geográfica.

▪ Factores condicionantes

- 1) Litológicos: Presencia de materiales alterados por meteorización, Falta de cohesión de los materiales que componen la roca, Alternancia de estratos de diferente naturaleza.
- 2) Estructurales: Disposición paralela de los planos de estratificación de las rocas respecto de la pendiente, Fallas o Fracturas, plegamientos.
- 3) Climáticos: responsable directo de la erosión, Aporta agua al subsuelo, Alternancia de épocas de sequía-lluvia, Alternancia de épocas de hielo y deshielo.
- 4) Hidrológicos: Aumento de la escorrentía superficial, Estancamiento del agua, Cambios del nivel freático de las aguas subterráneas, Alternancia de estratos de diferente permeabilidad.
- 5) Topográficos: Como parte de los Geomorfológicos.
- 6) Vegetación: Ausencia o escasez de vegetación que sujete el terreno. (Sieron, 2014)

▪ Factores Activadores

- 1) Factores que provocan un mayor estrés: mayor densidad del terreno con mayor humedad, cargas externas añadidas por la edificación, mayor pendiente por erosión natural o excavación, y aplicación de cargas periódicas por explosiones o terremotos.
- 2) Causas de la degradación del suelo: aumento de las condiciones del agua, aumento de la presión intersticial, cargas o explosiones periódicas, efectos glaciares y de deshielo, pérdida de material cementicio, meteorización, tixotropía o remodelación telepática de la arcilla, etc.

4.10. Movimiento de ladera



Chacón (2012) nos menciona que el movimiento se produce a través de procesos de meteorización físicos y químicos que afectan a un gran número de partículas y producen procesos de erosión que forman patrones bajo la influencia del calor, la lluvia y los cambios de viento.

El proceso de pendiente también se conoce como proceso de gravedad, proceso de movimiento de masa o, en un sentido general, proceso de deslizamiento de tierra. Estos se refieren principalmente al desacuerdo en agrupar diferentes tipos de procesamiento bajo el término deslizamiento de tierra (traducido como deslizamiento de tierra). (Alcantara Ayala, 1999)

Desde un punto de vista mecánico, los tres tipos básicos de movimiento de caída, deslizamiento y flujo son los dos primeros relacionados con la fractura del suelo en un campo de acción frágil y el segundo tercio relacionado con el flujo relacionado con la deformación de cada uno. Se da prioridad al desarrollo en la región plástica o viscosa. Caerse y resbalarse son diferentes. Esto se debe a que existe un quiebre (generalmente un fragmento) que delimita un bloque de cualquier tamaño, seguido de un camino libre desde el origen hasta el punto de reposo, y en el segundo se produce el desplazamiento sobre un plano o una superficie cilíndrica. (Chacón, 2012).

La Figura 6 muestra un Esquema de clasificación de movimientos de ladera de los tipos existentes.



Figura 6: Clasificación de movimientos de ladera
Fuente: Chacón (2012)

4.10.1. Talud o ladera



Según Suárez Díaz (1998) un talud o ladera es un terreno que no es llano, sino que tiene pendientes y elevaciones muy diferentes. Las laderas que han sido estables durante muchos años pueden sufrir daños inesperados por cambios topográficos, terremotos, corrientes de agua subterránea, cambios en la resistencia del suelo, la intemperie, factores humanos o naturales. Estabilidad natural.

La Figura 7 indica las partes con su respectiva denominación de los taludes o laderas.

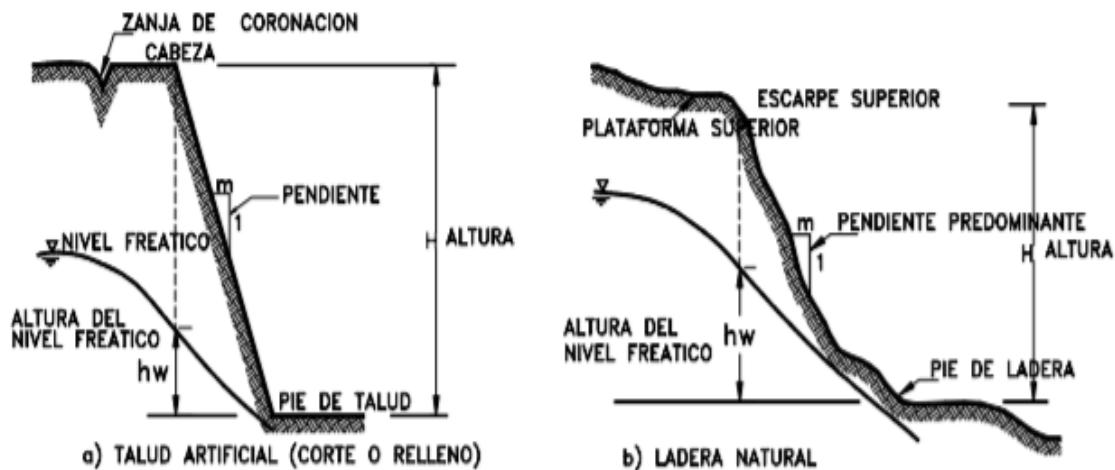


Figura 7: Nomenclatura de Taludes y laderas
Fuente: Suárez Díaz (1998)

Según Suárez Díaz (1998) en el talud o ladera se definen los siguientes elementos constitutivos:

- **Altura**

Esta es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, que está claramente definida por el terraplén artificial, pero es difícil de cuantificar en pendientes ya que el pie y la cabeza no son características del terreno claramente marcadas.

- **Pie**

Corresponde a la posición donde la pendiente del fondo cambia repentinamente.

- **Cabeza o escarpe**

Se refiere al lugar donde la pendiente de la parte superior cambia repentinamente.

- **Altura de nivel freático**

La distancia vertical entre el pie en la pendiente o el pie en la pendiente y el nivel del agua medido debajo de la cabeza.

- **Pendiente**

Esta es una medida de la pendiente de una o más pendientes. Se puede medir en grados, porcentajes o relaciones $m/1$. Donde m es la distancia horizontal que corresponde a la unidad de distancia vertical. Ejemplo: Pendiente: 45°, 100% o 1H: 1V.



También hay otros factores topográficos que deben determinarse, como la longitud, la convexa (vertical), la curvatura (horizontal) y el área de captación. Estos pueden afectar las propiedades de geoingeniería del talud.

4.10.2. Clasificación

Existen muchas clasificaciones de los procesos de remoción de masa que son el resultado de su complejidad; en general, estas clasificaciones se basan en aspectos como las propiedades morfológicas del movimiento tanto de grietas superficiales como de zonas sedimentarias.

Comenzando con las clasificaciones de Varnes (1978) y Hutchinson (1988), distinguiendo además entre tipos de movimiento y material relacionado.

Para el presente trabajo investigativo se considera la clasificación concerniente a Varnes (1978).

En la tabla 4 se indica la clasificación de los tipos de movimientos en rocas, suelos gruesos y finos.

Tabla 4: Clasificación de los movimientos en maza

| TIPO DE MOVIMIENTO | | | ROCAS | SUELOS INGENIERILES | |
|-----------------------------|--------------|---------------------------|---|--------------------------------------|---|
| | | | | GRUESOS | FINOS |
| Caídas | | | Caída de rocas | Caída de detritos | Caída de tierra |
| Volcamiento | | | Volcamiento de Rocas | Volcamiento de detritos | Volcamiento de tierra |
| Deslizamiento | Rotacional | Traslacional | Hundimiento de rocas | Hundimiento de detritos | Hundimiento de tierra |
| | Traslacional | Heterogeneidad litológica | Deslizamiento de bloques de rocas | Deslizamiento de bloques de detritos | Deslizamiento de bloques de tierra Deslizamiento de tierra |
| Propagación Lateral | | | De rocas | De detritos | De tierras |
| Flujos | | | Flujo de rocas | Flujo de detritos | Flujo de tierras |
| | | | Reptación | | |
| Movimiento Complejos | | | Combinación de dos o más tipos de movimientos | | |

Fuente: Varnes (1978)

4.11. Deslizamiento

Un deslizamiento de tierra es un movimiento hacia abajo de una gran cantidad de tierra, escombros o rocas que se produce en una superficie dañada reconocible. La superficie de fractura determina el tipo de deslizamiento, como una superficie curva, cóncava o en forma de cuchara asociada a un deslizamiento giratorio, una superficie de fractura semiplana u



ondulada con traslación y una superficie plana con un deslizamiento plano. (Alcantara Ayala, 1999)

Por lo cual los deslizamientos de gran escala, que pueden ser de suelo o roca, ocurren con mucha frecuencia debido a la inestabilidad de los materiales y la presencia de factores físicos que los destruyen. Estos movimientos son de tamaño. Especialmente cuando hay ciudades, edificios, carreteras, cauces de ríos, etc. dentro de los límites.

Según Suárez Díaz (1998) los procesos geotécnicos dinámicos de los taludes y laderas generalmente corresponden al movimiento hacia abajo y hacia afuera de los materiales que forman la roca natural, el suelo, el talud de relleno o una combinación de los mismos. El movimiento generalmente ocurre a lo largo del plano de falla debido a caída libre, movimiento masivo, erosión o flujo. Algunas secciones de elevación o pendiente pueden subir, mientras que otras pueden caer.

Nomenclatura de un deslizamiento:

- **Escarpe principal**

Esto corresponde a una superficie con una fuerte pendiente a lo largo del perímetro de la zona de movimiento a medida que el material se aleja del terreno original. Cuando la superficie del deflector sigue al material, se forma una superficie rota.

- **Escarpe secundario**

Una superficie muy inclinada es creada por un nivel diferente de movimiento.

- **Cabeza**

La parte superior del material se mueve a lo largo del contacto entre el material reelaborado y el cuerpo.

- **Cima**

El punto más alto del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.

- **Corona**

El material se encontró allí y estaba esencialmente intacto, adyacente a la parte más alta del acantilado principal.

- **Superficie de falla**

Esto corresponde al área en movimiento que separa la masa de la sustancia en movimiento. La masa de suelo debajo de la superficie dañada no se mueve.

- **Pie de la superficie de falla**

La unión (algunas veces tapada) entre la parte inferior de la superficie dañada y el tablero original.

- **Base**



El área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.

- **Punta o uña**

El punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima.

- **Costado o flanco**

Un lado (perfil lateral) del movimiento.

- **Superficie original del terreno**

La superficie que existía antes de que se presentara el movimiento.

- **Derecha e izquierda**

Al describir deslizamientos de tierra, es mejor usar la orientación geográfica, pero cuando usa los términos derecha e izquierda, debe referirse al deslizamiento de tierra visto desde arriba hasta sus pies.

En la figura 8 muestra las partes y sus respectivas denominaciones pertenecientes a un deslizamiento.

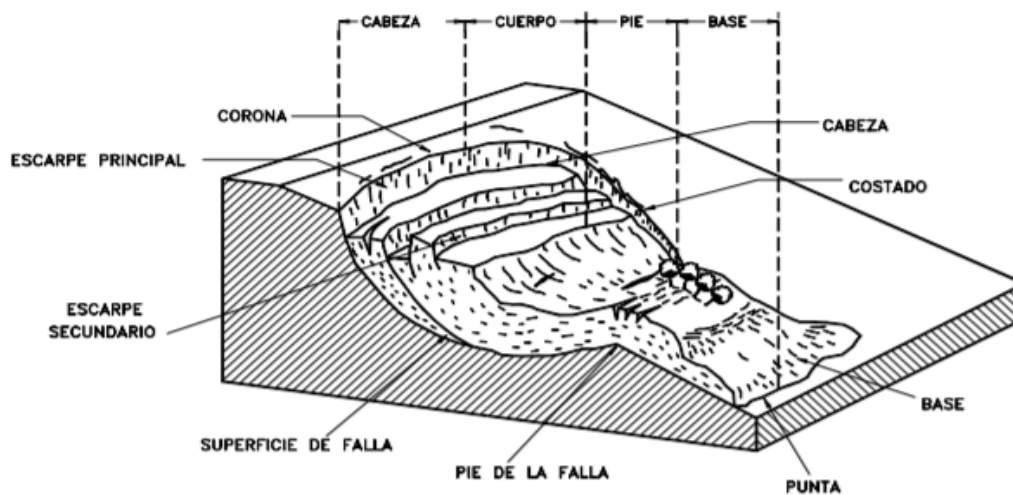


Figura 8: Nomenclatura de un deslizamiento.

Fuente: Suárez Díaz (1998)

Suárez Díaz (1998) plantea que los deslizamientos Pueden ser causados por procesos naturales o por desestabilización de masas de tierra bajo la influencia de cortes, terraplenes, deforestación, etc.

Los deslizamientos se pueden a su vez dividir en dos subtipos denominados deslizamientos rotacionales y traslacionales o planares. Esta diferenciación es importante porque puede definir el sistema de análisis y estabilización a emplearse.

4.11.1. Deslizamiento Rotacional

Suárez Díaz (1998) En un deslizamiento rotacional, el plano de falla está formado por una curva cuyo centro de rotación está por encima del centro de gravedad del dispositivo



móvil. Este movimiento crea un fregadero superior y un tobogán inferior, por lo general crea un flujo de material debajo de la cabeza.

La Figura 9 demuestra el tipo de deslizamiento típico en relación al movimiento de las masas de tierra y la orientación de los árboles

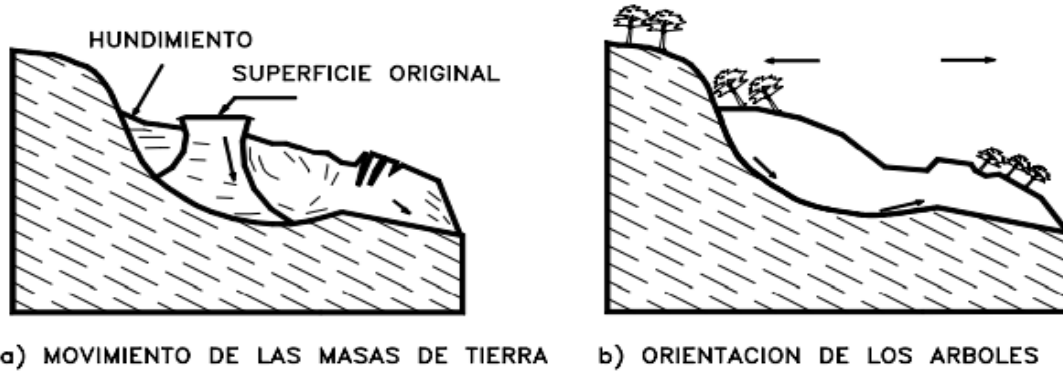


Figura 9: Deslizamiento Rotacional Típico.
Fuente: Suárez Díaz (1998)

4.11.2. Deslizamiento de traslación

Para deslizamientos de traslación, movimiento de masa hacia afuera o hacia abajo con poco o ningún movimiento de rotación o volteo a lo largo de una superficie casi plana o ligeramente ondulada.

La Figura 10 enseña un tipo específico de deslizamiento de traslación hacia afuera o hacia abajo en la vía Tijuana -Ensenada en México.

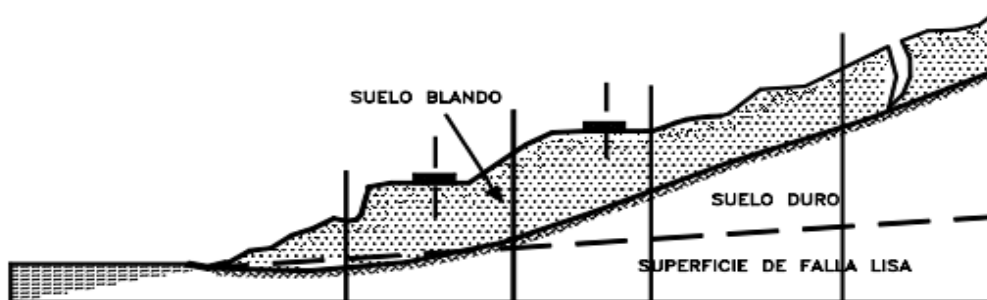


Figura 10: Deslizamiento de traslación en la vía Tijuana -Ensenada en México.
Fuente: Suárez Díaz (1998)

La diferenciación entre los movimientos de rotación y traslación está dada principalmente, en la aplicabilidad como también de los varios sistemas de estabilidad.

4.12. Análisis Geológico geotécnico

4.12.1. Factor de Seguridad

El factor de seguridad que utilizan los ingenieros para determinar los factores de riesgo es que las pendientes no funcionan en las peores condiciones de operación diseñadas.



Fellenius (1927) mostró el factor de seguridad como la relación entre el esfuerzo cortante real calculado del material en el talud y el esfuerzo cortante crítico que intenta causar la fractura a lo largo de la superficie virtual dañada:

$$F. S. = \frac{\text{Resistencia al corte}}{\text{Esfuerzo al cortente}}$$

En superficies circulares donde existe un centro de giro y momentos resistentes y actuantes:

$$F. S. = \frac{\text{Momento resistente}}{\text{Momento Actuante}}$$

En Cambio, Das (2015) resalta que el trabajo de un ingeniero de análisis de estabilidad de taludes es determinar el factor de seguridad. En general, el factor de seguridad se determina de la siguiente manera.:

$$FS_s = \frac{\tau_f}{\tau_d}$$

Donde:

FS_s : factor de seguridad con respecto a la resistencia

τ_f : resistencia media del suelo al corte

τ_d : esfuerzo cortante promedio desarrollado a lo largo de la superficie potencial de falla.

La resistencia cortante de un suelo consta de dos componentes, la cohesión y la fricción, y se expresa como:

$$\tau = c' + \sigma' \tan \varphi'$$

Donde:

c' : cohesión

σ' : ángulo de fricción de drenado

φ' : esfuerzo normal efectivo en la superficie potencial de falla

De una manera similar, también podemos escribir

$$\tau_d = c'_d + \sigma'_d \tan \varphi'_d$$

Donde c'_d y φ'_d son, respectivamente, la cohesión eficaz y el ángulo de fricción que se desarrollan a lo largo de la superficie potencial de falla.

Cuando FS_s es igual a 1, el talud está en un estado de fallo inminente. En general, un valor de 1.5 para el factor de seguridad con respecto a la resistencia es aceptable para el diseño de un talud estable.



4.12.2. Métodos de cálculo de factor de seguridad

Según Mesa, et. al (2021); Hay muchas maneras diferentes de evaluar la estabilidad de taludes; por ejemplo, el equilibrio límite (Fellenius, 1936; Bishop et al.; 1986, Janbú, 1996; Morgenstern N., 1965; Spencer, 1967) el cual básicamente se focaliza sobre el método de dovelas, que divide la masa de suelo en dovelas o segmentos. El análisis de equilibrio límite permite obtener un factor de seguridad que tiene en cuenta los valores de la resistencia al corte a la rotura.

Una vez determinada la resistencia al corte del suelo y las características geométricas del talud, se puede calcular el factor de seguridad (FS).

4.12.3. Tipos de Rupturas

A continuación, en la siguiente tabla se describen los diferentes modos de rupturas:

La tabla 5 indica los diferentes modos de ruptura en que se da el macizo.

Tabla 5: Métodos de ruptura en Macizos Rocosos con Discontinuidades

| Modo | Descripción | Comentarios |
|----------------------------|---|--|
| Plana | Ocurre cuando una discontinuidad buza en una dirección cercana a aquella de la cara del talud y la magnitud del buzamiento es mayor al del Angulo de fricción de la discontinuidad. | Es un caso simple, donde para que ocurra la ruptura del plano en los taludes tiene que existir superficies laterales que la liberen, que le permita deslizarse hacia afuera de la cara del talud. |
| De Cuña | Ocurre cuando la orientación de dos discontinuidades resulta en una línea que buza en una dirección cercana a la de la cara del talud, y que el buzamiento de esta línea es significativamente mayor que el ángulo de fricción de las dos paredes de las discontinuidades. | Este tipo de ruptura es peligrosa porque carece de planos de discontinuidades que puedan detenerla como en el caso anterior. |
| Esférica (Circular) | Cuando el material es débil o cuando el macizo rocoso está altamente fracturado por una serie de planos de discontinuidad orientados de forma aleatoria, se puede asemejar la ruptura a una superficie esférica | Cuando el patrón de discontinuidades es aleatorio y no existen familias de discontinuidades definidas. El tratamiento de este tipo se puede abordar por los métodos de equilibrio límite. |
| Volteo Simple | Ocurre cuando la roca es esbelta (de forma tabular) cuando sus discontinuidades buzando hacia adentro de la cara del talud con ángulos casi verticales y cuando las placas de roca reposan sobre una discontinuidad basal que buza hacia afuera de la cara del talud con un ángulo menor al ángulo de fricción interna de esa discontinuidad. | Por lo general requiere de tres familias de discontinuidades, dos orientadas de tal modo que su línea de intersección buza hacia adentro del talud y la otra buza en una semejante dirección que la cara del talud a un ángulo bajo. |
| Volteo Flexión | Ocurre cuando existe una familia de discontinuidades | Por lo general resultan movimientos graduales detrás |



| | | |
|---------------|--|--|
| | espaciadas de forma estrecha y que buza con un ángulo fuerte en ´ contra de la cara del talud. | de la cara del talud a distancias de hasta cinco veces la altura del talud. |
| Caídas | <p>Ocurre cuando rocas de diferentes tamaños y formas caen libremente cuando se desprenden de un talud casi vertical. El movimiento de la roca incluye rebote, rotación, deslizamiento y fragmentación.</p> <p>El desprendimiento de fragmentos pequeños de roca desde la cara del talud se conoce con el nombre de ravelling.</p> | <p>Este problema se predice con trayectorias de caídas de aquellas rocas inestables, que permite el diseño de obras de protección.</p> |

Fuente: Suárez (2016)



5. Metodología

5.1. Área de estudio

5.1.1. Ubicación geográfica

El área de estudio se encuentra en el barrio Pindo Alto, parroquia Lucero, cantón Calvas, provincia de Loja, en el km 25 vía Cariamanga-Quilanga. El deslizamiento de interés tiene un área de 0.7 ha, sin embargo, se consideró un área de 9 ha para la evaluación del sitio.

En la figura 11 se puede observar la ubicación del deslizamiento en el área de estudio.

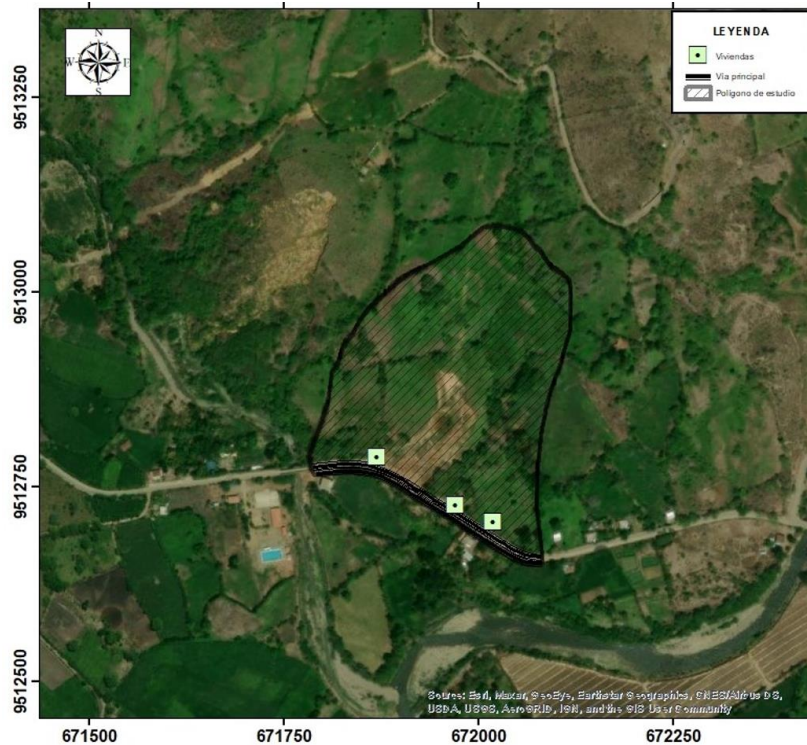


Figura 11: Ubicación geográfica del área de estudio.
Fuente: Google Maps, modificado por Jiménez, A. (2023).

En la tabla 6 están plasmadas las coordenadas en las cuales se encuentra el área de estudio.

Tabla 6: Coordenadas del área de estudio

| PUNTO | X | Y | Z |
|-------|------------|-------------|----------|
| 1 | 672080.987 | 9512652.041 | 1135.849 |
| 2 | 671791.323 | 9512768.308 | 1134.066 |
| 3 | 672016.165 | 9513085.273 | 1202.473 |
| 4 | 672116.136 | 9513016.920 | 1205.045 |

5.1.2. Acceso

Para acceder se lo puede hacer por vía aérea, se lo hace desde el Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre de Quito hacia el Aeropuerto Ciudad de Catamayo, luego, recorrer 78 km por el eje vial Catamayo-Gonzanamá y finalmente por la vía Quilanga- El



Lucero. Otra alternativa es por el eje vial Catamayo-Gonzanamá-Cariamanga y seguido recorrer 28 km vía Lucero.

En la figura 12 podemos observar cómo acceder al sector de estudio desde Cariamanga.

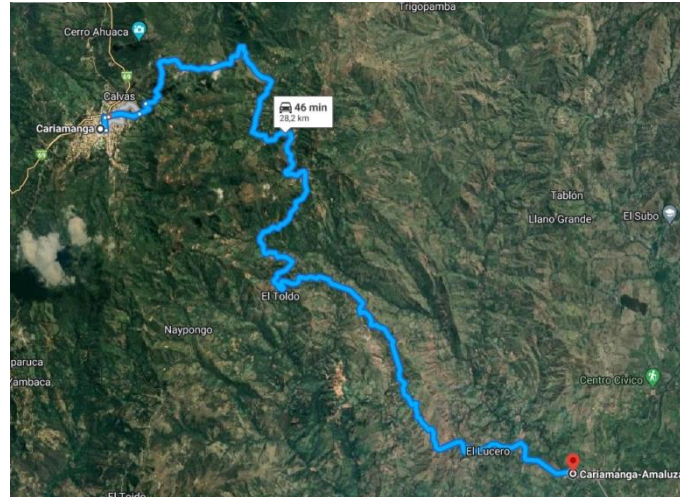


Figura 12: Acceso al área de estudio.

Fuente: Google Maps, modificado por Jiménez, A. (2023).

5.1.3. Descripción Biofísica del área de estudio

▪ Relieve

En la mayor parte de la parroquia El Lucero, presenta pendientes bien pronunciadas lo que nos hace pensar que la parroquia se encuentra asentada sobre un territorio de forma colinada; por lo tanto, se puede decir que dicho asentamiento humano es muy vulnerable ante cualquier amenaza u evento geológico ya que carece de zonas planas por la misma topografía y relieve que presenta el sector de estudio.(GADPL, 2019-2023)

▪ Suelos

Hay tipos de suelo correspondientes a la clasificación taxonómica de tipo orden, criterio usado para diferenciar la presencia o ausencia de horizontes de diagnóstico o características que se muestran el grupo dominante de procesos formadores de suelo que se han desarrollado. El orden dominante de la tierra en la parroquia es entisol (Suelos muy pocos evolucionados) el cual ocupa el 80,04% con 7466,30 hectáreas de la superficie total.

En cuanto al uso actual del suelo los estratos agrícolas son los diferentes tipos de suelo presentes en un área, y además tienen diferentes usos: unos para cultivos, otros para uso forestal y otros para ganadería. (GADPL, 2019-2023)



▪ **Factores climáticos**

○ **Precipitaciones**

Las precipitaciones anuales de la parroquia El Lucero son de 1200 a 2000 mm/año, con un promedio de 1600 mm/año, siendo la más representativa aquella que se origina en la parte alta como la microcuenca el chamuscado y la quebrada la mariposa. La influencia de la corriente cálida produce una temporada lluviosa de enero a abril y mayo, con precipitaciones que se caracterizan por ser concentradas y de alta intensidad, en este periodo se presentan las consecuencias del fenómeno del niño, que en determinados años causa lluvias torrenciales, como el ocurrido en 1983 y 1998 y en otros sequías (fenómeno de la niña, 1970); en el resto del año prevalece la corriente fría de Humboldt que produce una larga época seca de mayo-junio a diciembre, con lluvias en octubre. (GADPL, 2019-2023)

Tabla 7 Precipitaciones en mm, periodo 2010-2017

| Estación | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | Anual |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|------|-----|-----|-----|-----|------|-------|-------|-------|
| Caría | | | | | | | | | | | | | |
| Manga (mm) | 203.4 | 176.7 | 172.2 | 148.6 | 42.4 | 6.2 | 5.6 | 0.9 | 9.4 | 47.7 | 94.5 | 95.1 | 1002 |
| El Lucero (mm) | 215.8 | 193.2 | 184.6 | 158.6 | 63.2 | 7.7 | 5.7 | 0.9 | 9.3 | 28.3 | 102.5 | 136.7 | 1106 |

Fuente: (GADPL, 2019-2023)

○ **Temperatura**

La diferencia de temperatura a nivel de toda la parroquia es mínima, la porción medida en la parte superior, que se encuentra con los barrios de El Arrayán y Naypongo la temperatura promedio es de 18°C, la parte media entre El Tablon y Santa Anna la temperatura es de 20°C y finalmente en la parte baja la temperatura promedio es de 22°C. (GADPL, 2019-2023)

▪ **Agua**

○ **Red hidrográfica**

El sistema de agua de la parroquia contiene varias quebradas las cuales depositan las aguas en el cauce del río Pindo, las cuales indican el límite entre Calvas y Espíndola.

Los principales cursos de agua son: El Tablón, Arrayán, San Carlos y San Vicente, la Paccha, Grande, Cosa, Quisanga, San Joaquín, Piedras Negras, Bahía Camios, Boquerón, Tongani y Santa Ana. (GADPL, 2019-2023)

○ **Uso del agua**



En la parroquia El Lucero, los fines principales del uso del agua son de fines domésticos, seguido de pozos de agua en el sector agropecuario como también sistemas de riego y solo uno sistemas de riesgo de producción de semilla de pescado (piscicultura). (GADPL, 2019-2023)

5.2. Materiales

Para la ejecución de este proyecto, se utilizó los siguientes equipos y materiales:

| Trabajo | en | campo |
|------------------|-----------|--|
| Martillo | | Fundas herméticas |
| Brújula Brunton | | Barretas, palas, lampas, estacas, machetes |
| Libreta de campo | | Hoja Geológica Las Aradas, escala |
| Cinta métrica | | 1:100.000 |

Cámara fotográfica

Equipos

Equipo de SPT

Equipo de Resistivímetro marca ABEM modelo Terrameter SAS 4000

Software

Civil 3D

ArcGIS

Slide.



5.3. Métodos

Los métodos aplicados permitieron la planificación ordenada y la realización de los procedimientos adecuados para la correcta ejecución del estudio planteado, mismos que se explican a continuación.

▪ Método deductivo

Se utilizó este método ya que, según González (2020) el mismo es un tipo de razonamiento lógico, el cual su propósito es sacar conclusiones lógicas de un conjunto de premisas; en definitiva, se deduce para llegar a una conclusión verdadera; lo cual nos ayudó para tanto en la topografía, pendientes y en la geología.

▪ Método analítico

Según Orellana Nirian (2020), este método trata de clasificar el todo descomponiéndolo en sus partes para así observar sus causas, propiedades y consecuencias. Se utilizan para diagnosticar problemas y formular hipótesis que permitan resolverlos. Todo esto con el fin de encontrar el punto de inflexión y/o los factores que interfieren y generan sesgos en el proceso. Lo cual fue transcendental también en la parte de la geología en la toma y análisis de las muestras en la geología, como también en la recolección de datos de la topografía.

▪ Método Bibliográfico

Po su parte Estudio General (2017), señala que el método biográfico compone aquella metodología de investigación de tipo cualitativa, lo cual conlleva hacer uso de toda la información o documentos posibles sobre la investigación en curso, para así conocer y analizar la percepción de la realidad social del sujeto en investigación, aplicándolo en la geología regional y clasificación de pendientes.

5.4. Procedimiento

5.4.1. Metodología para primer objetivo

“Realizar el levantamiento Topográfico y Geológico a detalle, a escala 1:100 del deslizamiento ubicado en el barrio Pindo Alto, Parroquia el Lucero, Cantón Calvas, Provincia de Loja”.

El proceso se inició con la revisión y recopilación de información, incluyendo informes técnicos, hojas geológicas, papers, tesis doctorales e imágenes satelitales tanto antiguas como actuales. A continuación, se llevó a cabo una exploración de campo que consistió en la inspección visual del área de estudio. Durante esta fase, se evaluaron las condiciones locales iniciales, las afectaciones en el terreno, la presencia de afloramientos de agua, se caracterizó el tipo de suelo en la superficie y se identificaron cambios bruscos en el



relieve. Esta inspección permitió delimitar el polígono de estudio, teniendo en cuenta tanto las áreas de influencia directa como indirecta del deslizamiento, como se ilustra en la Figura 13, con el propósito de llevar a cabo un análisis exhaustivo.



Figura 13: Toma de puntos, levantamiento topográfico

Posteriormente, se procedió a realizar el levantamiento topográfico utilizando un GPS Diferencial a escala 1:100 para obtener una base de estudio altamente precisa. Se inició tomando un punto de referencia que sirvió como base, como se detalla en la Tabla 8. Se registraron datos durante un periodo de dos horas en este punto y luego se continuó tomando puntos adicionales en forma de zigzag a lo largo de toda el área de interés, como se muestra en la Figura 14. Se colocaron puntos de control estratégicos en áreas donde se observaron cambios significativos en el relieve. Todos los datos recopilados fueron almacenados en el equipo y posteriormente procesados utilizando el software Civil 3D para generar un mapa topográfico a escala 1:100.



Figura 14: Delimitación del polígono de área de estudio
Fuente: Google Earth, modificada por Jiménez, A. (2023).



Tabla 8: Coordenadas del Punto de control.

| PUNTO | X | Y | Z |
|-------|------------|-------------|----------|
| 1 | 671947.443 | 9512838.907 | 1162.639 |

A partir del mapa topográfico, se generó un mapa de pendientes para la zona. Como se muestra en la Figura 15, se siguieron varios pasos de manera cronológica para lograr esto. En el software ArcGIS, se creó un modelo TIN (Red de Triangulación Irregular, en inglés) a partir de las curvas topográficas. Luego, este modelo TIN se convirtió en un raster para generar un Modelo Digital del Terreno (MDT). Con el MDT, se creó el modelo de pendientes utilizando las herramientas de análisis espacial disponibles en el software. Por último, como se describe en la Tabla 9, se realizó una reclasificación de los valores de las pendientes en función de la clasificación propuesta por Demek en 1972.

Tabla 9 Clasificación de Demek

| Término de la pendiente | Categoría (°) |
|-------------------------|---------------|
| Ligeramente Inclinado | 0-5 |
| Fuertemente Inclinado | > 5-15 |
| Muy Inclinado | > 15-35 |
| Empinado | > 35-55 |
| Vertical | > 55 |

Fuente: Demek en 1972.

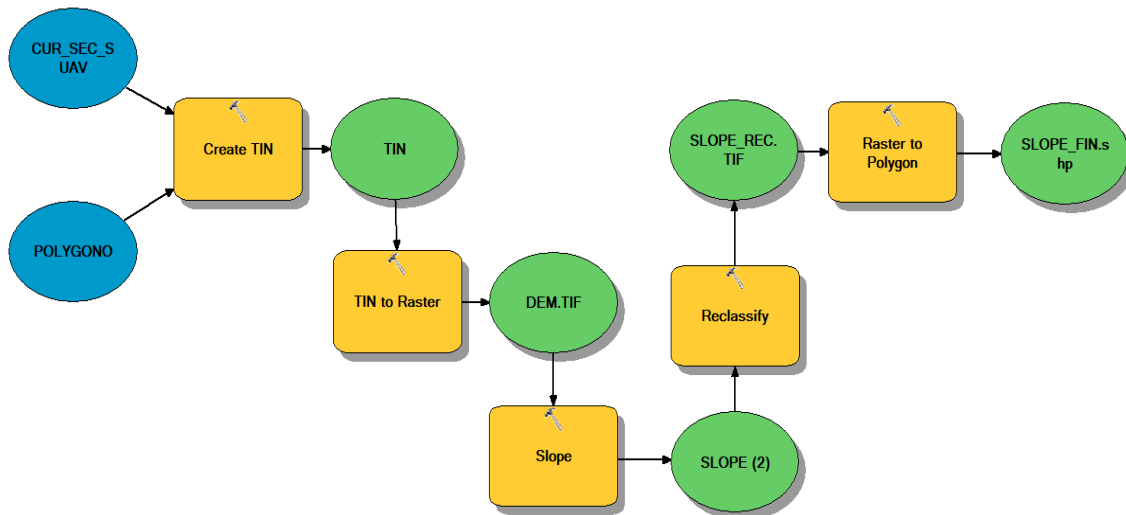


Figura 15: Modelo de Builder, mapa de pendientes

Luego de concluir el levantamiento topográfico en el campo, se procedió a realizar el levantamiento geológico a una escala de 1:100. Esto se logró mediante la descripción de los afloramientos disponibles en el área de estudio, lo que permitió identificar las diferentes litologías presentes, recopilar datos estructurales, determinar las potencias de los y caracterizar los tipos de suelo presentes en la zona. Antes de llevar a cabo esta tarea, se diseñó



y elaboró una ficha de campo específica para la recolección de los datos mencionados, como se muestra en la Tabla 10.

En casos donde no se encontraron afloramientos geológicos o la cobertura vegetal dificultó la identificación completa de las formaciones geológicas, se optó por realizar calicatas, un total de seis, con una profundidad de 1.30 metros cada una. Para estos ensayos in situ, se completó una ficha, como se ilustra en la Tabla 11.

Este enfoque integral de levantamiento topográfico y geológico, que incluyó la descripción detallada de las litologías, la obtención de datos estructurales y la caracterización de los suelos, proporciona una base sólida para el análisis geológico-geotécnico y la comprensión de las condiciones del terreno en el área de estudio.


Tabla 10: Ficha para descripción de afloramientos

|  FICHAS DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTO | | | |
|--|---|---|--|
| N° Afloramiento: | | Coordenadas De ubicación UTM – DATUM WGS84 | X: |
| Datos Estructurales: | Rumbo: | | Y: |
| | Buzamiento: | | Z: |
| | Potencia: | Relieve: | Llano () Bajo () Colinas () Montañoso () |
| Formación Geológica: | | Descripción Litología: | |
| Estado de Meteorización: | Bajo () Medio () Alto () | Tipo de Afloramiento: | Natural () Antrópico () |
| Tipo de discontinuidad : | Diaclasado () Zona de cisalla () Falla () Estratificación () Foliación () | | |
| Forma: | Plana () Ondulada () Muy ondulada () | | |
| Rugosidad: | Lisa () Rugosa Muy Rugosa () | | |
| Relleno: | Sin relleno () Con relleno () | | |
| Consistencia del relleno: | Duro () Dureza media () Blanda () | | |
| Tipo de relleno: | Arenoso () Arcilloso () Silicatos () Arcilloso expansivo () Arcilloso reno () | | |
| Grado de meteorización: | Rocas Sana () Algo Meteorizada () Moderadamente meteorizada () Altamente meteorizada () Completamente meteorizada () | | |
| Plasticidad: | Elasticidad: | Color: | Textura: |
| Tamaño de Clastos: | | Forma de Clastos: | |
| Hidrogeología: | Seco () Húmedo () Goteos () Flujo () Cudal Estimado () | | |
| Vegetación: | Pastos () Bosque () Arbustos () Sin Vegetación () | | |
| Dimension: | | N° de capas: | |
| Fotografía: | | | |



| |
|-----------------------|
| |
| Observaciones: |

Tabla 11: Ficha para descripción de calicatas

|  FICHAS DE DESCRIPCIÓN DE CALICATAS | | | | | |
|---|---------------------|---|----------|------------------------|------------------------------|
| Código de La Calicata: | | Coordenadas: | | | Método de excavación: |
| Responsable: | | X | Y | Z | Fecha: |
| Sector: | | | | | |
| Descripción Litológica: | | Estado de Metereorización: | | | |
| | | Baja () Medio () Alto () | | | |
| Vegetación: | | Hidrogeología: | | | |
| Pastos () Bosque () Arbustos () Sin vegetación () Otro () | | Seco () Húmedo () Goteos () Flujo () Caudal Estimado () | | | |
| Plasticidad: | Elasticidad: | Color: | | Textura: | |
| Forma de Clastos: | 2 – 5 cm | Matriz: Arcillosa | | Nivel Freatico: | |
| Dimensiones | Ancho: | Largo: | | Profundidad: | |
| Fotografía | | | | | |
| Observaciones: | | | | | |
| | | | | | |

Después de recopilar la información de los afloramientos y calicatas y registrarla en las fichas de campo, se procedió a la digitalización de todos los datos en el software ArcGIS. El objetivo de esta etapa era delimitar las diferentes unidades geológicas presentes en la zona de estudio. Para la creación de cortes geológicos, se construyó un perfil topográfico vertical



de interés, que permitió ubicar los puntos de contacto entre las diferentes litologías expuestas. La interpretación de estos perfiles se realizó de acuerdo con el criterio del autor.

5.4.2. Metodología para el segundo objetivo

“Caracterizar las propiedades de los geomateriales y determinar los factores condicionantes y desencadenantes del deslizamiento”.

Para la caracterización geotécnica de los materiales presentes en el área, se realizaron estudios *in situ*, con ensayos con métodos directos como SPT (ensayo de penetración estándar), exploración a cielo abierto (calicatas), y ensayos con métodos indirectos como SEV (sondeos eléctricos verticales).

A continuación, se detalla el procedimiento aplicado para cada uno de los diferentes ensayos expuestos.

▪ SPT

El ensayo es uno de los más usados dentro de la exploración geotécnica, se lo aplicó en dos zonas estratégicas, en la corona y pie del deslizamiento, tal como lo indica la Figura 16.

Se realizó los sondeos con una perforación a percusión en cada metro o cuando haya cambios significativos de estratos. La profundidad de los materiales dependió de la resistencia a la penetración que obtuvieron de un muestreador de acuerdo con el número de golpes necesarios, para realizar tres incrementos en la tubería, de 0.15 m cada uno dentro del metro de perforación, y tomando muestra de cada uno de ellos con la ayuda del tubo partido, tal como lo dicta la norma **ASTM-1586**.



Figura 16: Ubicación de sondeos
Fuente: Google Earth, modificada por Jiménez, A. (2023).



Seguido, con las muestras inalteradas recuperadas de cada metro de perforación, fueron descritas e identificadas en base a la inspección visual y pruebas manuales simples, dictado por la norma **ASTM-D 2488**, luego, se contabilizó el número de golpes por cada incremento de los 0.15 m, donde esa suma se llamaría resistencia a la penetración normal (valor “*N*”) para luego ser guardadas en fundas herméticas para conservar su humedad hasta ser llevadas a los laboratorios correspondientes.

Con los datos del ensayo, se corrigió el número de golpes en cada profundidad de penetración realizada, tomando en cuenta las condiciones y los equipos tomados para la ejecución del SPT.

De los valores del número de golpes corregidos, se estimaron los valores de ángulo de fricción y cohesión, donde se utilizaron distintas ecuaciones propuestas por algunos autores como Muromachi (1974) y Peck (1974).

$$\varphi = 27.1 + 0.30N - 0.00054N^2$$

$$\varphi = 20 + (3.5N^{\frac{1}{2}})$$

Finalmente, cuando las muestras fueron llevadas a los laboratorios, se realizó ensayos de clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de suelos), estandarizado por la norma ASTM. Estas pruebas ayudaron a determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo donde se realizaron los ensayos: granulometría regida por la norma **ASTM-D 422**, contenido de humedad mediante la norma **ASTM-D 2216** y límites de Atterberg con la norma **ASTM-D 4318**.

▪ Exploración a cielo abierto (calicatas)

Se realizó dos calicatas con coordenadas fijadas en la Tabla 12, excavando con una profundidad de 1m, donde se tomó la muestra deseada, tallando un cubo de 0.30m x 0.30m. Inmediatamente, luego de la obtención del cubo, se selló el material con tres capas de parafina para conservar su humedad y protegerlo durante su llegada a los laboratorios.

Tabla 12: Coordenadas de ubicación de calicatas

| PUNTO | X | Y | Z |
|-------|-----------|------------|---------|
| C1 | 671948.00 | 9512894.00 | 1161.00 |
| C2 | 671941.56 | 9512826.60 | 1146.00 |

En los laboratorios DICONS, con la toma de las muestras en cubos, se realizó el ensayo de corte directo mediante la norma **ASTM-D 2487** donde se determinó la resistencia al esfuerzo cortante del suelo. El mismo consistió en medir la fuerza de corte y los desplazamientos horizontales hasta llevar a la rotura a la probeta. De la misma manera, se



realizó ensayos SUCS regido por la norma mencionada anteriormente para los ensayos de las muestras recuperadas de SPT.

▪ **Sondeos eléctricos verticales**

Este método indirecto de estudio se lo realizó con la finalidad de determinar la resistividad de los materiales. Se realizaron tres sondeos con un AB de 200 m, y un AB/2 DE 100 m cada uno, y los MN/2 que varían de los 0.5 m hasta los 10 m, como se indica en el Anexo VIII, la ubicación se indica en las coordenadas de la Tabla 13.

Tabla 13: Coordenadas ubicación SEVS

| PUNTO | X | Y |
|-------|-----------|------------|
| Sev 1 | 671976.62 | 9513081.09 |
| Sev 2 | 671949.42 | 9512924.04 |
| Sev 3 | 671908.64 | 9512756.14 |

Para la aplicación de este ensayo SEV, se utilizó el Resistímetro mencionado anteriormente, donde utiliza un voltaje máximo de salida a los electrodos de corriente igual a 4000 voltios. Los datos se calcularon automáticamente por el equipo y se visualizan en la pantalla en ohmios o miliohmios.

Finalmente, en trabajo de oficina, se procesaron todos los datos registrados en el Resistímetro para obtener la potencia y resistividad de los materiales encontrados en el subsuelo de la zona, para luego ser corroborado y ampliar la información con la geología local descrita en el inicio del trabajo y las encontradas hasta ahora.

▪ **Factores condiciones y desencadenantes del deslizamiento**

Para determinar los factores condicionantes y desencadenantes, se recopiló todos los detalles del estudio geológico y geotécnico realizado, que incluye datos sobre la geología local, observación de las condiciones climáticas, resistencia del suelo y pendientes.

Dentro de la clasificación de los factores condicionantes podemos detallar:

Geología: comprende la geología local, incluyendo el tipo de roca o suelo presente, su estructura y su capacidad de retención de agua. La geomorfología, que estudia las formas de la superficie terrestre, también es esencial para identificar zonas propensas a deslizamientos.

Topografía y pendiente: analiza la topografía local y la pendiente del terreno. Cuanto más pronunciada sea la pendiente, mayor será el riesgo de deslizamientos.

Y como siguiente se detallan los factores desencadenantes:

Precipitaciones: las precipitaciones abundantes, especialmente después de períodos secos, pueden saturar el suelo y desencadenar deslizamientos.



Actividad humana y deforestación: la construcción, la extracción de recursos naturales, la irrigación excesiva y la modificación del paisaje pueden desencadenar deslizamientos.

Cargas dinámicas: agregar peso a una pendiente, ya sea por construcción o por acumulación de material, puede desencadenar deslizamientos.

5.4.3. Metodología para el tercer objetivo

“Definir el Factor de seguridad y tipo al cual pertenece el deslizamiento.”

Para determinar el factor de seguridad del talud de deslizamiento en la zona en cuestión, se empleó el software especializado denominado Slide. En primer lugar, se tomó el perfil topográfico del terreno utilizando el software ArcGIS, el cual se exportó en formato DWG con el fin de completar el diseño del perfil en Civil 3D. Luego, se realizó una segunda exportación en formato DXF, ya que este formato es compatible con el software Slide.

Una vez que se disponía del perfil del talud en Slide, se constató todos los datos del estudio geotécnico, para con ellos, obtener el modelo geotécnico. Finalmente, se aplicaron varios métodos de cálculo del factor de seguridad, entre los que se incluyen el método simplificado de Bishop, el método de Spencer y el método Ordinary/Fellenius. Los resultados obtenidos a través de estos métodos para evaluar la estabilidad del talud se interpretaron cuidadosamente en colaboración con el autor del estudio y la clasificación de factores de seguridad de acuerdo con los valores obtenidos:

Donde:

- $FS < 1$ = Inestable
- $FS 1.0 - 1.5$ = Crítico
- $FS > 1.5$ = Estable.

La metodología propuesta por Varnes (1978) y Hutchinson (1988) para el reconocimiento del tipo de deslizamiento se basa en la observación de cuatro etapas clave en el proceso de un deslizamiento de ladera, que fueron usadas para este proyecto. Estas etapas son:

Etapas de deterioro o antes de la falla: En esta etapa, el suelo o la ladera se encuentran esencialmente intactos, sin evidencia de movimiento o deformación significativa. La escalera aparente estará estable en este punto.

Etapas de falla: En esta etapa, se produce la formación de una superficie de falla o el movimiento significativo de una masa de material. Es el momento en el que la escalera comienza a colapsar o deslizarse. Se pueden observar grietas, desplazamientos o deformaciones visibles.



Etapas post-falla: En esta etapa, la masa involucrada en el intervalo sigue moviéndose desde el momento de la falla inicial hasta el punto en el que se detiene por completo. Pueden seguir ocurriendo movimientos y desplazamientos después de la etapa de falla.

Etapas de posible reactivación: En esta etapa, existe la posibilidad de que ocurran nuevos movimientos que podrían considerarse como una nueva falla. Incluye las tres etapas anteriores, ya que un gradual puede experimentar ciclos de actividad, con períodos de inactividad seguidos de reactivación.

En la Tabla 14 se detalla la clasificación de Varnes (1978), luego de cumplir las etapas de observación.

Tabla 14 Clasificación de deslizamientos de ladera

| TIPO DE MOVIMIENTO | ROCAS | | SUELOS INGENIERILES | |
|-----------------------------|----------------------|---------------------------|--|---|
| | | | GRUESOS | FINOS |
| Caídas | Caída de rocas | | Caída de detritos | Caída de tierra |
| Volcamiento | Volcamiento de Rocas | | Volcamiento de detritos | Volcamiento de tierra |
| Deslizamiento | Rotacional | Traslacional | Hundimiento de rocas | Hundimiento de tierra |
| | Traslacional | Heterogeneidad litológica | Deslizamiento de bloques de rocas | Deslizamiento de bloques de tierra Deslizamiento de tierra |
| Propagación Lateral | De rocas | | De detritos | De tierras |
| Flujos | Flujo de rocas | | Flujo de detritos | Flujo de tierras |
| Movimiento Complejos | | | Reptación Combinación de dos o más tipos de movimientos | |

Fuente: Varnes, (1978).



6. Resultados

6.1. Topografía

La topografía se la realizó a partir de puntos tomados en todo el relieve del polígono con el GPS Diferencial. Permitieron generar curvas de nivel cada metro, con una base topográfica a escala 1:100, que forma parte de la metodología planteada.

La zona de estudio exhibe un relieve topográfico variado, caracterizado por altitudes que varían entre 1205 metros sobre el nivel del mar (m s.n.m) y 1130 m s.n.m lo que da como resultado un diferencial altimétrico de 75 m.

Se usó este equipo por las fuertes pendientes, mismas que no permitieron usar la estación total que nos daría un levantamiento topográfico más a detalle, puesto que obstaculizaban la línea de visión directa al prisma reflector con el punto objetivo.

La topografía del terreno se utilizó como base para generar dos perfiles topográficos, como se muestran en las Figuras 17 y 18, que servirán como referencia para la correlación con los perfiles geológicos. El corte A-A' se realizó de manera transversal con orientación de sur a norte, comenzando a una altitud de 1135 m s.n.m y terminando a 1200 m s.n.m, lo que resulta en un desnivel de 65 metros.

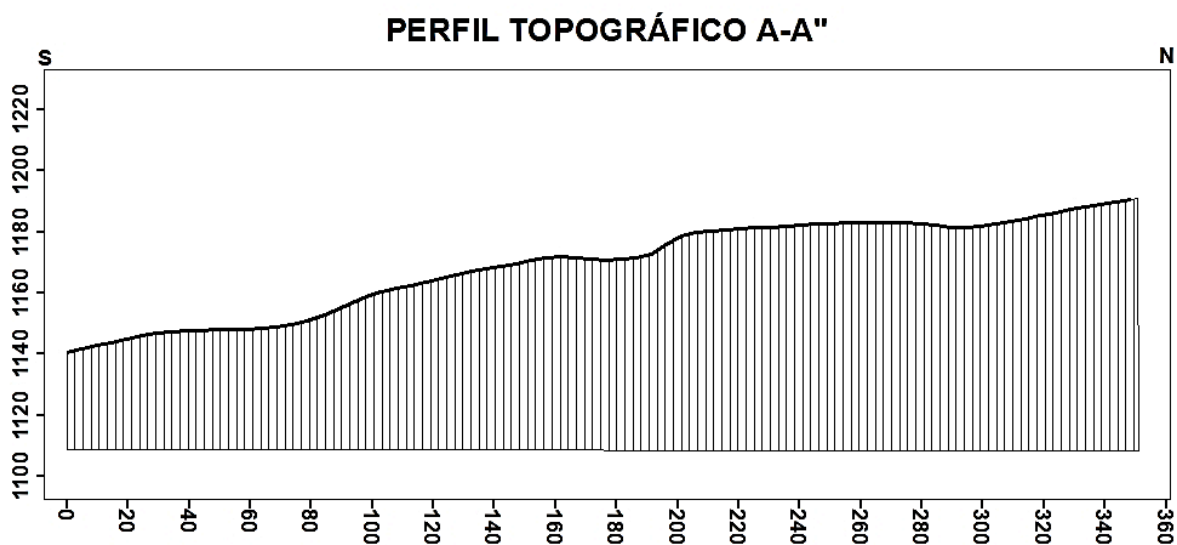


Figura 17 Perfil topográfico, corte A-A''

El perfil B-B'' se lo realizó de manera intersecante al perfil anterior, con orientación oeste-este, comenzando con una altitud de 1140 m s.n.m y finalizando a 1190 m s.n.m, con un desnivel de 50 metros. Es importante destacar que, por sí solo, este desnivel no constituye un factor determinante para un posible deslizamiento.



PERFIL TOPOGRÁFICO B-B"

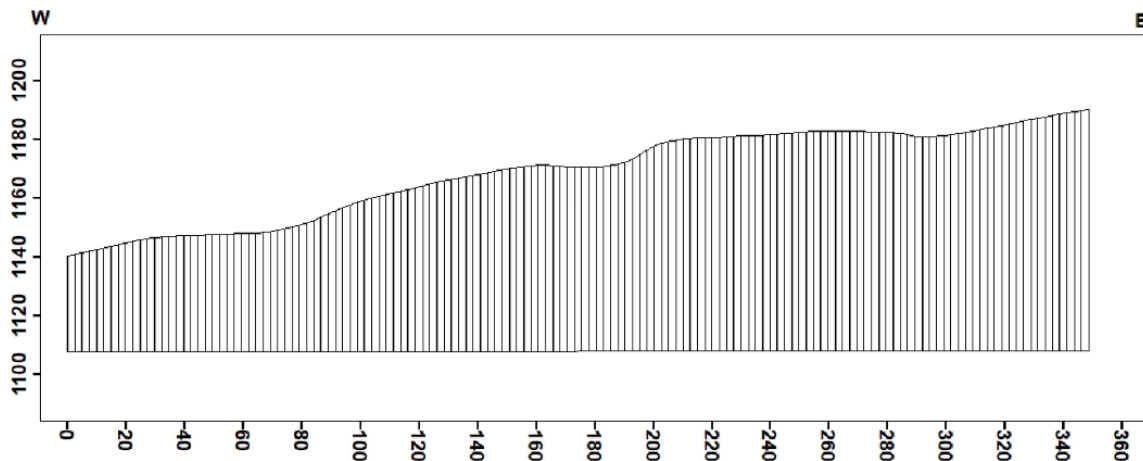


Figura 18 Perfil topográfico, corte B-B"

6.2. Mapa de pendientes

Para clasificar las diferentes alturas que presenta el terreno, se tomó como referencia los valores de clasificación según Demek (1992), en la Tabla x se presenta los resultados.

Tabla 15 Clasificación de Demek

| Término de la pendiente | Categoría (°) | Área (m ²) | Porcentaje (%) |
|-------------------------|---------------|------------------------|----------------|
| Ligeramente Inclinado | 0-5 | 6066.73 | 6.79 |
| Fuertemente Inclinado | > 5-15 | 43931.83 | 49.18 |
| Muy Inclinado | > 15-35 | 38487.59 | 43.08 |
| Empinado | > 35-55 | 804.47 | 0.90 |
| Vertical | > 55 | 42.04 | 0.05 |

En el mapa de pendientes que se ha elaborado (consultar Anexo III), es evidente que la zona está caracterizada en su mayor parte por la presencia de pendientes fuertemente inclinadas (5°-15°) con un 49.18% y cubre un área de 43931.83 m²; seguido, muy inclinado (15°-35°) con el 43.08%, cubre un área de 38487.59 m²; ligeramente inclinado (0°-5°) con el 6.79% y un área de 6066.73 m²; pendiente empinada (35°-55°) con el 0.90% y área de 804.47 m² y por último, pendiente vertical mayor a 55° con el 0.05% y área de 42.04 m². Las pendientes predominantes se concentran principalmente en la parte central de la zona y son las características predominantes en el relieve.



6.3. Geología

Se describe la geología regional que sirvió como base para el estudio de la zona de interés, detallando las principales formaciones de la zona, siendo como referencia principal la Hoja geológica de Las Aradas a escala 1:100000, realizada en el año 2017, puesto que se ubica en el Sur de la provincia de Loja, cerca de la frontera con Perú.

6.3.1. Geología Regional

En las estribaciones occidentales de la cordillera Real, el contraste morfológico está marcado por depósitos volcano-sedimentarios continentales que descansan sobre intrusiones y el basamento metamórfico.

En la zona oriental, donde se ubica específicamente el sector, se encuentran las rocas volcánicas del Paleoceno, Oligoceno y Plioceno se subdividen en cuatro unidades: Changaimina, Río Guayucu, El Ingenio y El Carmen del Laurel. Estas rocas volcánicas descansan posiblemente de manera discordante sobre la Unidad Punta de Piedra.

El principal rasgo estructural está marcado por el sistema de fallas Las Aradas, presenta una dirección preferencial NNE-SSO, con dinámica transcurrentes dextral e inversa, con buzamientos fuertes al E.

Depósito Aluvial. - se encuentran en las áreas cercanas a los ríos principales, como el Pindo, Chiriyacú y Aguacola, entre otros. Estos depósitos son relativamente jóvenes y están compuestos principalmente por cantos rodados y bloques que varían de subredondeados a redondeados. También contienen gravas, arenas finas y limos. Estos materiales se forman debido al proceso de transporte y sedimentación del material clástico por acción del agua.

Unidad El Ingenio. – esta unidad geológica está definida por la distinción de tobas dacíticas y riolitas que previamente se incluían en la Formación Sacapalca. Se caracteriza por estar compuesta por volcanosedimentos, que pueden ser estratificados o no estratificados, tobas líticas, brechas volcánicas heterolíticas de color marrón verdoso con fragmentos volcánicos y metamórficos.

En ciertas áreas locales, también se encuentran areniscas. Algunos afloramientos de esta unidad muestran signos de alteraciones hidrotermales como silicificación, argilitización, propilitización y caolinización. Además, presenta contacto tectónico con las rocas metamórficas a lo largo del sistema de fallas Las Aradas. Su espesor varía de 300 a 400 metros.

Unidad Changaimina. - Esta unidad está compuesta por una variedad de rocas volcánicas, que incluyen lavas de composición andesítica y basáltica, así como brechas volcánicas, aglomerados, tobas andesíticas, brechas piroclásticas e ignimbritas de



composición andesítica. Estas rocas exhiben diversas texturas, como afaníticas, porfiríticas, holohialinas y piroclásticas.

También esta formación dispone de una colada de lavas andesíticas-dacíticas. Las lavas se presentan en una disposición interestratificada, donde las capas de coladas de lava son las más duraderas ante el proceso de erosión, creando así las elevaciones del terreno. Mientras tanto, las tobas, que son depósitos volcánicos compuestos por ceniza y otros fragmentos, tienden a formar las áreas más bajas o depresiones en el paisaje debido a su mayor susceptibilidad a la erosión.

Tiene un espesor de aproximadamente 500 metros en superficie. Se encuentra debajo de la Unidad Río Guayucu de manera discordante y se sugiere la existencia de un contacto tectónico con las rocas metamórficas de la cordillera Real.

6.3.2. Geología Local

Con el propósito de caracterizar la geología en la región afectada por el deslizamiento en el Barrio Pindo Alto, se llevó a cabo un meticuloso levantamiento geológico. Durante este proceso, se recolectó información y datos (Véase Anexo V) que nos permitieron distinguir y clasificar las diferentes litologías expuestas en los afloramientos. El mapa resultante se observa en el Anexo I. Siguiendo la metodología establecida, se efectuó el mapeo de un afloramiento por cada metro cuadrado de la zona afectada. Este enfoque nos brindó una representación precisa y detallada de las características geológicas locales en el área, que se describen a continuación:

- **Depósitos coluviales**

Los depósitos coluviales se ubican principalmente en la parte baja del área afectada por el deslizamiento. Estos depósitos son producto de diferentes procesos erosivos que se forman por la acumulación de partículas, como fragmentos de rocas, grava, arena, limo y arcilla, que han sido transportados y depositados por la acción de la gravedad. El material coluvial suele ser heterogéneo en cuanto a tamaño de partículas y composición, ya que depende de los tipos de rocas presentes en la zona y de la intensidad de la erosión.

En las coordenadas UTM (671882/9512786), se aprecia un notorio afloramiento compuesto fragmentos de roca. Estos materiales están principalmente constituidos por tobas con un grado de meteorización moderado. Su composición mineralógica incluye feldespatos potásicos, plagioclasas, arcillas caoliníticas y limolitas, los cuales se encuentran inmersos en una matriz de naturaleza areno-arcillosa.



En cuanto a las dimensiones de los fragmentos de roca, oscilan entre 10 y 15 centímetros, y destacan por su coloración que tiende hacia tonalidades naranjas, fenómeno atribuible a los procesos de meteorización. (Véase en Figura 19)



Figura 19: Afloramiento 1

Con coordenadas UTM (671886/9512776), se observó un afloramiento geológico en la Figura 20, donde predominan los bloques de tobas líticas. La textura de estas tobas es afanítica, formada por cristales muy pequeños que no son visibles a simple vista. Los bloques en este afloramiento varían en tamaño, oscilando entre los 20-35 cm. La ausencia de estratificación por la inestabilidad de la ladera y la presencia de bloques rodados poco dispersos pueden indicar un proceso de deposición diferente que afectaron a la roca. La roca tiene una coloración grisácea.



Figura 20: Afloramiento 2



Este afloramiento con coordenadas UTM (671904/9512793), es una mezcla de arcilla y arena, enriquecida con una cantidad significativa de materia orgánica. La textura de este suelo es de tipo combinado. La presencia de partículas de arena le confiere una textura granular, mientras que las partículas de arcilla, aunque finas, aportan cierta maleabilidad al suelo. En comparación con los suelos arcillosos puros, estos suelos son menos cohesivos y plásticos, lo que significa que son menos maleables y tienen una mayor capacidad para drenar el agua. A pesar de tener cierta resistencia a la erosión en comparación con suelos más arenosos, estos suelos pueden verse afectados por las condiciones climáticas, lo que ha dado lugar a una coloración amarillenta. (Véase Figura 21).



Figura 21: Afloramiento 3

Este afloramiento se encuentra en las coordenadas UTM (671944/9512817), y se compone de una combinación de materiales rodados, como bloques, cantos y gravas. Estos materiales están incrustados en una matriz arenosa arcillosa. Los fragmentos de roca son tobos de origen volcánico, con una textura afanítica que dificulta la inspección visual a simple vista. Los tamaños de los materiales varían, desde 2 cm hasta 35 cm. Los bloques exhiben una tonalidad grisácea, mientras que la matriz muestra un color amarillento.



Figura 22: Afloramiento 4

El afloramiento con coordenadas UTM (671867/9512835), se distingue fragmentos de clastos incrustados en una matriz areno arcillosa rica en materia orgánica. Estos fragmentos provienen de una roca de origen volcánico denominado tobas, con textura afanítica, tamaño de minerales muy pequeños. Su coloración es grisácea, tamaño de clastos entre 2-3 cm, con forma angulosa. (Véase Figura 23).



Figura 23: Afloramiento 6



▪ Unidad El Ingenio

Esta unidad, según la Hoja geológica Las Aradas, escala 1:100000 tomada como referencia, sugiere que se encuentra en las partes altas de la zona de estudio, caracterizado principalmente con sus rocas de origen volcánico. Estas rocas se han formado por fragmentos de roca volcánica y ceniza que ha sido expulsados en erupciones anteriores, que al pasar del tiempo se han ido consolidando en una matriz granular.

Con coordenadas UTM (671911/9512786), se distingue un afloramiento donde indica un contacto entre dos litologías (Figura 23). En la parte superior, sedimentos coluviales deslizados que contienen fragmentos de la roca toba y sedimentos, y, debajo de este, basamento de aglomerado volcánico, con sus clastos son subangulosas mayores a 5 cm, con minerales que se han observado mediante una muestra de mano como cuarzo, feldespatos, minerales de óxido e hidróxido de hierro, micas, entre otros.



Figura 23: Afloramiento 5

En las coordenadas UTM (671861/9512864) el afloramiento geológico presenta tobas de origen volcánico, estratificado y poco consolidado como se ve en la Figura 24. La textura de estas tobas es afanítica, con estructura finamente granulada. Su tamaño no supera los 15 cm entre estratos, con coloración naranja y marrón. Con una muestra de mano obtenida de la zona, se encontraron minerales como feldespatos, cuarzo, y micas, característicos de las tobas volcánicas.



Figura 24: Afloramiento 7

El afloramiento con coordenadas UTM (671950/9512742). Se observa en la parte superior el material coluvial, con sedimentos finos, de tonalidad clara, y bajo de esta, los aglomerados volcánicos. Estos clastos están incrustados en una matriz cementada, con un tamaño superior a los 5 cm, con forma subangulosa redondeada. Mediante una muestra de mano de la roca, se pudo describir macroscópicamente ciertos minerales presentes como cuarzo y micas, corroborando que se trata de rocas volcánicas de la Unidad el Ingenio.



Figura 25: Afloramiento 8

En las coordenadas UTM (671913/9512757) se muestra un notorio afloramiento de aglomerado volcánico, formado por fragmentos de roca volcánica como se observa en la Figura 26. La textura de los aglomerados es heterogénea, con fragmentos angulosos y subangulosos, entendiéndose que los más redondeados han experimentado algún grado de transporte y desgaste. Presentan una matriz cementada que puede contener ceniza volcánica o



arcilla endurecida. Tienen una resistencia moderada a la erosión, por la resistencia de la roca en comparación con rocas más frágiles, dando una coloración amarillenta pálida.



Figura 26: Afloramiento 9

El afloramiento con coordenadas UTM (671988/9512850) se trata de tobas dacíticas, caracterizadas principalmente por su alto contenido de sílice. Tienen una textura finamente granular. Los fragmentos de la roca pueden presentar varios tamaños entre 3-9 cm con forma subangulosa. La coloración de las tobas dacíticas es amarillenta naranja. (Véase Figura 27).



Figura 27: Afloramiento 10



Con coordenadas UTM (671975/9512881) se expone un afloramiento de origen volcánico con tobas líticas, compuestas principalmente por fragmentos de lava o ceniza volcánica, como se observa en la Figura 28. Se encuentran poco consolidadas, por lo que están más susceptibles a la erosión. La tonalidad es naranja. El tamaño de los clastos es variable, entre los 3-7 cm, con forma angulosa y subangulosa. Se pueden observar estratos en las tobas líticas, lo que sugiere la acumulación sucesiva de capas de material durante eventos eruptivos repetidos. Se recogió una muestra de mano para realizar una descripción macroscópica, encontrando minerales como feldespatos, cuarzo y micas, siendo características de los principales minerales de las tobas líticas.

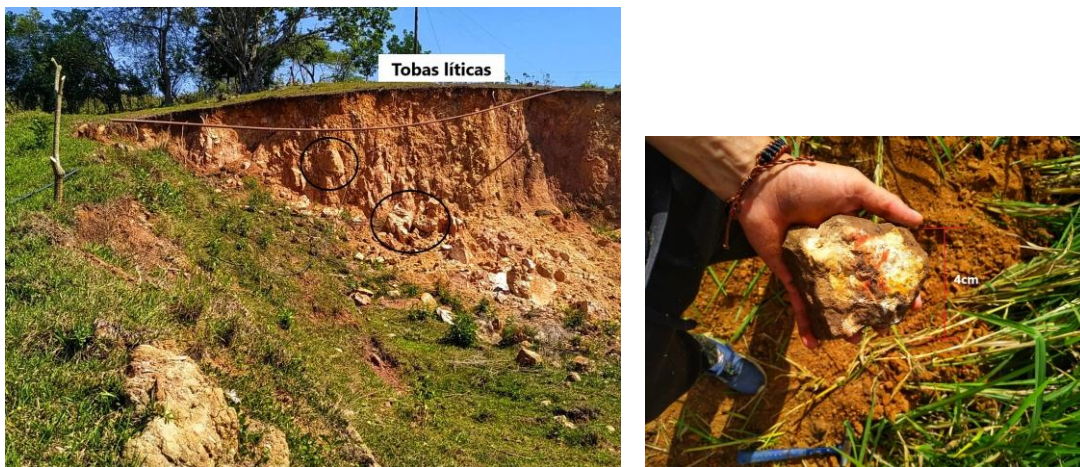


Figura 28: Afloramiento 11.

6.3.3. Estratigrafía

Para llevar a cabo una descripción detallada de la estratigrafía en la zona de estudio, se llevaron a cabo excavaciones en seis calicatas estratégicamente ubicadas. Estas excavaciones se realizaron con el propósito de obtener información valiosa sobre la composición geológica de la región. A continuación, se detallan los resultados obtenidos hasta una profundidad de 1.5 metros, incluyendo datos sobre la litología predominante, coloración, humedad, tamaño de clastos y texturas presentes en las capas geológicas.

▪ Columnas estratigráficas

Calicata 1

En la Figura 29, se muestra la columna estratigráfica correspondiente a la primera calicata realizada en las coordenadas UTM (679708/9512922) tomada de la pared norte, con una profundidad total de 1.5 metros. A continuación, se describen los estratos identificados en esta calicata:



- Primer Estrato (0-0.5 metros):

-Composición: Suelo arcilloso saturado.

-Características: Este estrato presenta un suelo de arcilla saturada con una alta maleabilidad.

-Coloración: Café oscuro.

- Segundo Estrato (0.5-1.5 metros):

-Composición: Matriz no cementada, areno arcillosa.

-Características: En este estrato, se observan fragmentos angulosos de roca volcánica incrustados en una matriz de textura heterogénea. La matriz es una mezcla de arena y arcilla.

Estos estratos descansan sobre el basamento volcánico, lo que sugiere que la zona de estudio está influenciada por procesos geológicos relacionados con la actividad volcánica.

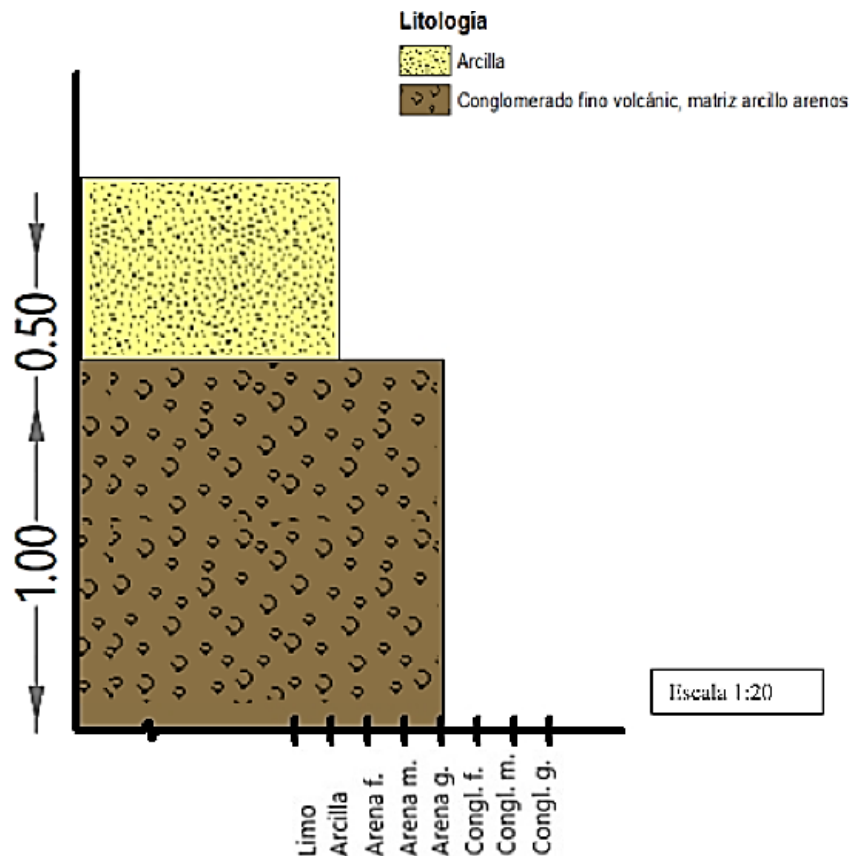


Figura 29: Columna 1, calicata 1

Calicata 2

En la ubicación con coordenadas UTM (671937/9512978), se realizó la segunda calicata con una profundidad de excavación de 1.30 metros con se muestra en la Figura 30 tomada de la pared noroeste. Seguido, se describen los estratos identificados en esta calicata:



- Primer Estrato (0-0.80 metros):

-Composición: Matriz arcillosa con fragmentos de roca volcánica (tobas líticas) inmersos.

-Características: Este estrato está compuesto principalmente por una matriz arcillosa que contiene fragmentos de roca volcánica (tobas líticas) de tamaño variado, con dimensiones de 2-3 cm. Estos fragmentos presentan tonalidades rojizas.

- Segundo Estrato (0.80-1.30 metros):

-Composición: Suelo areno arcilloso.

-Características: En este estrato, prevalece un suelo con una textura granular fina, que consiste en una mezcla de arena y arcilla. Se encuentra saturado y muestra una tonalidad amarillenta.

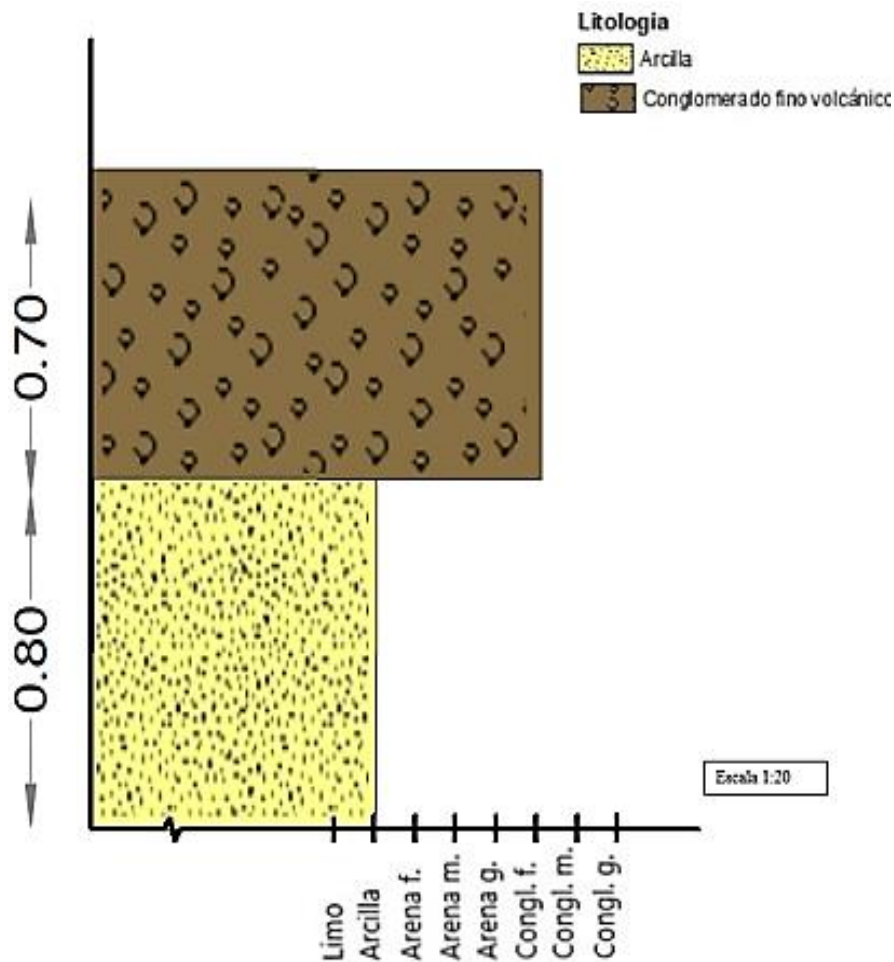


Figura 30: Columna estratigráfica 2, calicata 2



Calicata 3

En las coordenadas UTM (671869/9512923), se llevó a cabo la tercera calicata, con una profundidad de excavación de 1.5 metros. En la Figura 31, se presenta una descripción más precisa de la estratigrafía observada en esta ubicación:

- Primer Estrato (0-0.70 metros):

-Composición: Se compone de una matriz arcillosa con fragmentos de roca volcánica tipo toba incrustados.

-Características: En este estrato, se encuentran fragmentos de toba de forma subangulosa, con dimensiones que oscilan entre 4-6 cm. Estos fragmentos muestran una tonalidad clara y están incrustados en la matriz arcillosa circundante.

- Segundo Estrato (0.70-1.50 metros):

-Composición: Este estrato consiste en un suelo arcilloso saturado.

-Características: En el segundo estrato, se aprecia un suelo saturado con una matriz arcillosa que presenta tonalidades de coloración café rojiza.

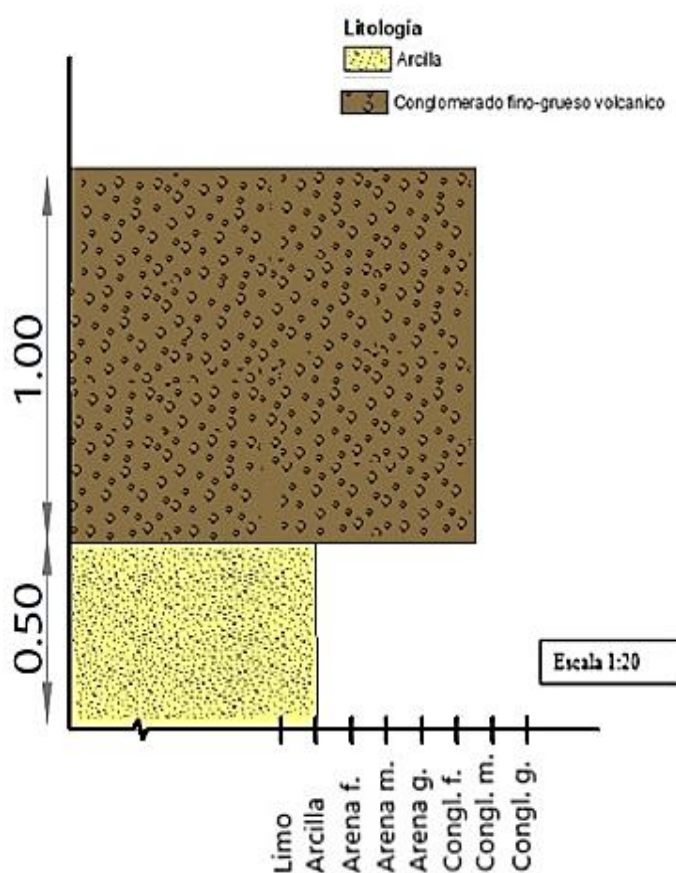


Figura 31: Columna estratigráfica 3, calicata 3.



Calicata 4

En la Figura 32 se presenta la columna estratigráfica correspondiente a la cuarta calicata, ubicada en las coordenadas UTM (672023/9512961) y con una profundidad de excavación de 1.50 metros. Se detalla la estratigrafía observada en esta ubicación:

- Primer Estrato (0-0.70 metros):

-Composición: Este estrato está compuesto por arcilla saturada.

-Características: La arcilla en este estrato muestra una coloración amarilla, alta maleabilidad y plasticidad. Estas propiedades sugieren un contenido significativo de agua en la matriz arcillosa.

La presencia de arcilla saturada en el primer estrato sugiere la influencia de condiciones de alta humedad en ese nivel.

- Segundo Estrato (0.70-1.50 metros):

-Composición: El segundo estrato se compone de fragmentos de roca volcánica inmersos en una matriz arcillo arenosa.

-Características: Los fragmentos de roca volcánica en este estrato tienen tamaños que varían entre 3-4 cm, presentando formas angulosas y subangulosas. La matriz circundante es arcillo arenosa y muestra una coloración naranja.

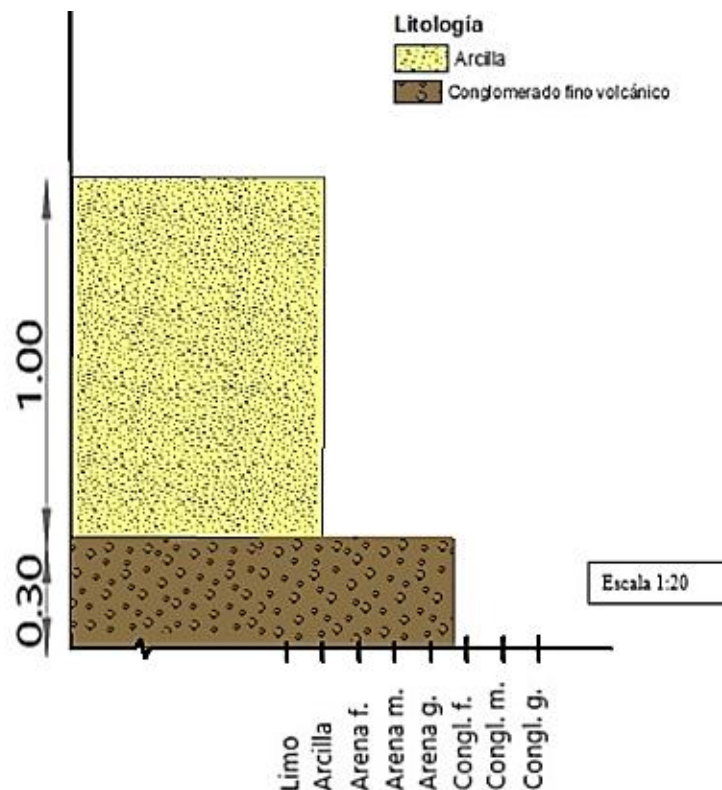


Figura 32: Columna estratigráfica 4, calicata 4.



Calicata 5

En las coordenadas UTM (672072/9512919) se llevó a cabo la quinta calicata, con una profundidad de excavación de 1.30 metros. La Figura 33 detalla la estratigrafía observada en esta ubicación:

- Primer Estrato (0-1.00 metros):

-Composición: Este estrato está compuesto por un suelo arcilloso saturado.

-Características: La arcilla en este estrato presenta una coloración café oscuro y exhibe una alta plasticidad debido a su contenido de humedad significativo. Esto indica una importante presencia de agua en la matriz arcillosa.

- Segundo Estrato (1.00-1.30 metros):

-Composición: El segundo estrato contiene fragmentos de tobas en una matriz arcillosa.

-Características: Los fragmentos de tobas en este estrato tienen tamaños que varían entre 2-3 cm y muestran una forma semiredondeada. Estos fragmentos se encuentran afectados por la erosión y presentan tonalidades naranjas. Están incrustados en una matriz arcillosa circundante.

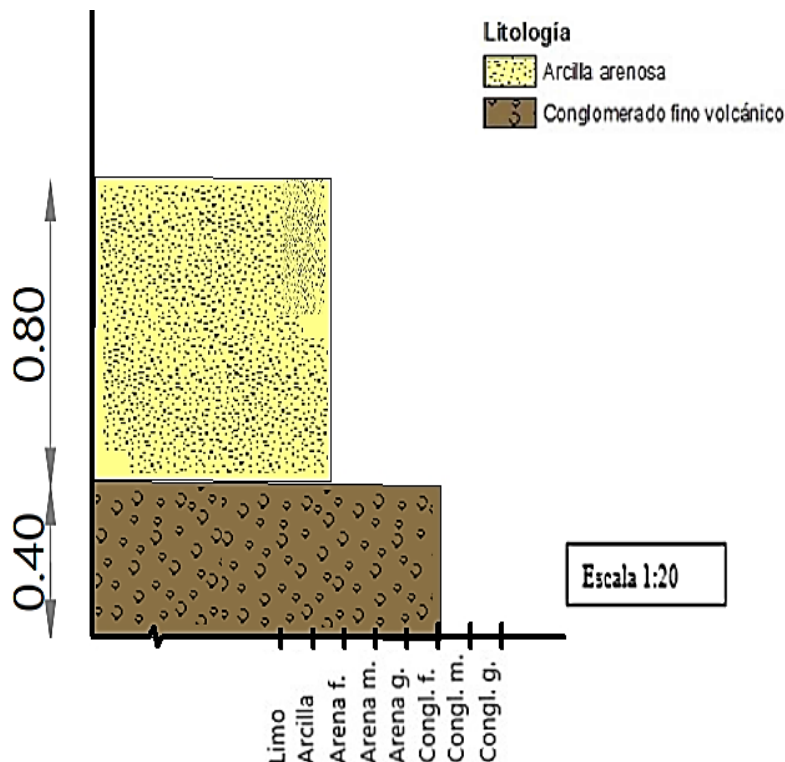


Figura 33: Columna estratigráfica 5, calicata 5.



Calicata 6

En la Figura 34 se presenta la columna estratigráfica correspondiente a la última calicata realizada en las coordenadas UTM (672020/9513042), con una profundidad de excavación de 1.20 metros:

- Primer Estrato (0-1.00 metros):

-Composición: Este estrato está compuesto por un suelo arcilloso arenoso.

-Características: La arcilla en este estrato presenta una coloración naranja y se encuentra afectada por la erosión. El suelo se encuentra húmedo, pero su contenido de arena le confiere una baja plasticidad. Esta textura sugiere una influencia significativa de la erosión y la lixiviación en el estrato.

- Segundo Estrato (1.00-1.20 metros):

-Composición: El segundo estrato contiene fragmentos de toba en una matriz arcillosa.

-Características: Los fragmentos de toba en este estrato tienen tamaños que varían entre 2-4 cm y muestran una forma subangulosa. La matriz arcillosa circundante presenta tonalidades claras amarillas y una ligera erosión.

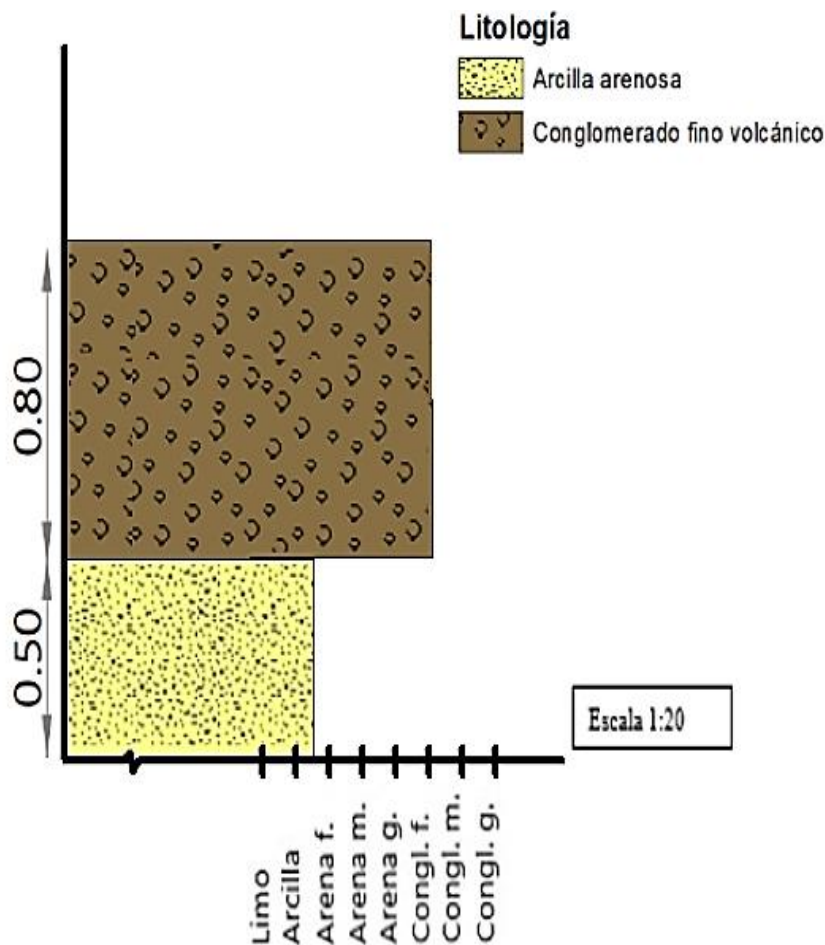


Figura 34: Columna estratigráfica 6, calicata 6.



6.3.4. Secciones geológicas

Una vez, definido el mapa geológico a escala 1:100 (Véase en Anexo I), se realizó dos cortes geológicos: A-A” con sentido SW-NW y B-B” con sentido S-N, con el fin que se permita visualizar la disposición y la secuencia de las unidades geológicas.

En la Figura 35, se observa el perfil A-A”. En la parte Oeste con 250 metros aproximadamente hacia el Este se encuentra el deslizamiento de ladera de material coluvial, compuesto por arenas y arcillas en la parte superficial, tienen una textura granular fina, conglomerados en la parte central y debajo de estos, los cantos y bloques.

Y finalmente, en la parte este, se encuentran las tobas dacíticas de origen volcánico, proveniente de la acumulación de fragmentos de roca y ceniza volcánica que se han cementado al pasar de los años. Todas estas unidades litológicas, están descansando sobre un basamento de aglomerado y brechas de volcánico antiguo.

PERFIL GEOLÓGICO A-A”

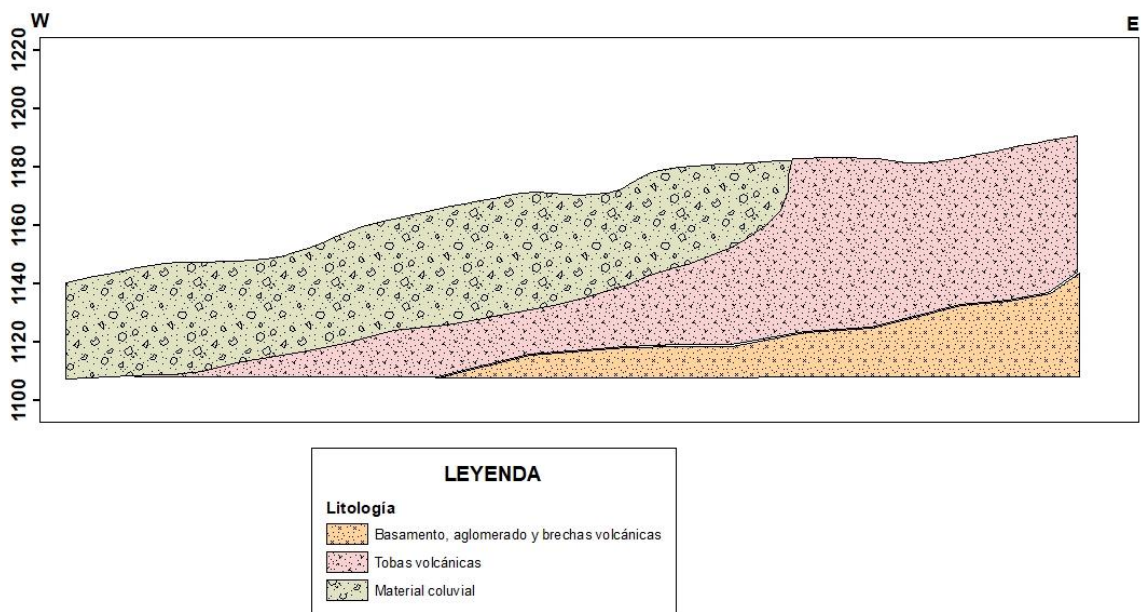


Figura 35: Perfil geológico, corte A-A”.

El perfil B-B” se observa en la Figura 36. Este perfil representa toda la parte sur norte del deslizamiento, y las unidades litológicas que se encuentran más arriba del mismo. Inicia en la parte baja con los materiales coluviales con gran inestabilidad al deslizamiento, las arcillas arenosas, que se encuentran descansando sobre los cantos y bloques. Y en la parte norte, están las tobas líticas, fragmentadas formando pequeños estratos. Esta última unidad litológica, descansa sobre el basamento de aglomerado y brechas volcánicas.

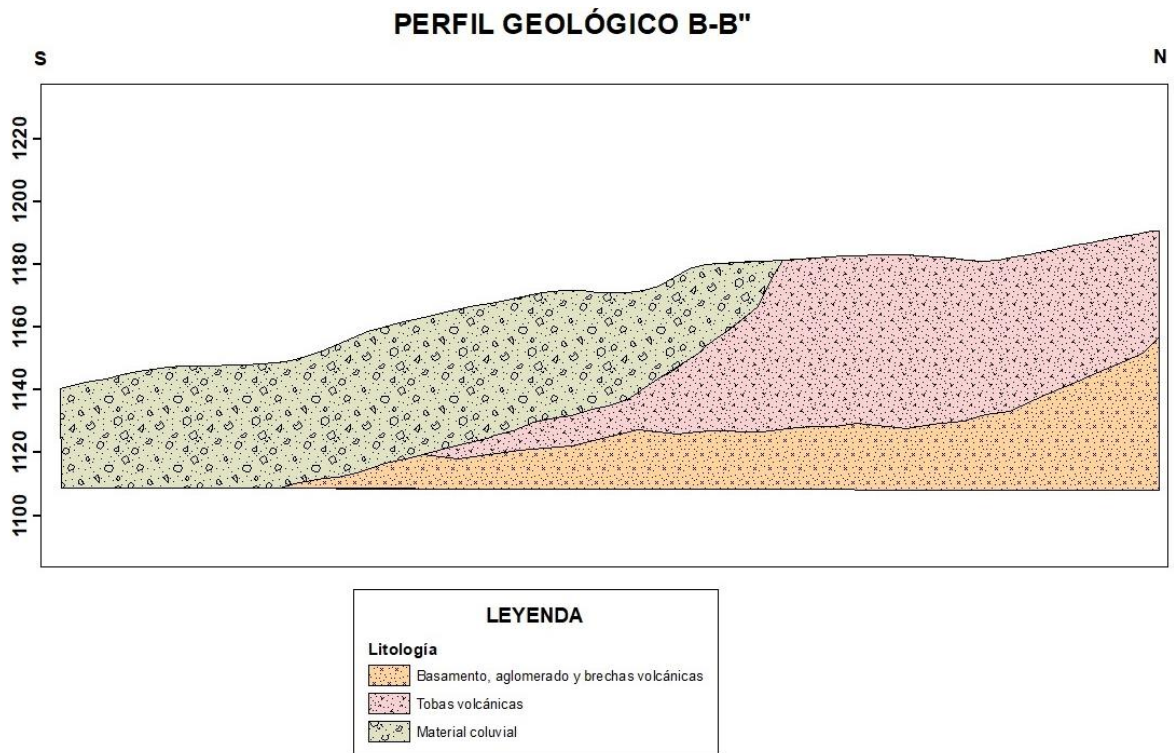


Figura 36: Perfil geológico 37, corte B-B''.

6.4. Ensayo de SPT

Una vez aplicada la metodología explicada en el apartado anterior, se presentan los registros de perforación donde se detalla la profundidad realizada, el número de golpes, la descripción visual detallada en campo, la compacidad, consistencia y la cantidad de humedad de las muestras recuperadas. Ambos sondeos finalizan cuando indican rechazo en el número de golpes bajo el criterio que el número de golpes ha superado el valor de 50 en el segundo y tercer tramo de los 15cm. (Véase Anexo III)

El registro de la primera perforación con coordenadas UTM (671960/9512867) se indica en la Tabla 16, la consistencia varía de blanda a muy dura, la compacidad de suelta a densa, y las tonalidades se tornan rojizas al llegar a los 4m de perforación, en arenas arcillosas, arcillas de alta plasticidad tonalidades amarillentas. No se identifica la presencia de nivel freático hasta la profundidad realizada de 5m.

La segunda perforación con coordenadas UTM (671934/9512777) se registra en la Tabla 17, donde la consistencia varía de muy firme a media, la compacidad de media a suelta, y las tonalidades son café oscuras hasta amarillentas, en una mezcla de arcillas saturadas y sobresaturadas con gravas de clastos de tamaño variado. Se identificó el nivel freático a 3m de



profundidad, producto del riego por aspersión en el sector porque se observó abundante agua también en la superficie.

Tabla 16: Registro de sondeo 1

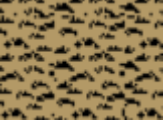
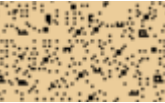
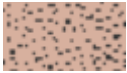


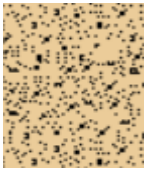
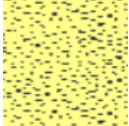
| DESCRIPCIÓN ENSAYO SPT SONDEO 1 | | | | | | | |
|---------------------------------|-------|---|---------|------------|--------------|---|--|
| Prof. (m) | N SPT | Descripción | Humedad | Compacidad | Consistencia | Perfil de estratos | |
| 0.50-1.50 | 4 | Contenido orgánico, tonalidades amarillas | Húmeda | Suelta | Blanda |  | |
| 1.50-2.50 | 3 | Arcilla con pequeños clastos | Húmeda | Muy suelta | Blanda |  | |
| 2.50-3.50 | 16 | Arcilla rojiza | Húmeda | Media | Muy firme |  | |
| 3.50-4.50 | 34 | Arcilla rojiza | Húmeda | Densa | Dura |  | |
| 4.50-5.00 | | RECHAZO | | | | | |

Tabla 17: Registro sondeo 2

| DESCRIPCIÓN ENSAYO SPT SONDEO 2 | | | | | | | |
|---------------------------------|-------|--|---------|------------|--------------|---|--|
| Prof. (m) | N SPT | Descripción | Humedad | Compacidad | Consistencia | Perfil de estratos | |
| 0.50-1.00 | 17 | Tonalidades claras, contenido orgánico | Húmeda | Media | Muy firme |  | |
| 1.00-2.00 | 17 | Tonalidades café oscuras, arcilla con clastos pequeños | Húmeda | Media | Muy firme |  | |
| 2.00-3.00 | 8 | Arcilla sobresaturada, tonalidad amarilla | Húmeda | Suelta | Media |  | |
| 3.50 | | RECHAZO | | | | | |



6.4.1. Ensayos de laboratorio

Se aplicó los ensayos detallados en el apartado de metodología como contenido de humedad, granulometría y límites de Atterberg de acuerdo con el régimen de norma dirigida a propósitos de ingeniería que son objeto del presente estudio, datos detallados en el Anexo III.

La muestra de suelo obtenida, indicada en la Tabla 18, corresponde a un suelo tipo Arena arcillosa con grava SC hasta la profundidad de -1.00m con un 26,47% de índice de plasticidad y 23% de contenido de humedad, en la profundidad de -1.50 a -4.00m el material corresponde a Arcilla alta plasticidad arenosa CH, con un índice de plasticidad que varía de 26.69%, 36.88% y 33.15% respectivamente, y 34%, 33% y 25% de contenido de humedad, en la profundidad de -4.50 a -5.00m el material corresponde a Arena arcillosa SC. Presenta un potencial expansivo de las arcillas Medio.

Tabla 18: Ensayos de laboratorio, Sondeo 1

| Parámetros | Profundidad de perforación Sondeo 1 (m) | | | | |
|--------------------------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 0.50-1.00 | 1.00-2.00 | 2.00-3.00 | 3.00-4.00 | 4.00-5.00 |
| Límite líquido | 53.26 | 54.39 | 64.65 | 62.93 | 66.20 |
| Límite plástico | 26.79 | 27.70 | 27.77 | 29.78 | 30.77 |
| Índice de plasticidad | 26.47 | 26.69 | 36.88 | 33.15 | 35.43 |
| Contenido de humedad (%) | 23.00 | 34.00 | 33.00 | 25.00 | 29.00 |
| % Grava | 27.00 | 4.00 | 2.00 | 7.00 | 0.00 |
| % Arena | 38.00 | 54.00 | 41.00 | 38.00 | 58.00 |
| % Finos | 35.00 | 42.00 | 57.00 | 55.00 | 42.00 |
| Clasificación SUCS | SC | CH | CH | CH | SC |

Seguido se presenta la carta de plasticidad en la Figura 37, donde se ubican los cinco puntos del sondeo 1.

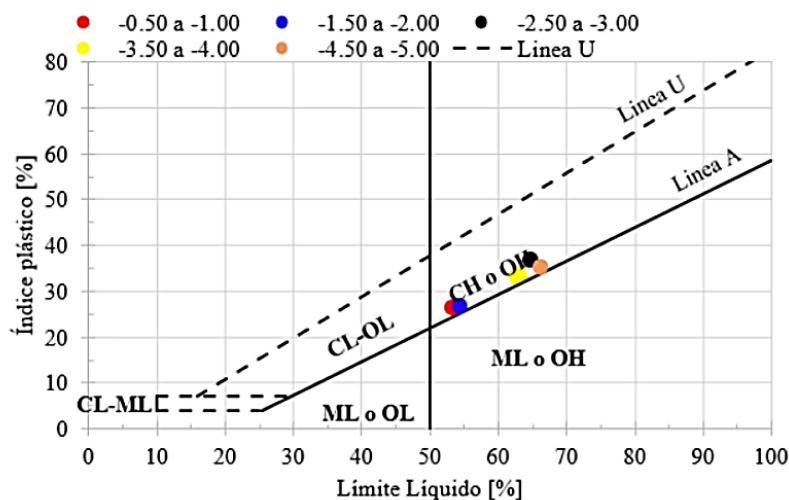


Figura 37: Carta de plasticidad.



La muestra de suelo obtenida, indicada en la Tabla 19, corresponde a un suelo tipo Arena arcillosa SC, con un 0% de índice de plasticidad y 16% de contenido de humedad hasta la profundidad de -1.00 m, en la profundidad de -1.50 a -2.00 m el material corresponde a Arena arcillosa con grava SC, con un 18.70% de índice de plasticidad y 16% de contenido de humedad, en la profundidad de -2.50 a -3.00 m el material corresponde a Arena arcillosa SC, con un 29.45% de índice de plasticidad y 33% de contenido de humedad. Presenta un potencial expansivo de las arcillas nulo.

Tabla 19: Ensayos de laboratorio, Sondeo 2

| Parámetros | Profundidad de perforación Sondeo 2 (m) | | |
|--------------------------|---|-----------|-----------|
| | 0.50-1.00 | 1.50-2.00 | 2.50-3.00 |
| Límite líquido | 0.00 | 37.30 | 53.25 |
| Límite plástico | 0.00 | 18.60 | 23.80 |
| Índice de plasticidad | 0.00 | 18.70 | 29.45 |
| Contenido de humedad (%) | 16.00 | 16.00 | 33.00 |
| % Grava | 8.00 | 32.00 | 14.00 |
| % Arena | 46.00 | 43.00 | 55.00 |
| % Finos | 46.00 | 25.00 | 31.00 |
| Clasificación SUCS | SC | SC | SC |

De igual manera, se indica en la Figura 38, la carta de plasticidad donde se ubican los dos ensayos realizados para el sondeo 2.

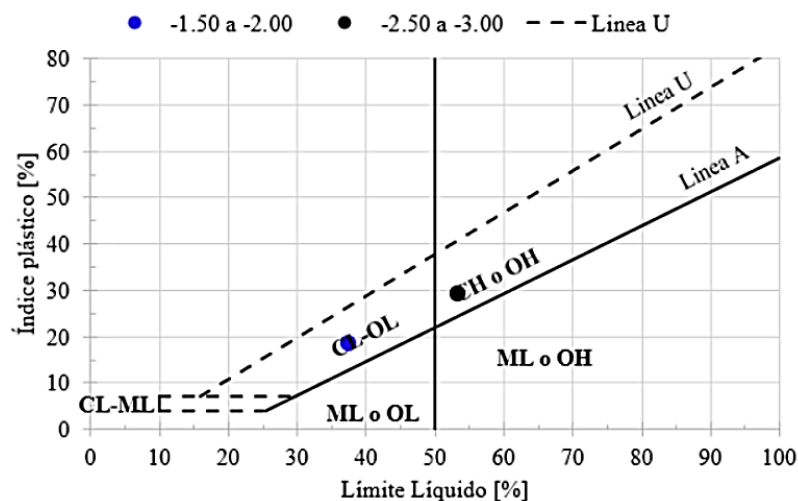


Figura 38: Carta de plasticidad, sondeo 2.

6.5.Exploración a cielo abierto

Una vez realizada las excavaciones con las medidas indicadas en el apartado de metodología, se procedió a llevar los cubos a los laboratorios para realizar los ensayos



descritos en el mismo. En la Tabla 20, se indican los resultados obtenidos para la calicata 1 y la calicata 2.

En la calicata 1, se obtuvo un suelo tipo Arcilla alta plasticidad arenosa, CH, con 5% de Grava (G), 37% Arena (A) y 58 % de Finos (F) con límite líquido de 72.79 %, límite plástico de 29.41 % y un índice de plasticidad de 43.38 %. Presenta un potencial expansivo nivel alto.

Para el caso de la calicata 2, con 3% Grava (G), 33% Arena (A) y 64% Finos (F) con límite líquido de 51.72%, límite plástico de 25.19% y un índice de plasticidad de 26.53 % se obtuvo un suelo tipo Arcilla alta plasticidad arenosa, CH. Presenta un potencial expansivo nivel moderado.

Tabla 20: Ensayos de laboratorio, calicatas 1 y 2

| Parámetros | Calicata 1 | Calicata 2 |
|--------------------------|------------|------------|
| Límite líquido | 72.79 | 51.72 |
| Límite plástico | 29.41 | 25.19 |
| Índice de plasticidad | 43.38 | 26.53 |
| Contenido de humedad (%) | 29.89 | 25.28 |
| %Grava | 5.00 | 3.00 |
| %Arena | 37.00 | 33.00 |
| %Finos | 58.00 | 64.00 |
| Clasificación SUCS | CH | CH |

6.5.1. Ensayo de corte directo

Con la recuperación de muestras inalteradas, se realizó el ensayo de corte directo regidos por la norma **ASTD-2487**, donde se aplicó un esfuerzo normal diferente igual a 50.03 kPa, 100.1 kPa y 200.1 kPa, para los dos casos en análisis con la finalidad de determinar el efecto sobre la resistencia del material (tablas detalladas en el Anexo V). En las Figura 39 indica los resultados más relevantes del ensayo para cada una de las calicatas respectivamente con el desplazamiento que corresponde a la condición de falla que se encuentra entre el 10% y 15%.

En la Figura 40 representa la tensión de corte versus el esfuerzo normal en la que se traza un ajuste lineal que permite determinar e ángulo de fricción del suelo. Con estos valores trazados que muestran el pico de la figura, se muestran las ecuaciones de la recta a partir de la regresión lineal.

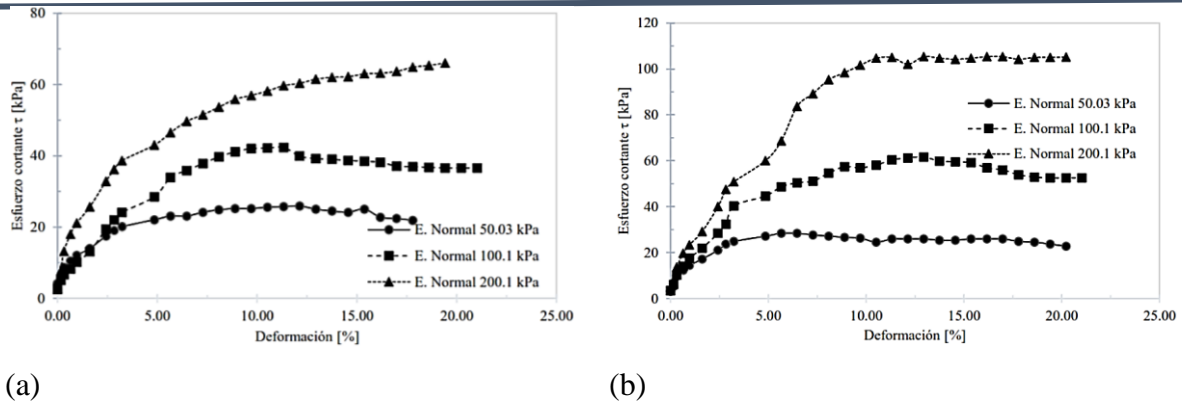


Figura 39: Curva esfuerzo-deformación (a) Calicata 1 (b) Calicata 2

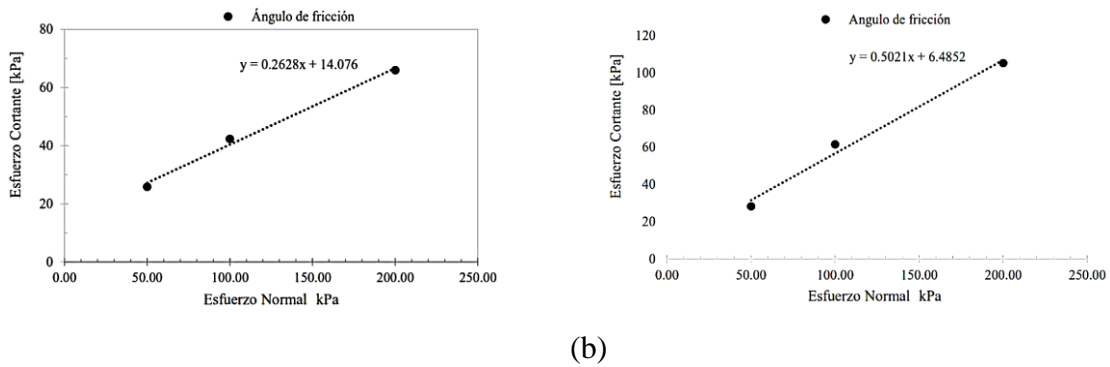


Figura 40: Esfuerzo normal Vs Esfuerzo cortante (a) Calicata 1 (b) Calicata 2

En la Tabla 21 se indican los resultados finales del ensayo de corte directo teniendo en calicata 1, un ángulo de fricción de 14.72° y de cohesión 14.08 kPa, y para la calicata 2, un ángulo de fricción de 26.66° y de cohesión de 6.49 kPa.

Tabla 21: Parámetros geotécnicos, ensayo de corte directo

| Parámetros | Símbolo | Calicata 1 | Calicata 2 |
|--------------------|----------|-------------------------|-------------------------|
| Peso específico | γ | 18.42 kN/m ³ | 18.42 kN/m ³ |
| Ángulo de fricción | σ | 14.72° | 26.66° |
| Cohesión | c' | 14.08 kPa | 6.49 kPa |

6.6.Sondeo eléctrico vertical

Una de las principales características para que este ensayo cumpla con el objetivo propuesto es que las diversas formaciones litológicas tienen que ser caracterizadas por diferentes resistividades eléctricas. A corriente eléctrica enviada desde la superficie debe penetrar con profundidad (mínimo 90 %) hasta alcanzar los objetivos que se hayan propuesto estudiar, las deformaciones del campo eléctrico o si se prefiere las perturbaciones al recorrido



de la corriente por las heterogeneidades del subsuelo, deben ser medibles a partir de la superficie. En la Figura 41 se muestran las tres líneas sísmicas ubicadas en el deslizamiento.

Para la interpretación de los datos de resistividad realizados en campo se lo realizó en dos etapas como se detalló en metodología, en la primera se analizó una interpretación cuantitativa y cualitativa de las curvas de los sondeos eléctricos verticales. Y en la segunda etapa, se usó el interpretador automático de IPI2win y para la presentación de resultados el software WinSEV.



Figura 41: Ubicación de las tres líneas de SEV
Fuente: Google Earth, modificada por Jiménez, A. (2023).

En la Tabla 22 se muestran los resultados obtenidos de las tres líneas sísmicas, donde se detalla la resistividad, el espesor, la profundidad y la correspondencia del material. Las tablas detalladas se presentan en el Anexo VIII.

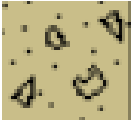
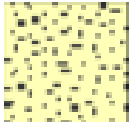




De acuerdo al comportamiento de las curvas de resistividad, se entiende que los materiales a profundidad mantienen la resistividad. Los horizontes de baja resistividad se pueden estimar la presencia de cercanía a cuerpos de agua, zonas de infiltración, capa de material alterado por procesos geológicos. En general los materiales presentes en la zona de estudio poseen distintas resistividades en los posibles horizontes geológicos detectados en base a los ensayos realizados.

Los materiales presentes en el sector corresponden a volcanosedimentos pertenecientes a estratos diferenciados entre areniscas en matriz limosa, bloques gran tamaño


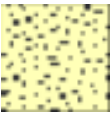



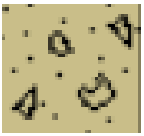
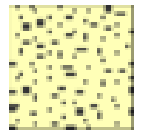


de tobas y areniscas que en afloran en superficie en el sector norte de la zona en estudio, en tanto que en el sector sur presenta clastos subangulosos en matriz areno limosa.



Tabla 22: Interpretación de resultados de SEV

| N° SEV | Capa Geoeléctrica | Resistividad Ωm | Espesor (m) | Prof. (m) | Correspondencia del material | Perfil estratigráfico |
|--------|-------------------|-------------------------|-------------|-----------|---|---|
| 1 | A | 116 | 0.60 | 0.60 | Capa de cobertura superficial orgánico, presencia de materiales limosos, cantos rodados y guijarros. |  |
| | B | 219 | 0.65 | 1.25 | Capa arenisca en matriz limosa, como presencia de materiales subangulosos. |  |
| | C | 22.7 | 1.37 | 2.62 | Materiales limo arenosos con clastos angulosos procedentes de depósitos de masa deslizada. |  |
| | D | 287 | 9.14 | 11.80 | Posible capa de materiales compuestos por bloques de considerable tamaño de origen volcánico en matriz de arenas limosas. |  |
| | E | 8.4 | 12.5 | 24.2 | Posibles capas de materiales arenosos con limos poco consolidados y posible saturación. |  |
| | F | 4061 | ∞ | ∞ | Materiales con características de volcanosedimentos estratificados y no estratificados de tobas líticas, brechas volcánicas y metamórficos pertenecientes a la Unidad El Ingenio. |  |



| | | | | | | |
|---|---|------|-------|------|---|---|
| 2 | A | 399 | 0.89 | 0.89 | Capa de cobertura superficial orgánico, presencia de materiales arenosos-limosos, cantos rodados y gujarros. |  |
| | B | 106 | 2.34 | 3.24 | Capa arenas limosas como presencia de materiales subangulosas. |  |
| | C | 39.5 | 11.50 | 14.7 | Materiales limo arenosos con clastos angulosos procedentes de depósitos de masa deslizada. |  |
| | E | 6.23 | 24 | 38.7 | Posibles capas de materiales arenosos con limos poco consolidados y posible saturación. |  |
| | F | 2689 | ∞ | - | Materiales con características de Volcanosedimentos estratificados y no estratificados de tobas líticas, brechas volcánicas y metamórficos pertenecientes a la Unidad El Ingenio. |  |
| 3 | A | 54.5 | 0.86 | 0.86 | Capa de materiales de mejoramiento en vía con presencia de humedad por escorrentía superficial |  |
| | B | 9.86 | 7.58 | 8.44 | Capa de materiales subangulosas en matriz de arena limosa, producto de depósitos de masa deslizada. |  |



| | | | | | |
|---|------|------|------|---|---|
| E | 4.85 | 11.3 | 19.8 | Materiales limo arenosos con clastos angulosos procedentes de depósitos de masa deslizada, posible saturación |  |
| F | 8064 | ∞ | - | Materiales con características de volcanosedimentos estratificados y no estratificados de tobas líticas, brechas volcánicas y metamórficos pertenecientes a la Unidad El Ingenio. |  |

Luego del análisis de los resultados expuestos en la tabla anterior, se determinó cuatro fronteras geoelectricas.

La primera pertenece a material de cobertura vegetal superficial compacta de espesores que oscilan los 0.6 m llegando hasta los 1.25 m con resistividades entre los 116 y 219Ωm en el SEV 1 y hasta los 3.24 m con resistividades de 399 y 106 Ωm en el sondeo 2; en tanto que en el sondeo 3 la primera capa posee un espesor de 0.86 m con resistividad de 54.5 Ωm, propio de materiales sueltos, compuestos de clastos angulosos y redondeados en matriz limo-arenosa, tipo deposito coluvio-aluvial.

La segunda capa en el sev 1 correspondería a intercalaciones de arenas limosas con bloques de sedimentos volcánicos (tobas) puesto que existen picos de resistividades que varían entre los 22.7 y los 287 Ωm con potencias aproximadas de hasta 14 m, en el sondeo 2 presenta resistividades de 39.5 Ωm con espesores de hasta 14.7 m; en tanto que para el sondeo 3 la capa posee resistividad de 9.86 Ωm con potencias de 7.58 m.

La tercera capa posee resistividades 8.40, 6.23, 4.85 Ωm, lo que refleja una posible saturación en los materiales a profundidades de 11.8, 14.7, 8.44 m en los sondeos 1, 2 y 3 respectivamente, los materiales corresponderían a arenas limosas con características de sedimentos volcánicos.

La cuarta capa aparentemente correspondería a materiales procedentes de la Unidad El Ingenio, materiales con características de volcanosedimentos estratificados y no estratificados de tobas líticas, brechas volcánicas y metamórficos.



6.7. Correlación geológica de las calicatas

Una vez terminado los levantamientos geológicos, los ensayos directos e indirectos realizados, se procedió a correlacionar cada parte de la información obtenida con el fin de tener una mejor perspectiva de la disposición y ubicación de la geología local presente.

En la Figura 42 se presenta la correlación de las seis calicatas realizadas para el levantamiento geológico a detalle. Para las calicatas 1, 4 y 5, presentan gran similitud en la disposición de los estratos, iniciando con la calicata 1 en con el primer metro excavado, con fragmentos de roca volcánica inmensos en una matriz arcillo arenosa, misma que en la calicata 4 y 5 se presenta a los 0.3 m y 0.4 m de excavación. Llegando al 1.50 m de excavación, se encontró arcilla con tonalidades amarillas, misma que en calicatas 4 y 5 aparece a partir del medio metro excavado, pero ya con saturación, siendo así una arcilla altamente maleable.

Con las calicatas 2, 3 y 6, igualmente se evidencia la similitud en la disposición de estratos, se inicia con la calicata 2, con los 0.80 m de excavación se encuentra un suelo arcilloso con tonalidades naranjas, mismo que se correlaciona con las calicatas 3 y 6 encontrado al medio metro de excavación. El segundo estrato se evidencia a partir de los 0.85 m excavados, siendo fragmentos de roca volcánica incrustados en una matriz areno arcillosa, con tamaño de clasto que varía entre los 3 cm y 5 cm, de forma angulosa y subangulosa, presentando ligera erosión.

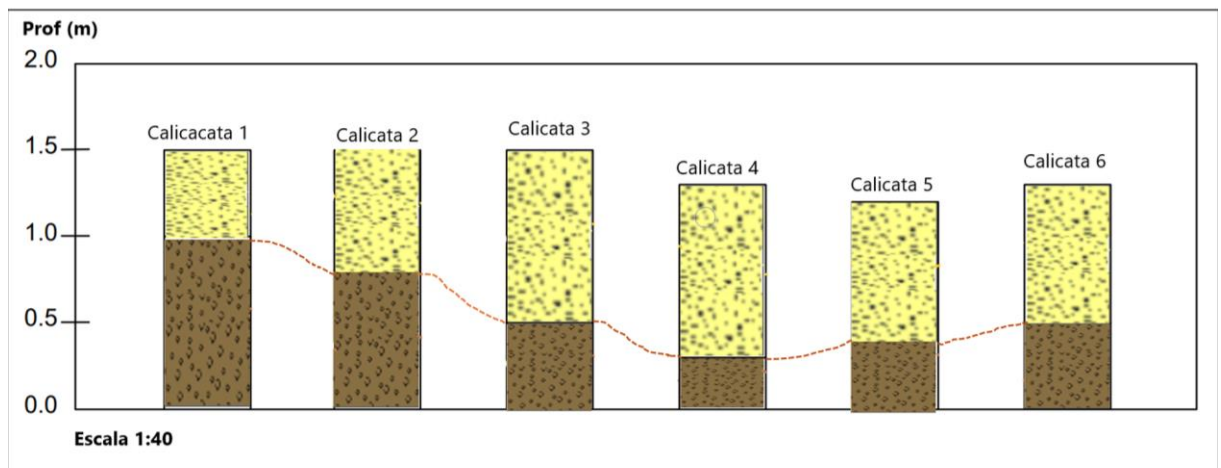


Figura 42 Correlación de calicatas

6.8. Correlación geológica de los SPT

En la Figura 43 se presenta la correlación de los dos SPT realizados en la zona. Para el SPT 1, en el primer metro de perforación se encontró contenido orgánico de consistencia



blanda, mismo que aparece en el SPT 2 a la misma profundidad, pero con consistencia muy firme. Seguido a los 2 m de perforación, en los dos SPT se encontró arcilla de tonalidades oscuras, con incrustación de pequeños clastos, con consistencia húmeda y consistencia de blanda a muy firme.

A partir de los 4 m de perforación en el SPT 1 se evidenció arcilla rojiza de consistencia muy firme y dura, con ligera humedad, pero para el SPT 2 se encontró arcilla amarillenta sobresaturada, de consistencia media.

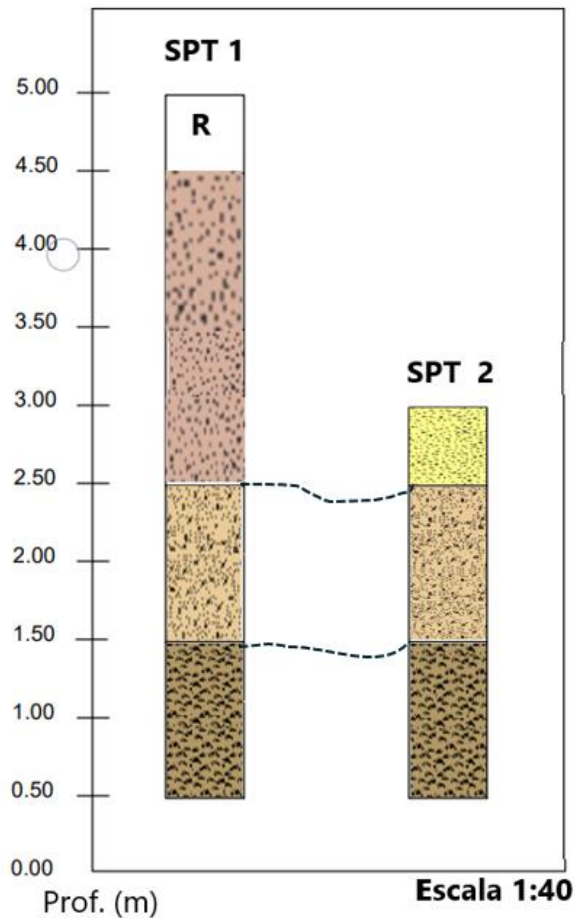


Figura 43 Correlación de SPT

6.9. Correlación geológica de los SEV

Para la correlación de los SEV, se determinó cuatro litologías geoelectricas a partir de sus valores de resistividad arrojados que fueron clasificados. En el primer sev, se evidencia una capa de cobertura superficial orgánico, presencia de materiales arenosos-limosos, cantos rodados y guijarros, misma que tiene un espesor aproximadamente de 15 m, para el sev 2 aparece la misma litología ubicado 30 m más abajo con respecto al primero, con el mismo espesor, para el sev 3 ya desaparece.



Con la segunda litología en el primer sev, se evidenció capas de materiales subangulosos con matriz de arena limosa, con un espesor de 10 m, se correlaciona con el segundo y tercer sev donde aparece la misma litología, pero hallado en la cota 1185 y 1130 respectivamente.

Para la tercera litología en el primer sev se encontró posibles capas de materiales arenosos con limos poco consolidados y posible saturación, estrato con un espesor de 30 m aproximadamente, misma litología aparece en el sev 2 en la cota 1150 y para el sev 3 en los 1130 m, conservando su espesor.

Para la última litología encontrada en el sev 1, se describió como materiales con características de volcanosedimentos estratificados y no estratificados de tobas líticas, brechas volcánicas y metamórficos, estrato con espesor con más de 50 m, para el sev 2 aparece en la cota 1130 y en el sev 3 en la cota 1100 con profundidad desconocida.

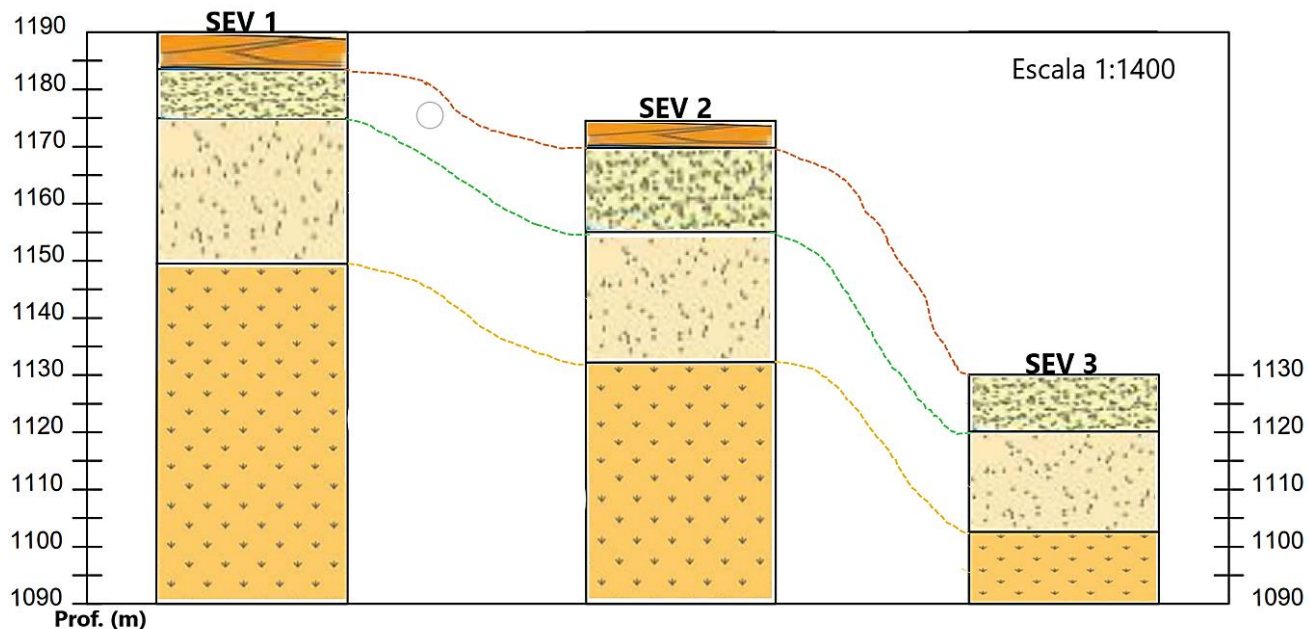


Figura 44 Correlación de SEV

6.10. Correlación general

Se realizó una correlación general de todos los perfiles obtenidos, para generar una armonización entre las litologías encontradas a diferentes altitudes. Se puede relacionar las calicatas, los SPT y los primeros 30m de profundidad de los SEVS, con la misma litología de depósitos coluviales, que se clasifican entre materiales areno-limosos, arcillas en diferentes tonalidades con incrustaciones de clastos. Seguido de ello, de los 30m de profundidad hasta los 100m que fueron estudiados, se presenta materiales con características de volcanosedimentos estratificados denominados tobas líticas y aglomerado volcánico.

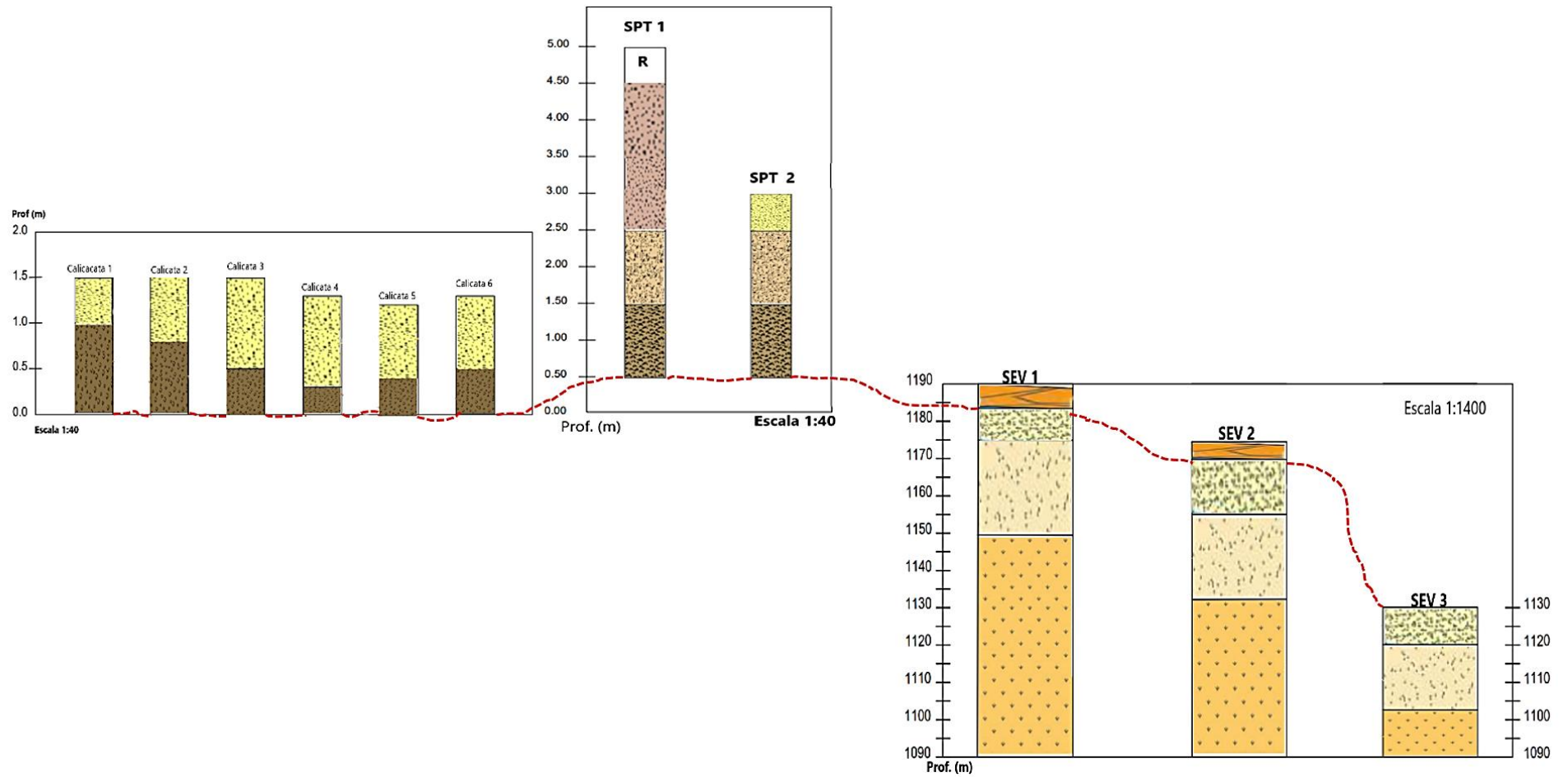


Figura 45 Correlación general de los perfiles



6.11. Mapa Geotécnico

Luego de obtener los parámetros geotécnicos como cohesión y ángulo de fricción de los ensayos realizado en campo y laboratorio, se pudo clasificar al movimiento de ladera en cuatro zonas geotécnicas, como se observa en el mapa del Anexo I.

En la parte superior del deslizamiento, se realizó el primer sondeo, de color amarilla, representando arcilla de alta plasticidad, con una cohesión de 14.08 kPa y ángulo de fricción de 14.72° . Seguido, se encuentra la zona de color amarillo pálido donde se realizó el segundo sondeo, con una cohesión de 6.49 kPa y ángulo de fricción de 26.66° . Para la zona naranja, se realizó la primera calicata, con una cohesión de 27 kPa y ángulo de fricción de 1° , y en la última franja de color marrón oscuro, resultados de la segunda calicata, con arena arcillosa, con una cohesión de 1 kPa y ángulo de fricción de 21° .

6.12. Factor de Seguridad

En estabilidad de taludes, el coeficiente o factor de seguridad (F_s) es el término que mide el riesgo de colapso del talud, definido como el momento o fuerza resistente sobre el momento o fuerza que produce el deslizamiento o fuerzas desestabilizadoras.

En la Figura 46 se muestra la ubicación del perfil longitudinal realizado, indicando la distribución de los materiales coluviales del deslizamiento de ladera con sus características geomecánicas, con datos que se obtuvo de los ensayos de SPT y calicatas realizados en el objetivo anterior.



Figura 46: Ubicación del perfil realizado para la obtención del factor de seguridad.
Fuente: Google Earth, modificada por Jiménez, A. (2023).



En la Figura 47 se muestra el perfil longitudinal del talud a escala 1:1000, con una altura de 25m, indicando los diferentes tipos de sedimentos que se encuentran formando parte del depósito coluvial. En la primera franja, se lo realizó a una profundidad de 1 m, en la segunda y tercera franja a 2.5 m de profundidad y en la última franja, a 4 m de profundidad para encontrar las litologías expuestas a continuación. Aquí desaparecen los volcanosedimentos, puesto que la superficie del deslizamiento está recubierto por los depósitos.

En la Tabla 23 se indican las diferentes características geomecánicas que fueron resultado de los ensayos realizados, tratándose en su mayoría de arcillas de alta plasticidad con diferentes valores de cohesión y fricción.

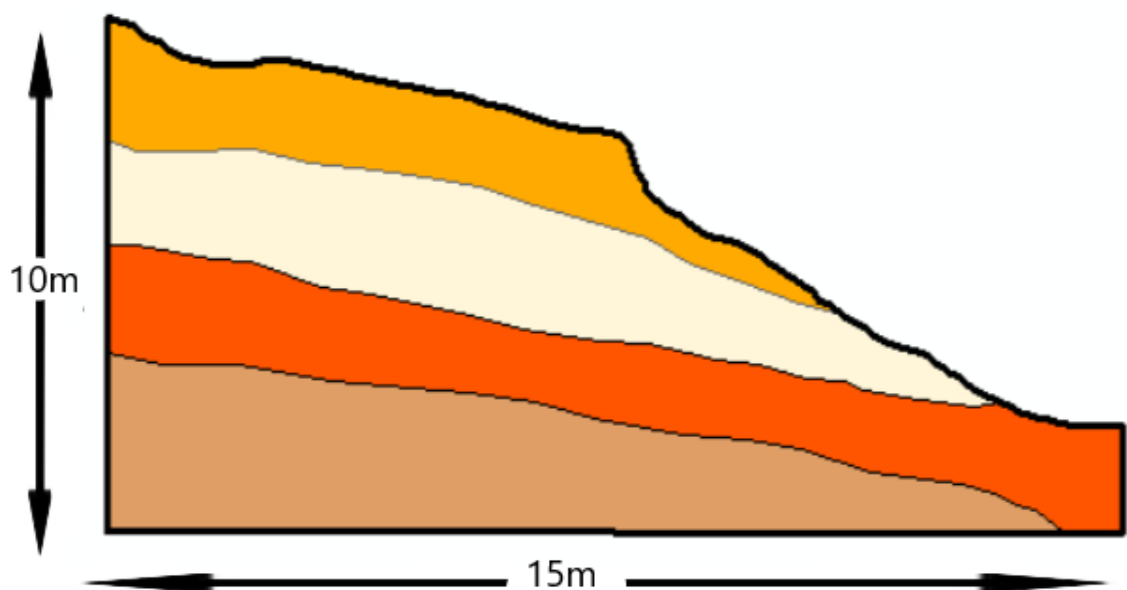


Figura 47: Perfil longitudinal con sus materiales

Tabla 23: Descripción de materiales

| Tipo de material | Peso específico | Cohesión | Ángulo de fricción | Color |
|-----------------------------|-------------------------|-----------|--------------------|-------|
| Arcilla de alta plasticidad | 18.44 kN/m ³ | 14.08 kPa | 14.72° | |
| Arcilla de alta plasticidad | 18.44 kN/m ³ | 6.49 kPa | 26.66° | |
| Arcilla de alta plasticidad | 17.45 kN/m ³ | 27 kPa | 1° | |
| Arena arcillosa | 16.90 kN/m ³ | 1 kPa | 21° | |

En la Figura 48, se muestran los resultados de factor de seguridad por los tres diferentes métodos mediante el software Slide, con Ordinary/Fellenius con un Fs de 0.559, Bishop simplificado con un Fs de 0.552 y Spencer con un Fs de 0.553.



Los valores del factor de seguridad tienen valores muy similares, a excepción de sus centésimos, dando mayor credibilidad a sus resultados.

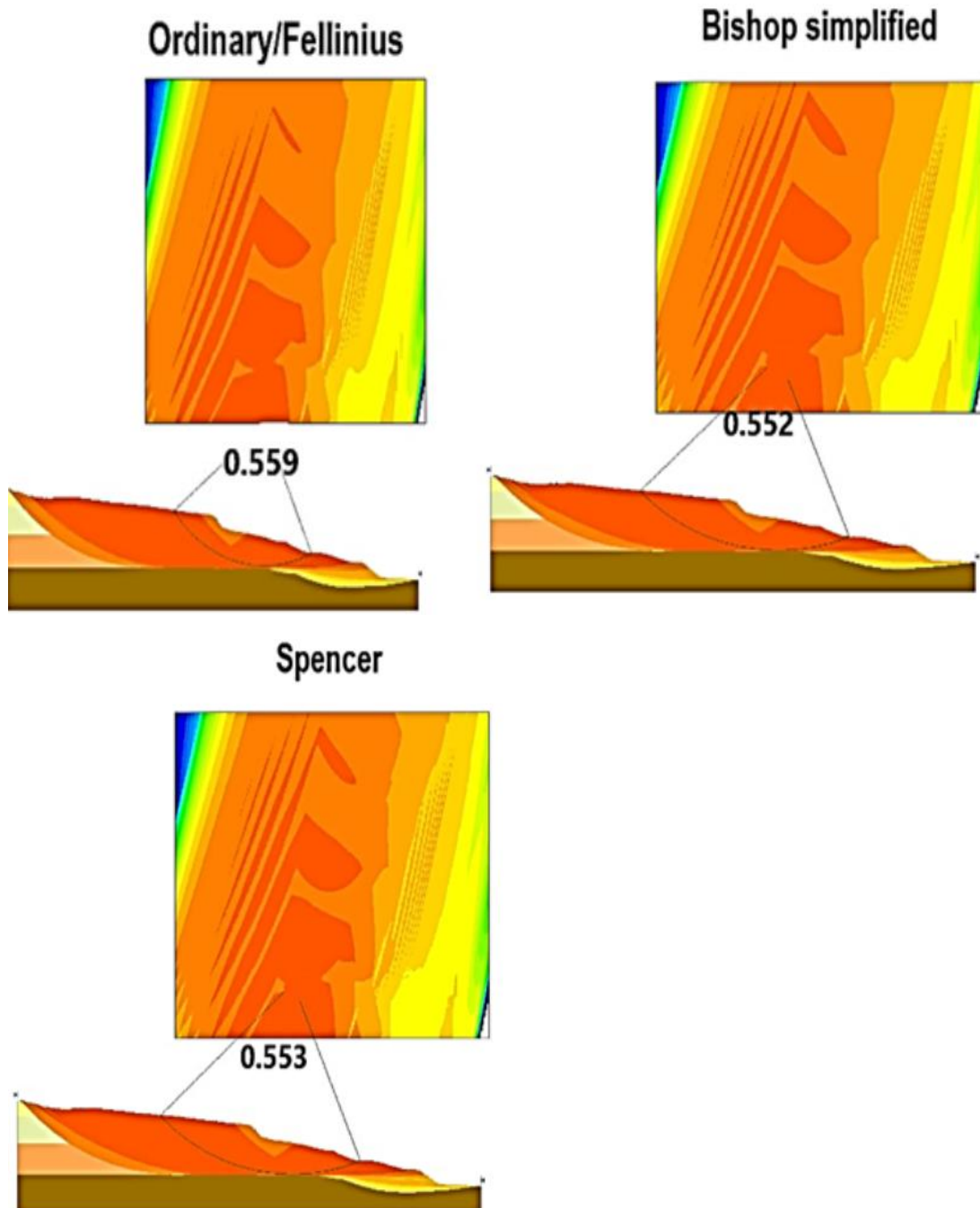


Figura 48: Resultados del cálculo de F_s .
Fuente: Jiménez, A. (2023).



Fijándose en un factor de seguridad 0.55 como valor común, con clasificación Inestable, significa que su capacidad de ruptura por falla es muy alta, por lo que se necesita medidas de estabilización y mitigación de riesgo. (Véase Tabla 24).

Tabla 24: Análisis de Factor de seguridad.

| ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD CON FACTOR DE SEGURIDAD | | | |
|--|---------------------|--------------------------|----------------|
| Métodos | Factor de seguridad | Condición de estabilidad | Interpretación |
| Ordinary/Fellinius | 0.559 | Inestable | |
| Bishop Simplified | 0.552 | Inestable | Inestable |
| Spencer | 0.553 | Inestable | |

6.13. Morfometría del movimiento de ladera

En la Figura 49 se muestra el análisis del perfil de deslizamiento, indicando su morfometría. En la parte inicial se ubica su corona, parte final está el pie de deslizamiento, las líneas punteadas rojas indican la masa deslizada en cada movimiento generado, la línea punteada naranja es la inferencia de la superficie de falla y el perfil en color negro, es la topografía actual del terreno.

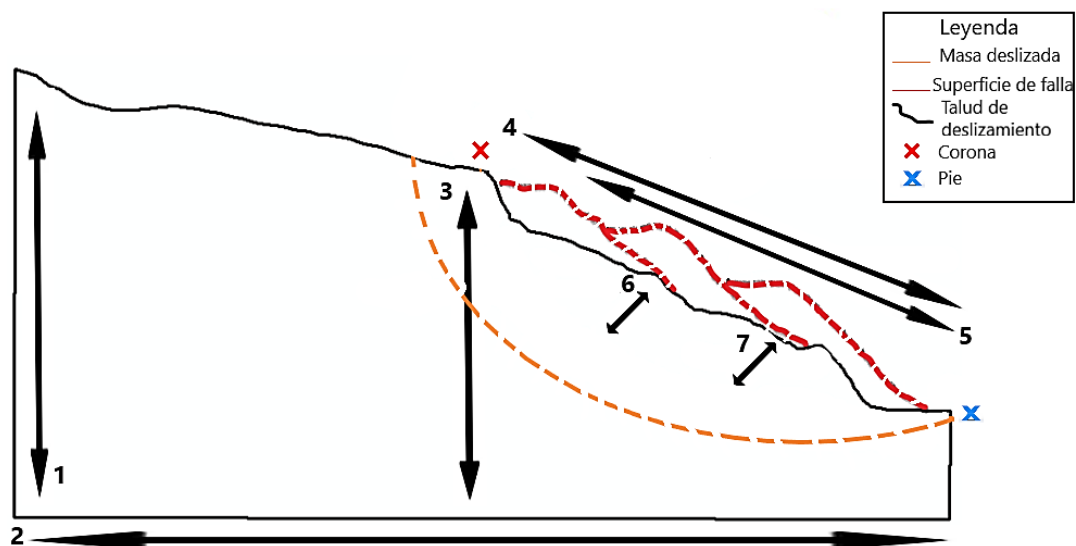


Figura 49 Análisis de morfometría del talud de estudio, Barrio Pindo Alto

En la Tabla 25 se demuestra las dimensiones en metros de cada uno de los numerales ubicados en la Figura 49.



Tabla 25 Dimensiones de deslizamiento

| Dimensiones del deslizamiento | | |
|--------------------------------------|---|--------------------|
| Número | Terminología | Dimensión (metros) |
| 1 | Altura total del talud | 55 |
| 2 | Ancho del talud | 148 |
| 3 | Longitud de corona a pie de deslizamiento | 25 |
| 4 | Longitud total | 22 |
| 5 | Longitud de la masa deslizada | 34 |
| 6 | Profundidad de la superficie de falla | 4 |
| 7 | Profundidad de masa desplazada | 3 |

El talud actual demuestra una altura de 55 m, un ancho de 148 m, una longitud de corona a pie de deslizamiento de 25 m, longitud de masa deslizada de 34 m, profundidad de superficie de falla de 4 m, profundidad de masa desplazada de 3 m, y una longitud total de 22 m.

Estas dimensiones en la morfometría del talud demuestran que se trata de un deslizamiento rotacional.

6.14. Clasificación del movimiento de ladera

Las dimensiones del movimiento de ladera son aproximadamente 148 m de longitud de corona a pie y 55m de ancho. Está clasificado como un movimiento rotacional, según la metodología de Varnes (1978), Hutchinson (1988), puesto que la superficie de falla es formada por una curva cuyo centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento.

Como se observa en la Figura 50, se muestra la parte de la corona y parte media del movimiento, caracterizada en el sitio, por la convexidad en la parte media de la ladera, el arqueamiento de los árboles

Y en la Figura 51, se muestra el pie del talud, caracterizado por el desplazamiento de los suelos blandos ubicados en el pie del talud que se mueven hacia abajo, sobrepasando la resistencia para soportar el material resistente.



Figura 50: Epata inicial de rotación del deslizamiento



Figura 51: Etapa final rotacional y planar del deslizamiento

6.15. Causa del movimiento

En la mayoría de los casos de movimientos de ladera, son varias las causas que lo contribuyen, aunque el protagonista ha sido la acción de un factor desencadenante como el agua. Sin embargo, se explica a continuación los principales factores condicionantes y desencadenantes que intervinieron en el movimiento del sector de estudio.

6.15.1. Factores condicionantes

Litología. – La presencia de depósitos coluviales y la Unidad El Ingenio, compuesta por fragmentos de roca volcánica, contribuye a la variabilidad de los materiales presentes en la zona. Los suelos coluviales pueden ser propensos a la saturación de agua, mientras que las rocas volcánicas pueden tener diferentes propiedades de resistencia.



Pendientes. – La mayor parte del terreno presenta pendientes fuertemente inclinadas con 5° - 15° y muy inclinadas con 15° - 35° , lo que aumenta la susceptibilidad a los deslizamientos, especialmente en condiciones desfavorables.

Erosión. - la meteorización que existe en las tobas volcánicas se debe a la acción de factores físicos, químicos y biológicos en la superficie terrestre, entre las que se menciona:

Exposición a la intemperie: en los afloramientos de las tobas, se exponen a diferentes condiciones atmosféricas como lluvia, viento, sol y fluctuaciones de temperatura.

Agua: puede filtrarse en las fracturas y poros de las tobas volcánicas agua y, a medida que se congela y se descongela, puede expandirse y contraerse, lo que puede romper y disgregar la roca.

Reacción química: las tobas volcánicas en particular contienen minerales que pueden reaccionar con el agua y los ácidos presentes en la atmósfera para formar nuevos minerales o liberar iones sueltos.

6.15.2. Factores desencadenantes

Precipitaciones. – Las lluvias intensas después de períodos secos pueden saturar el suelo y desencadenar deslizamientos, especialmente en áreas con pendientes pronunciadas. La infiltración del agua de lluvia produce flujos subsuperficiales y subterráneos en las laderas, el aumento del contenido en agua de la zona no saturada y la elevación del nivel freático, recargando la zona saturada. El agua puede rellenar poros o fracturas, reemplazando al aire existente y aumentando el peso. El peso es fuerza, y la fuerza facilita el movimiento de ladera.

Cargas dinámicas. – la ganadería y la actividad humana conllevan a que el suelo esté sometido a diferentes cargas, sumado el peso del material saturado, se vuelven cargas excesivas.

Deforestación. – La falta de árboles grandes en la zona puede disminuir la capacidad del suelo para retener la humedad y estabilizarse, lo que aumenta la susceptibilidad a la erosión y los deslizamientos.



7. Discusión

En la presente investigación, de acuerdo al mapa de pendientes elaborado, prevalecen en gran porcentaje (49.18%) las pendientes elevadas, que según B. Arias (2012) este tipo de pendientes son más propensas a la erosión, lo que conlleva a mayor inestabilidad del suelo; también se clasificó al mapa de pendientes de acuerdo a la metodología de Demek (1972), en donde se determinó que en la zona del deslizamiento en estudio se caracterizan las pendientes fuertemente inclinadas en un 49.18% de la superficie total del terreno. Así mismo, en el PDOT de la parroquia El Lucero, 2019; la caracterización del terreno en base a su forma, el área de influencia de estudio la clasifica como muy colinada. Validando los resultados de la investigación con la realizada en otros estudios, donde la forma muy colinada de un terreno presenta elevadas pendientes, lo que puede generar movimientos en masa.

El levantamiento geológico detallado se revela la presencia de depósitos coluviales en la parte baja del área afectada por el deslizamiento. Estos depósitos se forman por la erosión de las tobas volcánicas, disgregándolos en sedimentos desde arcillas hasta cantos y bloques. Estas laderas suelen consistir en masas de material rocoso volcánico inestable que experimentan desplazamientos a lo largo de la pendiente; otra litología encontrada son las tobas, estas rocas se formaron a partir de la acumulación y cementación de fragmentos volcánicos a lo largo del tiempo. No obstante, debido a su exposición constante a los elementos naturales, estas rocas volcánicas han desarrollado una susceptibilidad significativa a la erosión.

En la investigación realizada por Rojas (2016) identificó en la zona depósitos aluviales y lavas andesíticas de la Formación Sacapalca. Se contrarresta con la geología de esta investigación puesto que la escala trabajada permitió obtener más detalle y características de la litología de la zona, encontrando material coluvial heterogéneo, siendo su roca principal la roca volcánica.

En la parte alta de la zona, se identificó la litología de la Unidad El Ingenio, que se caracteriza principalmente por la presencia de rocas de origen volcánico. Dentro de estas rocas volcánicas, se encuentran tobas dacíticas y tobas líticas. Tiene gran similitud esta identificación de litología con la expuesta en la Hoja Geológica de Las Aradas a escala 1:100000, propuesta por el INIGEMM (2017).

Se usó métodos directos como calicatas y SPT, y métodos indirectos como los sondeos eléctricos para delimitar los horizontes de cada una de las capas de litología y determinar su contacto entre los depósitos coluviales y el material volcánico. Se considera apropiados estos métodos para este tipo de estudios, porque los métodos directos ayudan a observar con gran



precisión las estratificaciones del suelo y tomar muestras inalteradas para tener resultados óptimos, y con los métodos indirectos se infiere el contacto entre las litologías mediante sus propiedades dinámicas.

De acuerdo con los sondeos eléctricos verticales, se determinó cuatro fronteras geo-eléctricas: la primera pertenece a material de cobertura vegetal superficial compacta con resistividades entre los 116 y 219 Ωm en el SEV 1 y hasta los 3.24 m con resistividades de 399 y 106 Ωm en el sondeo 2; en tanto que en el sondeo 3 la primera capa posee una resistividad de 54.5 Ωm , propio de materiales sueltos, compuestos de clastos angulosos y redondeados en matriz limo-arenosa, tipo depósito coluvio-aluvial. La segunda capa en el sev 1 correspondería a intercalaciones de arenas limosas con bloques de sedimentos volcánicos (tobas) puesto que existen picos de resistividades que varían entre los 22.7 y los 287 Ωm en el sondeo 2 presenta resistividades de 39.5 Ωm ; en tanto que para el sondeo 3 la capa posee resistividad de 9.86 Ωm . La tercera capa posee resistividades 8.40, 6.23, 4.85 Ωm , lo que refleja una posible saturación en los materiales a profundidades de 11.8, 14.7, 8.44 m en los sondeos 1, 2 y 3 respectivamente, los materiales corresponderían a arenas limosas con características de sedimentos volcánicos. La cuarta capa aparentemente correspondería a materiales procedentes de la Unidad El Ingenio, materiales con características de volcanosedimentos estratificados y no estratificados de tobas líticas, brechas volcánicas y metamórficos. Estos valores expuestos han sido comparados y corroborados con los valores estandarizados de la tabla de resistividades de Arias, et. al (2012), donde detalla suelos finos poseen valores bajos de resistividad, mientras que la roca tiene valores altos. También Rojas (2016), ejecutó este tipo de ensayos en la zona de estudio, donde detalla la identificación de depósitos superficiales, coluviales y la última capa de roca volcanosedimentaria, coincidiendo con los resultados expuestos en este estudio.

Los factores condicionantes para la inestabilidad del talud son la geología local, caracterizada por los depósitos coluviales, tobas y la pendiente. Con los factores desencadenantes se encuentran las precipitaciones, cargas dinámicas y la deforestación en la zona de estudio, coincidiendo con los resultados de Rojas (2016), donde expone que la principal causa para la inestabilidad del deslizamiento son las precipitaciones y el mal manejo de los canales por sus constantes fugas de agua. La tubería en mal estado fue evidenciada en campo, demostrando que producen escorrentía superficial y se infiltran en el suelo, siendo parte de los factores desencadenantes que dan inicio al deslizamiento del terreno.

El estudio morfométrico del deslizamiento permitió clasificarlo correctamente, donde la superficie de falla es formada por una curva, tiene una longitud de la superficie de falla de



20 m y una profundidad de la superficie de falla de 4 m, dando como resultado un deslizamiento de tipo rotacional. Se coincide con el estudio de Carranza y Herrera (2014), donde clasifican al movimiento como rotacional, sin embargo, han sido basados en una caracterización general y severa, sin mayor detalle a su estudio.

El factor de seguridad de la zona es de 0.55 obtenido mediante el Software Slide. De acuerdo con la Norma de Construcción Ecuatoriana ese valor es clasificado como Muy Inestable para un talud, esto significa que existe una alta probabilidad de que se produzca un deslizamiento, ya que la capacidad de resistencia del terreno es insuficiente para contrarrestar las fuerzas que actúan sobre él.



8. Conclusiones

En el mapa de pendientes, se identificó que en la zona de estudio predominan las pendientes fuertemente inclinadas y muy inclinadas, abarcando alrededor del 49.18% y el 43.03% del área total del terreno, respectivamente.

El estudio geológico minucioso se revela la existencia de depósitos coluviales en la parte baja del área afectada por el deslizamiento. En la parte superior de la zona, se ha identificado la litología correspondiente a la Unidad El Ingenio, la cual se caracteriza principalmente por la presencia de rocas de origen volcánico. Entre estas rocas volcánicas se incluyen distintos tipos de tobas, como tobas dacíticas y tobas líticas.

En la investigación realizada a cielo abierto, se encontró que en la calicata 1 se presenta una composición de suelo consistente en arcilla de alta plasticidad del tipo CH, la cual posee un ángulo de fricción de 14.72 grados y una cohesión de 14.08 kilopascales (kPa). Por otro lado, en la calicata 2, se ha identificado una litología similar de arcilla de alta plasticidad del tipo CH, pero con propiedades geotécnicas ligeramente diferentes, manifestando un ángulo de fricción de 26.66 grados y una cohesión de 6.49 kPa.

El mapa geotécnico reveló las características geomecánicas del suelo mediante los ensayos de SPT y calicatas. La zona de color amarillo, indica arcilla de alta plasticidad con resultados de una cohesión de 14.08 kPa y un ángulo de fricción de 14.72°. Posteriormente, la zona de color amarillo pálido revela una cohesión de 6.49 kPa y un ángulo de fricción de 26.66°. La transición a la zona naranja se identificó una cohesión de 27 kPa y un ángulo de fricción de 1°. En la franja final de color marrón oscuro, indicó la presencia de arena arcillosa, con una cohesión de 1 kPa y un ángulo de fricción de 21°.

Los resultados del perfil geoelectrico se determinó cuatro fronteras geoelectricas, la primera con resistividades de 54.5 a 399 Ωm , correspondientes a materiales sueltos, con clastos angulosos y redondeados en matriz limo-arenosa, tipo deposito coluvio-aluvial; la segunda capa con 22.7 a 287 Ωm , con intercalaciones de arenas limosas con bloques de sedimentos volcánicos de tobas; la tercera capa posee resistividades de 4.85 a 8.40 Ωm , que corresponden a arenas limosas con características de sedimentos volcánicos, y en la última capa con resistividades de 4061 a 8064 Ωm , con materiales con características de volcanosedimentos estratificados y no estratificados.

Los factores condicionantes para la inestabilidad del talud son la geología local, caracterizada por los depósitos coluviales, tobas y la pendiente.

El cálculo del factor de seguridad utilizando el software Slide, con un valor de 0.55, revela que el área presenta una condición de peligro elevado, clasificado como Muy Inestable.



Mediante las características geológicas geotécnicas que se determinó en este estudio, permitió conocer el estado actual del deslizamiento del barrio Pindo Alto, las causas que lo producen y qué medidas se puede tomar. El área es muy inestable y presenta un riesgo significativo de deslizamiento, lo que requiere medidas de mitigación y estabilización urgentes para garantizar la seguridad de la zona.



9. Recomendaciones

Para una caracterización geológica a detalle, se sugiere realizar los estudios correspondientes en épocas de verano, puesto que, en invierno, crece la cubierta vegetal considerablemente, evitando la inspección visual de afloramientos con facilidad.

Para definir la compacidad de los materiales se recomienda realizar un ensayo denominado sísmica de refracción para comprobar las propiedades geomecánica (dureza) de los geomateriales, esto comprobará claramente la velocidad entre sedimento, y permite clasificarlos como roca muy fracturada, fracturada y sana.

Es importante realizar un monitoreo constante de la ladera y llevar a cabo un análisis geotécnico detallado para evaluar la evolución del movimiento de ladera.

Llevar a cabo un análisis detallado de los cambios en la superficie y tomar medidas adecuadas para mitigar los riesgos asociados, como la implementación de medidas de estabilización del talud y la gestión adecuada del agua en la zona.

Para estabilizar el deslizamiento, se requieren una serie de medidas correctivas, entre ellos se puede sugerir:

- **Retaludamiento:** Esta técnica implica la modificación de la geometría de la ladera, generalmente mediante la creación de terrazas o plataformas escalonadas. Esto reduce la pendiente efectiva y disminuye la posibilidad de deslizamientos.
- **Drenes superficiales:** La instalación de sistemas de drenaje superficial ayuda a controlar el exceso de agua en la superficie del terreno. Esto reduce la sobresaturación de los suelos y minimiza la presión del agua, lo que a su vez disminuye el riesgo de deslizamientos.
- **Construcción de muros rígidos:** La edificación de muros de contención sólidos y adecuadamente diseñados puede ayudar a mantener la estabilidad de la ladera. Estos muros resisten la presión lateral del suelo y redistribuyen las cargas de manera segura.

Además, es importante considerar medidas de manejo ambiental y de planificación urbana que minimicen el impacto de las actividades humanas en el terreno.



10. Bibliografía

Libros

- Badillo, J., & Rodríguez, R. (2005). *Mecánica de suelos: Fundamentos de la mecánica de Suelos*. Limusa .
- Das, B. (2012). *Fundamentos de Ingeniería en cimentaciones*. Santa fe: Cengage Learning E.
- Das, B. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. Santa Fe: Cengage Learning.
- Giai, S. (2008). *Introducción a la Hidrología* . Santa Rosa : EdUNLpam.
- Gámez Morales, W. R. (2019). *Texto Básico Autoformativo de Topografía General*. Managua, Nicaragua : UNA.
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN.
- Lomoschitz, A. (1994). *Caracterización Geotécnica del terreno on ejemplos de gran canaria y tenerife*. Sanra Cruz de Tenerife: Departamento De Construcción Arquitectónica Mecánica Del Suelo Y Cimentaciones.
- Masabana, M., Morales, B., & Bonifaz, H. (2018). *Geotécnia para Ingeniería Civil*. Sangoquí: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Rincón, M., Vargas, W., & González, C. (2017). *Topografía Conceptos y Aplicaciones* . ECOE.
- Spikermann, J. P. (2010). *Elementos de Geología General*. Buenos Aires: Universidad Maimónides.
- Suárez Díaz, J. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales* . Bucaramanga : Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos.
- Suárez, L. (2016). *Analisis de Estabilidad de Taludes* . Medellín: L.O. Suarez-Burgoa.
- Varela, & Ricardo. (2014). *Manual de Geología* . Buenos Aires: Centro de Investigaciones Geológicas.
- Wendor, C. (1989). *Hidrología para estudiantes de Ingeniería Civil* . Lima : Pontifica Universidad Católica del Perú .

Artículos

- Alcantara Ayala, I. (1999). Landslides: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definicion, clasificaciones y terminologia. *Investigaciones Geográficas*, 2-2.
- Ana, P., A, R., Maria, G., L, G., Domingo, G., & Francisco, S. (2000). Sistema De Posicionamiento Global (GPS): Descripción, Análisis De Errores, Aplicaciones Y Futuro. *E.T.S*, 5-5.
- Anguita, F. (1994). Geología, Ciencias De La Tierra, Ciencias De La Naturaleza: Paisaje De Un Aprendizaje Global. *Departamento de Petrología y Geoquímica*, 1-3.



- Arias, D., Echeverri, O., & Hoyos, F. (2012). Relaciones Geoelectricas En La Exploración Geotécnica. *Ciencias de La tierra* , 2-12.
- Chacón, J. (2012). Movimientos de ladera: clasificación, descripción y evolución espacial y temporal. *ASAGAI*, 1-3.
- Coras, P. (2006). Elementos climáticos y su relación con la fluctuación del nivel freático. *Terra Latinoamericana*, 1-2.
- Del Carmen, E., Corzo, A., De Jesús, A., Pacheco, M., & Valero, G. (2017). Medición de puntos GPS por el método estático con equipo diferencial. Una experiencia didáctica en el Instituto Pedagógico de Maturín. *TED*, 4-5.
- Devincenzi, M., & Frank, N. (2014). Ensayos Geotécnicos In Situ: Su ejecución e interpretación . *Igeotest*, 10-13.
- Ordoñez, J. (2011). CARTILLA TÉCNICA: AGUAS SUBTERRÁNEAS-ACUÍFEROS. *Novoa Goicochea*, 11-11.
- SERFOR . (2016). Guía rápida para el levantamiento de suelos en campo. *SERFOR* , 4-4.
- Sieron, k. (2014). Mecanismos Asociados a la inestabilidad de laderas: Factores que Condicionan y Desencadenan los Deslizamientos . *Universidad Veracruzana*, 29-30.
- Mesa, M., Álvarez, J., & Chávez, J. (2021). Evaluación del factor de seguridad en taludes de terraplenes carreteros altos ante carga sísmica. *Scielo* , 1-1.

Tesis

- Delgado, J., Padilla, F., & Barrientos, V. (2010). Practicas de Geología Mapas Geológicos y Problemas. (*E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos*). Universidad de da Coruña, Coruña.
- González, P. (2015). LEVANTAMIENTO MEDIANTE GPS. *Proyecto*. Uniniversidad Politécnica de Cartagena, Cartagena.
- Ramírez, D. (2016). Planeación y logística de los estudios de Geotecnia. (*Ingeniero Civil*). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.

Sitio Web

- Franzpc. (05 de junio de 2011). *ArcGeek* . <https://acolita.com/como-crear-mapa-de-pendientes-en-arcgis-10/#:~:text=Un%20mapa%20de%20pendientes%20identifica,la%20altitud%20entres%20dos%20puntos>.
- Torres, M. Á. (21 de Mayo de 2007). *Técnicasgfcas*. (Entrada de Blog): <http://tecnicasgfcas07ujaen.blogspot.com/2007/05/mapa-de-pendientes.html>



11. Anexos

Anexo 1. Mapas temáticos del área de estudio

Anexo 1.1: Mapa de ubicación

Anexo 1.2: Mapa topográfico



Anexo 1.3: Mapa de pendientes

Anexo 1.4: Mapa geológico local

Anexo 1.5: Mapa Geotécnico local



Anexo 2. Fichas de afloramientos

|  | | <p align="center"><i>Caracterización Geológica-Geotécnica Del Deslizamiento Ubicado en el Barrio Pindo Alto, Parroquia El Lucero, Cantón Calvas, Provincia De Loja</i></p> | |
|--|---|--|---|
| N° Afloramiento: | 1 | Coordenadas De ubicación UTM – DATUM WGS84 | X: 671966 |
| Datos Estructurales: | Rumbo: --- | | Y: 9512846 |
| | Buzamiento: --- | | Z: 1135 |
| | Potencia: 20 m | | Relieve: Llano () Bajo () Colinas (x) Montañoso () |
| Formación Geológica: | Qa | Descripción Litología: | Materiales rodados, despositos coluviales |
| Estado de Meteorización: | Bajo () Medio () Alto (x) | Tipo de Afloramiento: | Natural (x) Antrópico () |
| Tipo de discontinuidad : | Diaclasado (x) Zona de cisalla () Falla () Estratificación () Foliación () | | |
| Forma: | Plana () Ondulada (x) Muy ondulada () | | |
| Rugosidad: | Lisa () Rugosa (x) Muy Rugosa () | | |
| Relleno: | Sin relleno (x) Con relleno () | | |
| Consistencia del relleno: | Duro () Dureza media () Blanda () | | |
| Tipo de relleno: | Arenoso () Arcilloso () Silicatos () Arcilloso expansivo () Arcilloso reno () | | |
| Grado de meteorización: | Rocas Sana () Algo Meteorizada () Moderadamente meteorizada (x) Altamente meteorizada () Completamente meteorizada () | | |
| Plasticidad: Alta | Elasticidad: Baja | Color: Naranjas | Textura: 15% arenisca y arcilla y 30% depositos coluviales |
| Tamaño de Clastos: | 10-15 cm | Forma de Clastos: | Sub redondeaos |
| Hidrogeología: | Seco () Húmedo () Goteos () Flujo (x) Cudal Estimado () | | |
| Vegetación: | Pastos (x) Bosque () Arbustos () Sin Vegetación () | | |
| Dimension | 22 m | N° de capas: | Material deslizado |
|  | | Fotografía: | |
| <p>Observaciones: se aprecia un notorio afloramiento compuesto por volcanosedimentos que muestran una susceptibilidad a la inestabilidad. Estos materiales están principalmente constituidos por tobas con un grado de meteorización moderado. Su composición mineralógica incluye feldespatos potásicos, plagioclasas, arcillas caoliníticas y limolitas, los cuales se encuentran inmersos en una matriz de naturaleza areno-arcillosa.</p> | | | |



Caracterización Geológica-Geotécnica Del Deslizamiento Ubicado en el Barrio Pindo Alto, Parroquia El Lucero, Cantón Calvas, Provincia De Loja

| | | | |
|----------------------------------|---|---|---|
| N° Afloramiento: | 2 | Coordenadas De ubicación UTM – DATUM WGS84 | X: 679096 |
| Datos Estructurales: | Rumbo: --- | | Y: 9512755 |
| | Buzamiento: --- | | Z: 1138 |
| | Potencia: 25 m | Relieve: | Llano () Bajo () Colinas (x) Montañoso () |
| Formación Geológica: | Qa-Q?Ei | Descripción Litología: | predominan los bloques de tobas líticas, caracterizados por la consolidación de cenizas |
| Estado de Meteorización: | Bajo () Medio () Alto (x) | Tipo de Afloramiento: | Natural (x) Antrópico () |
| Tipo de discontinuidad : | Diaclasado (x) Zona de cisalla () Falla () Estratificación () Foliación () | | |
| Forma: | Plana () Ondulada (x) Muy ondulada () | | |
| Rugosidad: | Lisa () Rugosa (x) Muy Rugosa () | | |
| Relleno: | Sin relleno (x) Con relleno () | | |
| Consistencia del relleno: | Duro () Dureza media () Blanda () | | |
| Tipo de relleno: | Arenoso () Arcilloso () Silicatos () Arcilloso expansivo () Arcilloso renoso () | | |
| Grado de meteorización: | Rocas Sana () Algo Meteorizada () Moderadamente meteorizada (x) Altamente meteorizada () Completamente meteorizada () | | |
| Plasticidad: Alta | Elasticidad: Baja | Color: Gris | Textura: Bloques 20-35 cm |
| Tamaño de Clastos: | 10-15 cm | Forma de Clastos: | Sub redondeaos |
| Hidrogeología: | Seco () Húmedo () Goteos () Flujo (x) Cudal Estimado () | | |
| Vegetación: | Pastos (x) Bosque () Arbustos () Sin Vegetación () | | |
| Dimension | 22 m | N° de capas: | Material deslizado |



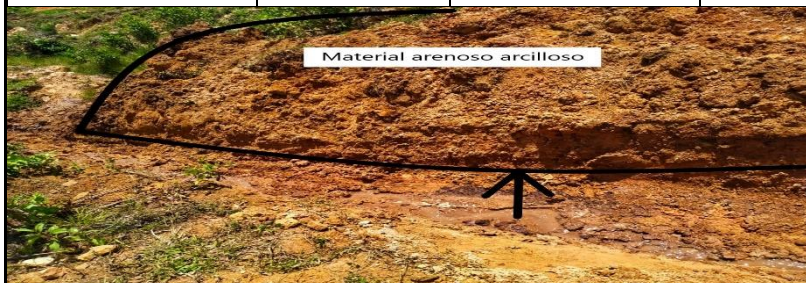
Fotografía:

Observaciones: los bloques de tobas líticas, caracterizados por la consolidación de cenizas y fragmentos expulsados durante erupciones volcánicas previas. La textura de estas tobas es afanítica, formada por cristales muy pequeños que no son visibles a simple vista



Caracterización Geológica-Geotécnica Del Deslizamiento Ubicado en el Barrio Pindo Alto, Parroquia El Lucero, Cantón Calvas, Provincia De Loja


| | | | |
|----------------------------------|---|---|---|
| N° Afloramiento: | 3 | Coordenadas De ubicación UTM – DATUM WGS84 | X: 671972 |
| Datos Estructurales: | Rumbo: --- | | Y: 9513016 |
| | Buzamiento: --- | | Z: 1198 |
| | Potencia: 2.35 m | Relieve: | Llano () Bajo (x) Colinas () Montañoso () |
| Formación Geológica: | Qa | Descripción Litología: | una mezcla de arcilla y arena, enriquecida con una cantidad significativa de materia orgánica |
| Estado de Meteorización: | Bajo () Medio () Alto (x) | Tipo de Afloramiento: | Natural (x) Antrópico () |
| Tipo de discontinuidad : | Diaclasado () Zona de cisalla () Falla () Estratificación () Foliación () | | |
| Forma: | Plana () Ondulada (x) Muy ondulada () | | |
| Rugosidad: | Lisa () Rugosa () Muy Rugosa () | | |
| Relleno: | Sin relleno (x) Con relleno () | | |
| Consistencia del relleno: | Duro () Dureza media () Blanda () | | |
| Tipo de relleno: | Arenoso () Arcilloso () Silicatos () Arcilloso expansivo () Arcilloso reoso () | | |
| Grado de meteorización: | Rocas Sana () Algo Meteorizada () Moderadamente meteorizada (x) Altamente meteorizada () Completamente meteorizada () | | |
| Plasticidad: Baja | Elasticidad: Baja | Color: Amarillenta | Textura: Arcilla 40 % y arenas 60% |
| Tamaño de clastos: | 2 – 3 cm | Forma de Clastos: | Subangulosos – angulosos |
| Hidrogeología: | Seco () Húmedo (x) Goteos () Flujo () Cudal Estimado () | | |
| Vegetación: | Pastos (x) Bosque () Arbustos () Sin Vegetación () | | |
| Dimension | 1.86m | N° de capas: | ---- |



Fotografía:

Observaciones: es una mezcla de arcilla y arena, enriquecida con una cantidad significativa de materia orgánica. La textura de este suelo es de tipo combinado. La presencia de partículas de arena le confiere una textura granular, mientras que las partículas de arcilla, aunque finas, aportan cierta maleabilidad al suelo




Universidad Nacional de Loja
1859

Caracterización Geológica-Geotécnica Del Deslizamiento Ubicado en el Barrio Pindo Alto, Parroquia El Lucero, Cantón Calvas, Provincia De Loja


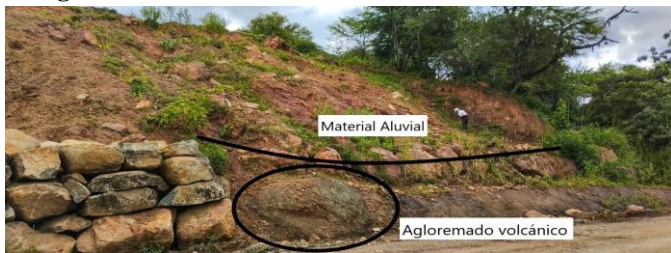
| | | | |
|----------------------------------|---|---|---|
| N° Afloramiento: | 4 | Coordenadas De ubicación UTM – DATUM WGS84 | X: 672051 |
| Datos Estructurales: | Rumbo: --- | | Y: 9512821 |
| | Buzamiento: --- | | Z: 1163 |
| | Potencia: 11.8 m | Relieve: | Llano () Bajo () Colinas (x) Montañoso () |
| Formación Geológica: | Qa-Q?Ei | Descripción Litología: | materiales rodados, como bloques, cantos y gravas |
| Estado de Meteorización: | Bajo () Medio () Alto (x) | Tipo de Afloramiento: | Natural (x) Antrópico () |
| Tipo de discontinuidad : | Diaclasado () Zona de cisalla () Falla () Estratificación (x) Foliación () | | |
| Forma: | Plana () Ondulada (x) Muy ondulada () | | |
| Rugosidad: | Lisa () Rugosa (x) Muy Rugosa () | | |
| Relleno: | Sin relleno (x) Con relleno () | | |
| Consistencia del relleno: | Duro () Dureza media () Blanda () | | |
| Tipo de relleno: | Arenoso () Arcilloso () Silicatos () Arcilloso expansivo () Arcilloso reñoso () | | |
| Grado de meteorización: | Rocas Sana () Algo Meteorizada (x) Moderadamente meteorizada () Altamente meteorizada () Completamente meteorizada () | | |
| Plasticidad: Media | Elasticidad: Baja | Color: Amarillento | Textura: Materiales rodados blques 25%, cantos 15 % y gravas 10% |
| Tamaño de clastos: | 2 – 5 cm | Forma de Clastos: | Subangulosos – angulosos |
| Hidrogeología: | Seco () Húmedo () Goteos (x) Flujo () Cudal Estimado () | | |
| Vegetación: | Pastos (x) Bosque () Arbustos () Sin Vegetación () | | |
| Dimension | 14.8 m | N° de capas: | 3 |

Fotografía:





Observaciones: compone de una combinación de materiales rodados, como bloques, cantos y gravas. Estos materiales están incrustados en una matriz areno arcillosa. Los fragmentos de roca son tobas de origen volcánico, con una textura afanítica que dificulta la inspección visual a simple vista.





|  Universidad Nacional de Loja Caracterización Geológica-Geotécnica Del Deslizamiento Ubicado en el Barrio Pindo Alto, Parroquia El Lucero, Cantón Calvas, Provincia De Loja | | | |
|--|---|--|---|
| N° Afloramiento: | 5 | Coordenadas De ubicación UTM – DATUM WGS84 | X: 671952 |
| Datos Estructurales: | Rumbo: --- | | Y: 9512730 |
| | Buzamiento: --- | | Z: 1140 |
| | Potencia: 42 m | Relieve: Llano () Bajo () Colinas (x) Montañoso () | |
| Formación Geológica: | Qa-Q?Ei | Descripción Litología: | Fragmentos grandes de roca de toba volcanica y arcilla arenosa |
| Estado de Metereorización: | Bajo () Medio () Alto (x) | Tipo de Afloramiento: | Natural (x) Antrópico () |
| Tipo de discontinuidad : | Diaclasado () Zona de cisalla () Falla () Estratificación () Foliación () | | |
| Forma: | Plana () Ondulada (x) Muy ondulada () | | |
| Rugosidad: | Lisa () Rugosa () Muy Rugosa () | | |
| Relleno: | Sin relleno (x) Con relleno () | | |
| Consistencia del relleno: | Duro () Dureza media () Blanda () | | |
| Tipo de relleno: | Arenoso () Arcilloso () Silicatos () Arcilloso expansivo () Arcilloso reñoso () | | |
| Grado de meteorización: | Rocas Sana () Algo Meteorizada () Moderadamente meteorizada (x) Altamente meteorizada () Completamente meteorizada () | | |
| Plasticidad: Alta | Elasticidad: Baja | Color: Marron Oscuro | Textura: 50% arcilla arenosa, fragmentos volcanicos 30% y cantos en un 20% |
| Tamaño de Clastos: | 1.2 – 1.7 m | Forma de Clastos: | Sub redondeaos |
| Hidrogeología: | Seco () Húmedo () Goteos (x) Flujo () Cudal Estimado () | | |
| Vegetación: | Pastos (x) Bosque () Arbustos () Sin Vegetación () | | |
| Dimension | 35m | N° de capas: | ---- |
| Fotografía: | | | |
|  | | | |
| Observaciones: se distingue un afloramiento donde indica un contacto entre dos litologías. En la parte superior, sedimentos coluviales deslizados, probablemente mal consolidados, que contienen fragmentos de roca y sedimentos variados | | | |



|  Universidad Nacional de Loja Caracterización Geológica-Geotécnica Del Deslizamiento Ubicado en el Barrio Pindo Alto, Parroquia El Lucero, Cantón Calvas, Provincia De Loja | | | |
|--|---|---|---|
| N° Afloramiento: | 6 | Coordenadas De ubicación UTM – DATUM WGS84 | X: 671906 |
| Datos Estructurales: | Rumbo: --- | | Y: 9512932 |
| | Buzamiento: --- | | Z: 1190 |
| | Potencia: 3.6 | Relieve: Llano () Bajo() Colinas (x) Montañoso () | |
| Formación Geológica: | Qa-Q?Ei | Descripción Litología: | Materia organica con roca volcanica toba, arena y arcilla |
| Estado de Metereorización: | Bajo () Medio (x) Alto () | Tipo de Afloramiento: | Natural (x) Antrópico () |
| Tipo de discontinuidad : | Diaclasado () Zona de cisalla () Falla () Estratificación () Foliación () | | |
| Forma: | Plana () Ondulada (x) Muy ondulada () | | |
| Rugosidad: | Lisa () Rugosa() Muy Rugosa () | | |
| Relleno: | Sin relleno (x) Con relleno () | | |
| Consistencia del relleno: | Duro () Dureza media () Blanda () | | |
| Tipo de relleno: | Arenoso () Arcilloso () Silicatos () Arcilloso expansivo () Arcilloso reñoso () | | |
| Grado de meteorización: | Rocas Sana () Algo Meteorizada (x) Moderadamente meteorizada () Altamente meteorizada () Completamente meteorizada () | | |
| Plasticidad: Media | Elasticidad: Baja | Color: Marrones claras | Textura: Tobas volcanicas 25%, arena 15% y arcilla 10% |
| Tamaño de clastos: | 1 – 3 cm | Forma de Clastos: | Redondeados – angulosos |
| Hidrogeología: | Seco () Húmedo (x) Goteos () Flujo () Cudal Estimado () | | |
| Vegetación: | Pastos (x) Bosque () Arbustos () Sin Vegetación () | | |
| Dimension | 1.85 m | N° de capas: | ---- |
| Fotografía: | | | |
|  | | | |
| Observaciones: se distingue fragmentos de clastos incrustados en una matriz areno arcillosa rica en materia orgánica. Estos fragmentos provienen de una roca de origen volcánico denominado tobas, con textura afanítica, tamaño de minerales muy pequeños. | | | |



Su coloración es grisácea, tamaño de clastos entre 2-3 cm, con forma angulosa.

|  Caracterización Geológica-Geotécnica Del Deslizamiento Ubicado en el Barrio Pindo Alto, Parroquia El Lucero, Cantón Calvas, Provincia De Loja | | | |
|---|---|---|---|
| N° Afloramiento: | 7 | Coordenadas De ubicación UTM – DATUM | X: 671876 |
| Datos Estructurales: | Rumbo: N12°E | | WGS84 |
| | Buzamiento: 72° | Z: 1135 | |
| | Potencia: 20 m | Relieve: | Llano () Bajo () Colinas (x) Montañoso () |
| Formación Geológica: | Qa-Q?Ei | Descripción Litología: | Volcanosedimentos con tobas volcanicas estratificadas, arenisca y arcilla |
| Estado de Meteorización: | Bajo () Medio () Alto (x) | Tipo de Afloramiento: | Natural (x) Antrópico () |
| Tipo de discontinuidad : | Diaclasado (x) Zona de cisalla () Falla () Estratificación () Foliación () | | |
| Forma: | Plana () Ondulada (x) Muy ondulada () | | |
| Rugosidad: | Lisa () Rugosa (x) Muy Rugosa () | | |
| Relleno: | Sin relleno (x) Con relleno () | | |
| Consistencia del relleno: | Duro () Dureza media () Blanda () | | |
| Tipo de relleno: | Arenoso () Arcilloso () Silicatos () Arcilloso expansivo () Arcilloso renoso () | | |
| Grado de meteorización: | Rocas Sana () Algo Meteorizada () Moderadamente meteorizada (x) Altamente meteorizada () Completamente meteorizada () | | |
| Plasticidad: Alta | Elasticidad: Baja | Color: Gris, amarillo rojiso | Textura: 15% arenisca y arcilla y 30% fragmentos volcanicos |
| Tamaño de Clastos: | 2-5 cm | Forma de Clastos: | Sub redondeaos |
| Hidrogeología: | Seco () Húmedo () Goteos () Flujo (x) Cudal Estimado () | | |
| Vegetación: | Pastos (x) Bosque () Arbustos () Sin Vegetación () | | |
| Dimension | 22 m | N° de capas: | 2 |
| Fotografía: | | | |
|  | | | |
| Observaciones: el afloramiento geológico presenta tobas de origen volcánico, estratificado y poco consolidado. Estas tobas se han formado a partir de ceniza y fragmentos | | | |



volcánicos que se acumularon y cementaron con el tiempo. La textura de estas tobas es afanítica, con estructura finamente granulada.

|  <p style="text-align: center;"><i>Caracterización Geológica-Geotécnica Del Deslizamiento Ubicado en el Barrio Pindo Alto, Parroquia El Lucero, Cantón Calvas, Provincia De Loja</i></p> | | | |
|--|--|---|--|
| N° Afloramiento: | 8 | Coordenadas De ubicación UTM – DATUM WGS84 | X: 671941 |
| Datos Estructurales: | Rumbo: --- | | Y: 9512864 |
| | Buzamiento: --- | | Z: 1175 |
| | Potencia: 7.2 m | Relieve: Llano () Bajo () Colinas (x) Montañoso () | |
| Formación Geológica: | Q?Ei | Descripción Litología: | Contacto entre tobas volcanicas y aglomerado volcanico |
| Estado de Metereorización: | Bajo () Medio (x) Alto () | Tipo de Afloramiento: | Natural (x) Antrópico () |
| Tipo de discontinuidad : | Diaclasado () Zona de cisalla () Falla () Estratificación () Foliación () | | |
| Forma: | Plana () Ondulada (x) Muy ondulada () | | |
| Rugosidad: | Lisa () Rugosa () Muy Rugosa () | | |
| Relleno: | Sin relleno (x) Con relleno () | | |
| Consistencia del relleno: | Duro () Dureza media () Blanda () | | |
| Tipo de relleno: | Arenoso () Arcilloso () Silicatos () Arcilloso expansivo () Arcilloso reno () | | |
| Grado de meteorización: | Rocas Sana () Algo Meteorizada (x) Moderadamente meteorizada () Altamente meteorizada () Completamente meteorizada () | | |
| Plasticidad: Baja | Elasticidad: Baja | Color: Marron oscuras | Textura: arcilla arena en un 10 % y aglomerados con clastos volcanicos 90% |
| Tamaño de clastos: | 10-20 cm | Forma de Clastos: | Sub redondeos-redondeados |
| Hidrogeología: | Seco (x) Húmedo () Goteos () Flujo () Cudal Estimado () | | |
| Vegetacion: | Pastos () Bosque (x) Arbustos () Sin Vegetación () | | |
| Dimension | 4.4 m | N° de capas: | ---- |
|  | | Fotografía: | |
| <p>Observaciones: es la continuación del contacto entre el material aluvial y el aglomerado volcánico. La distinción notable del contacto entre estas dos litologías indica que hay una clara discontinuidad geológica entre ellas. Este tipo de contacto a menudo se forma</p> | | | |



debido a eventos geológicos como la deposición de sedimentos coluviales sobre una base más antigua de aglomerado volcánico



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

*Caracterización Geológica-Geotécnica Del Deslizamiento
Ubicado en el Barrio Pindo Alto, Parroquia El Lucero, Cantón
Calvas, Provincia De Loja*

| | | | |
|--------------------------------------|--|---|--|
| N° Afloramiento: | 9 | Coordenadas De ubicación UTM – DATUM WGS84 | X: 671966 |
| Datos Estructurales: | Rumbo: --- | | Y: 9512846 |
| | Buzamiento: --- | | Z: 1155 |
| | Potencia: 2.7 m | Relieve: Llano () Bajo(x) Colinas () Montañoso () | |
| Formación Geológica: | Q?Ei | Descripción Litología: | Aglomerados volcanicos |
| Estado de Meteorización: | Bajo () Medio () Alto (x) | Tipo de Afloramiento: | Natural (x) Antrópico () |
| Tipo de discontinuidad : | Diaclasado () Zona de cisalla () Falla () Estratificación () Foliación () | | |
| Forma: | Plana () Ondulada (x) Muy ondulada () | | |
| Rugosidad: | Lisa () Rugosa() Muy Rugosa () | | |
| Relleno: | Sin relleno (x) Con relleno () | | |
| Consistencia del relleno: | Duro () Dureza media () Blanda () | | |
| Tipo de relleno: | Arenoso () Arcilloso () Silicatos () Arcilloso expansivo () Arcilloso reñoso () | | |
| Grado de meteorización: | Rocas Sana () Algo Meteorizada () Moderadamente meteorizada (x) Altamente meteorizada () Completamente meteorizada () | | |
| Plasticidad: --- | Elasticidad: - ---- | Color: Marron claro | Textura: aglomerados con 85 % y contenido organico 15% |
| Tamaño de clastos: | 5-6 cm | Forma de Clastos: | Sub redondeaos-redondeados |
| Hidrogeología: | Seco (x) Húmedo () Goteos () Flujo () Cudal Estimado () | | |
| Vegetacion: | Pastos () Bosque () Arbustos () Sin Vegetación (x) | | |
| Dimension | 1.7 m | N° de capas: | ---- |



Fotografía:



Observaciones: se muestra un notorio afloramiento de aglomerado volcánico, formado por fragmentos de roca volcánica. La textura de los aglomerados es heterogénea, con



fragmentos angulosos y subangulosos, entendiendo que los mas redondeados han experimentado algún grado de transporte y desgaste. Presentan una matriz cementada.

|  Universidad Nacional de Loja Caracterización Geológica-Geotécnica Del Deslizamiento Ubicado en el Barrio Pindo Alto, Parroquia El Lucero, Cantón Calvas, Provincia De Loja | | | |
|--|--|---|--|
| N° Afloramiento: | 10 | Coordenadas De ubicación UTM – DATUM WGS84 | X:671876 |
| Datos Estructurales: | Rumbo:----- | | Y:9512777 |
| | Buzamiento: ---- | | Z: 1135 |
| | Potencia: 16 m | | Relieve: Llano () Bajo() Colinas (x) Montañoso () |
| Formación Geológica: | Qa-Q?Ei | Descripción Litología: | presenta roca volcánica como tobas dacíticas |
| Estado de Meteorización: | Bajo () Medio () Alto (x) | Tipo de Afloramiento: | Natural (x) Antrópico () |
| Tipo de discontinuidad : | Diaclasado (x) Zona de cisalla () Falla () Estratificación () Foliación () | | |
| Forma: | Plana () Ondulada (x) Muy ondulada () | | |
| Rugosidad: | Lisa () Rugosa (x) Muy Rugosa () | | |
| Relleno: | Sin relleno (x) Con relleno () | | |
| Consistencia del relleno: | Duro () Dureza media () Blanda () | | |
| Tipo de relleno: | Arenoso () Arcilloso () Silicatos () Arcilloso expansivo () Arcilloso reñoso () | | |
| Grado de meteorización: | Rocas Sana () Algo Meteorizada () Moderadamente meteorizada (x) Altamente meteorizada () Completamente meteorizada () | | |
| Plasticidad: Alta | Elasticidad: Baja | Color: Gris, amarillo rojiso | Textura: 15% arenisca y arcilla y 30% fragmentos volcanicos |
| Tamaño de Clastos: | 2-5 cm | Forma de Clastos: | Sub redondeaos |
| Hidrogeología: | Seco () Húmedo () Goteos () Flujo (x) Cudal Estimado () | | |
| Vegetacion: | Pastos (x) Bosque () Arbustos () Sin Vegetación () | | |
| Dimension | 22 m | N° de capas: | 2 |
| Fotografía: | | | |
|  | | | |
| Observaciones: presenta roca volcánica como tobas dacíticas, caracterizadas principalmente por tu alto contenido de sílice. Tienen una textura finamente granular. No | | | |



se ha podido formar un macizo rocoso debido a la menor consolidación y resistencia a la erosión de la roca. Los fragmentos de la roca pueden presentar varios tamaños entre 3-9 cm con forma subangulosa. La coloración de las tocas dacíticas es amarillenta naranja.



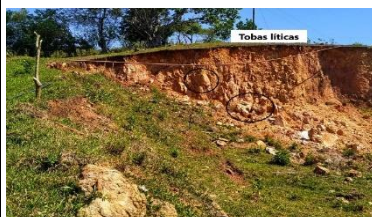
UNL

Universidad
Nacional
de Loja

*Caracterización Geológica-Geotécnica Del Deslizamiento
Ubicado en el Barrio Pindo Alto, Parroquia El Lucero, Cantón
Calvas, Provincia De Loja*

| | | | |
|----------------------------------|---|---|--|
| N° Afloramiento: | 11 | Coordenadas De ubicación UTM – DATUM WGS84 | X: 672037 |
| Datos Estructurales: | Rumbo: ---- | | Y: 9512703 |
| | Buzamiento: ----- | | Z: 1147 |
| | Potencia: 15 m | Relieve: Llano () Bajo () Colinas (x) Montañoso () | |
| Formación Geológica: | Qa-Q?Ei | Descripción Litología: | Toba líticas, compuestas principalmente por fragmentos de lava o ceniza volcánica. |
| Estado de Meteorización: | Bajo () Medio () Alto (x) | Tipo de Afloramiento: | Natural (x) Antrópico () |
| Tipo de discontinuidad : | Diaclasado () Zona de cisalla () Falla () Estratificación (x) Foliación () | | |
| Forma: | Plana () Ondulada (x) Muy ondulada () | | |
| Rugosidad: | Lisa () Rugosa (x) Muy Rugosa () | | |
| Relleno: | Sin relleno (x) Con relleno () | | |
| Consistencia del relleno: | Duro () Dureza media () Blanda () | | |
| Tipo de relleno: | Arenoso () Arcilloso () Silicatos () Arcilloso expansivo () Arcilloso reno () | | |
| Grado de meteorización: | Rocas Sana () Algo Meteorizada (x) Moderadamente meteorizada () Altamente meteorizada () Completamente meteorizada () | | |
| Plasticidad: Media | Elasticidad: Baja | Color: Naranjas rojizas | Textura: Arenas 15%, arcillas arenosas 25%, limos 10 % y roca de toba volcánica 50% |
| Tamaño de clastos: | 2 – 5 cm | Forma de Clastos: | Subangulosos – angulosos |
| Hidrogeología: | Seco () Húmedo () Goteos (x) Flujo () Cudal Estimado () | | |
| Vegetación: | Pastos (x) Bosque () Arbustos () Sin Vegetación () | | |
| Dimension | 30 m | N° de capas: | 3 |

Fotografía:



Observaciones: se expone un afloramiento de origen volcánico con tobas líticas,



compuestas principalmente por fragmentos de lava o ceniza volcánica. Se encuentran poco consolidadas, por lo que están más susceptibles a la erosión. La tonalidad es naranja. El tamaño de los clastos es variable, entre los 3-7 cm, con forma angulosa y subangulosa.



Anexo 3. Ensayos SPT



ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR S.P.T
Norma - ASTM D 1586

ANEXO 1

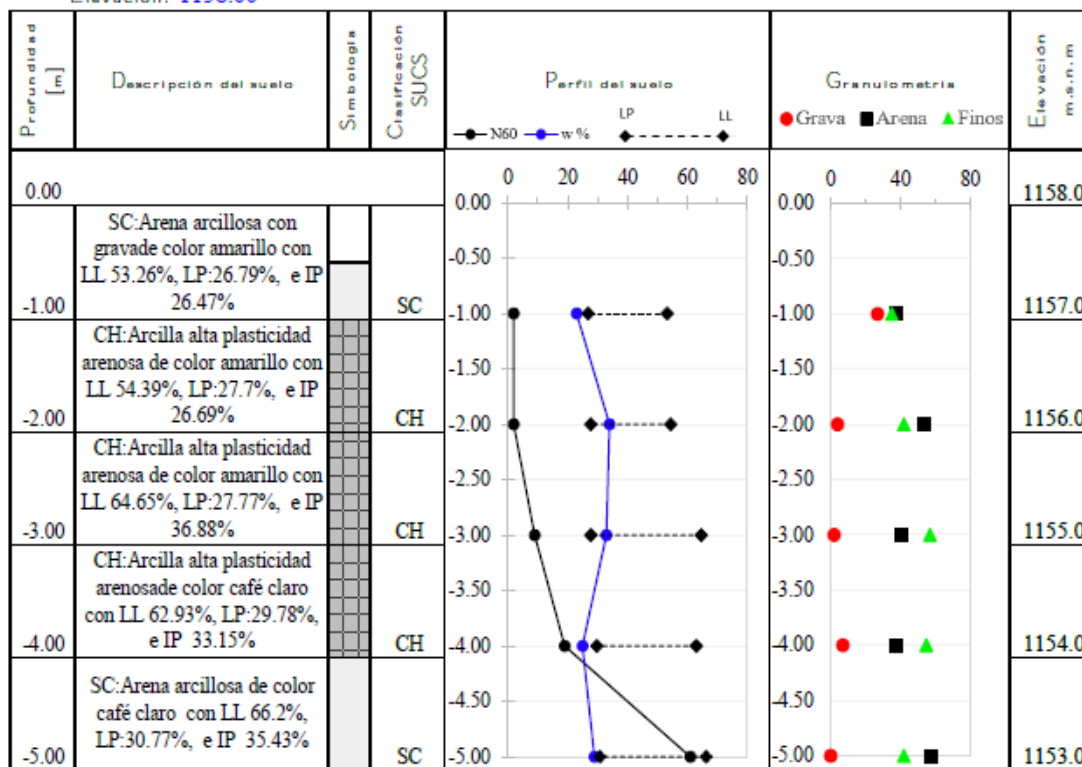
PERFORACIÓN **1**

| | | | |
|--------------|---|----------|------------------------------|
| Proyecto: | Estudio geológico geotécnico del deslizamiento ubicado en el barrio Pindo Alto, parroquia Lucero, cantón Calvas, provincia de Loja. | | |
| Provincia: | Loja | Cantón: | Calvas |
| Ubicación: | Barrio Pindo Alto | | |
| Solicitante: | Sr. Anthony Jimenez Cumbicus | Elabora: | DICONS GEOTÉCNICO Cia. Ltda. |
| Fecha: | 11/18/2022 | | |

Detalle de prueba

Nivel de ref: 0.00 desde el nivel actual del terreno
 N: 9512867.00
 E: 671960.00
 Elevación: 1158.00

Clima: Despejado
 Prof. Sondeo: -3.00 m
 Prof. N.F.: nd



Simbología

- Arcilla
- Limo
- Arena
- Gravas

Características del equipo

- Peso del martillo 63.5 kg
- Altura de caída: 0.76 m
- Diametro de tubo de muestreo 0.035 m

Ing. MSc. Vinicio F. Guachizaca C.
Especialista Geotécnico

Dirección: Av de los Paltas y Agustín Aguirre (Frente a la ANT) N° 811-16
Tel: (07) 30 262 67 - Cel: +593 96 710 5479



CONSULTORA & CONSTRUCTORA
DICONS
INGENIERÍA S.A. LTDA.

ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR S.P.T
Norma - ASTM D 1586

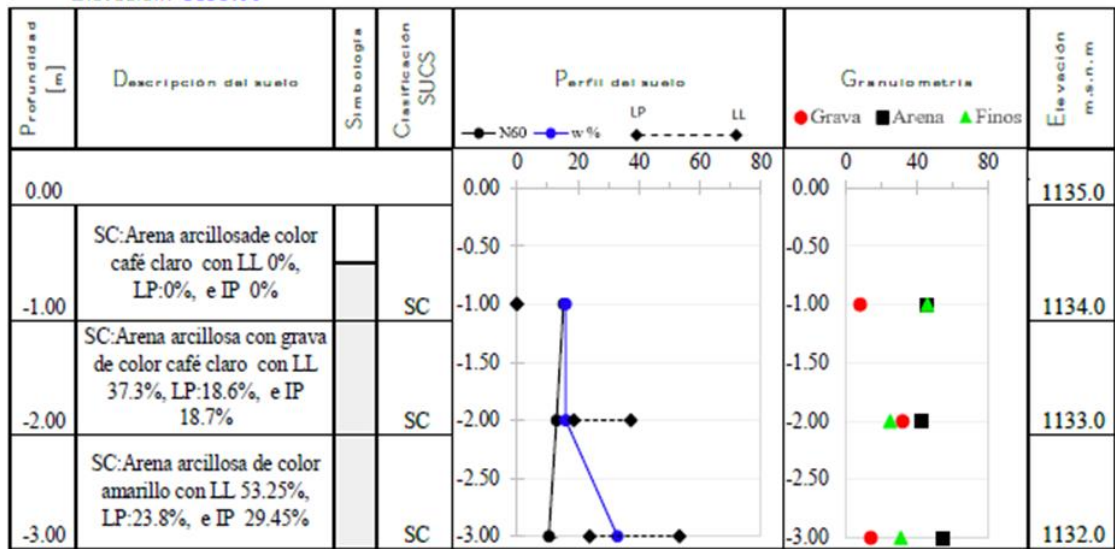
ANEXO 1

PERFORACIÓN 2

| | | | |
|--------------|---|----------|------------------------------|
| Proyecto: | Estudio geológico geotécnico del deslizamiento ubicado en el barrio Pindo Alto, parroquia Lucero, cantón Calvas, provincia de Loja. | | |
| Provincia: | Loja | Cantón: | Calvas |
| Ubicación: | Barrio Pindo Alto | | |
| Solicitante: | Sr. Anthony Jimenez Cumbicus | Elabora: | DICONS GEOTÉCNICO Cia. Ltda. |
| Fecha: | 11/18/2022 | | |

Detalle de prueba

Nivel de rer: 0.00 desde el nivel actual del terreno
 N: 9512777.00
 E: 671934.00
 Elevación: 1135.00
 Clima: Despejado
 Pror. Sondeo: -3.00 m
 Pror. N.F.: nd



Simbología

- Arcilla
- Limo
- Arena
- Gravas

Características del equipo

Peso del martillo 63.5 kg
 Altura de caída: 0.76 m
 Diámetro de tubo de muestreo 0.035 m

Ing. MSc. Vinicio F. Guachizaca C.
 Especialista Geotécnico
 Dirección: Av de los Paltas y Agustín Aguirre (Frente a la ANT) N° 811-16
 Tel: (07) 30 262 67 – Cel: +593 96 710 5479

Pag. 1/11



Anexo 4. Ensayos SEVS

SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL ARREGLO SCHLUMBERGER



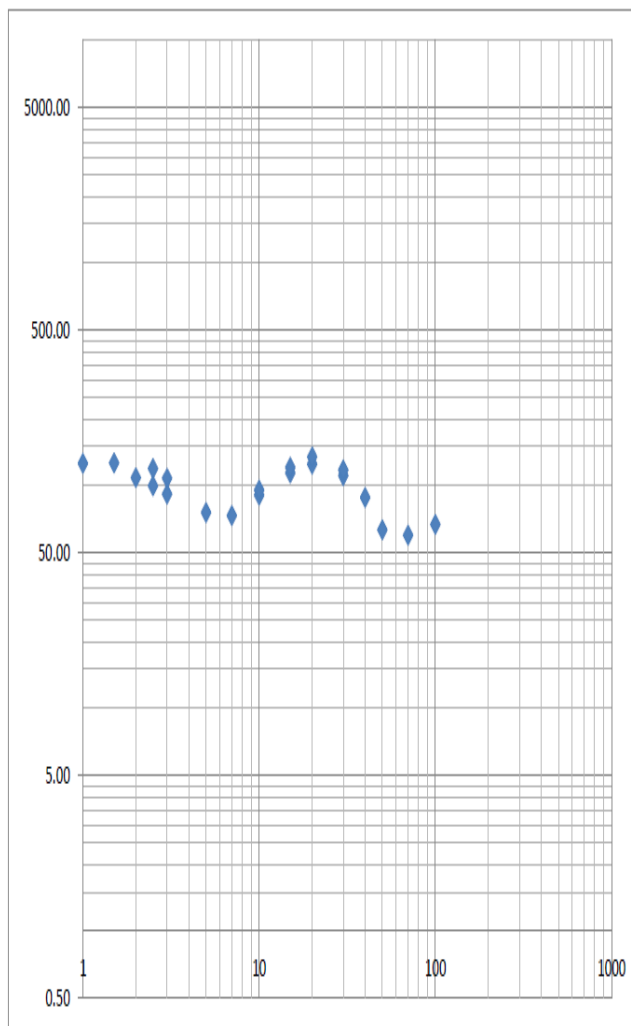
Fecha:

Proyecto: CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTECNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO EN EL BARRIO PINDO ALTO, PARROQUIA EL LUCERO, CANTÓN CALVAS, PROVINCIA DE LOJA.

Solicita: Anthony Jiménez C.
Coordenadas: X: 671976.6 Y: 9513081
Realizó: Claudel Guerrero

SEV: 1 Parte superior de la zona de estudio
Azimut: E-O

| AB/2 | MN/2 | K | $\Delta v/i$ | ρ_a |
|------|------|---------|--------------|----------|
| 1 | 0.5 | 2.36 | 53.634 | 126.37 |
| 1.5 | 0.5 | 6.28 | 20.168 | 126.72 |
| 2 | 0.5 | 11.78 | 9.259 | 109.08 |
| 2.5 | 0.5 | 18.85 | 5.3112 | 100.11 |
| 2.5 | 1 | 8.25 | 14.499 | 119.57 |
| 3 | 0.5 | 27.5 | 3.3434 | 91.91 |
| 3 | 1 | 12.6 | 8.6198 | 108.32 |
| 5 | 1 | 37.7 | 2.014 | 75.93 |
| 7 | 1 | 75.4 | 0.97533 | 73.54 |
| 10 | 1 | 155.5 | 0.58436 | 90.87 |
| 10 | 2.5 | 58.9 | 1.6247 | 95.70 |
| 15 | 1 | 351.9 | 0.32498 | 114.35 |
| 15 | 2.5 | 137.4 | 0.88206 | 121.23 |
| 20 | 2.5 | 247.4 | 0.5057 | 125.11 |
| 20 | 10 | 47.1 | 2.8698 | 135.24 |
| 30 | 2.5 | 561.6 | 0.19832 | 111.37 |
| 30 | 10 | 125.7 | 0.93742 | 117.80 |
| 40 | 10 | 235.6 | 0.37633 | 88.67 |
| 50 | 10 | 377.0 | 0.16864 | 63.58 |
| 70 | 10 | 754.0 | 0.079662 | 60.06 |
| 100 | 10 | 1555.1 | 0.0432024 | 67.18355 |
| 150 | 10 | 3518.6 | | |
| 200 | 10 | 6267.5 | | |
| 350 | 10 | 19226.5 | | |



Ing. Ovidio Castillo Jaramillo
LABORATORIO

Tele-fax: (07)2613699. Celular: 093883061-099692335-0980253180 Email: estsuelcon@gmail.com



**SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL
ARREGLO SCHLUMBERGER**



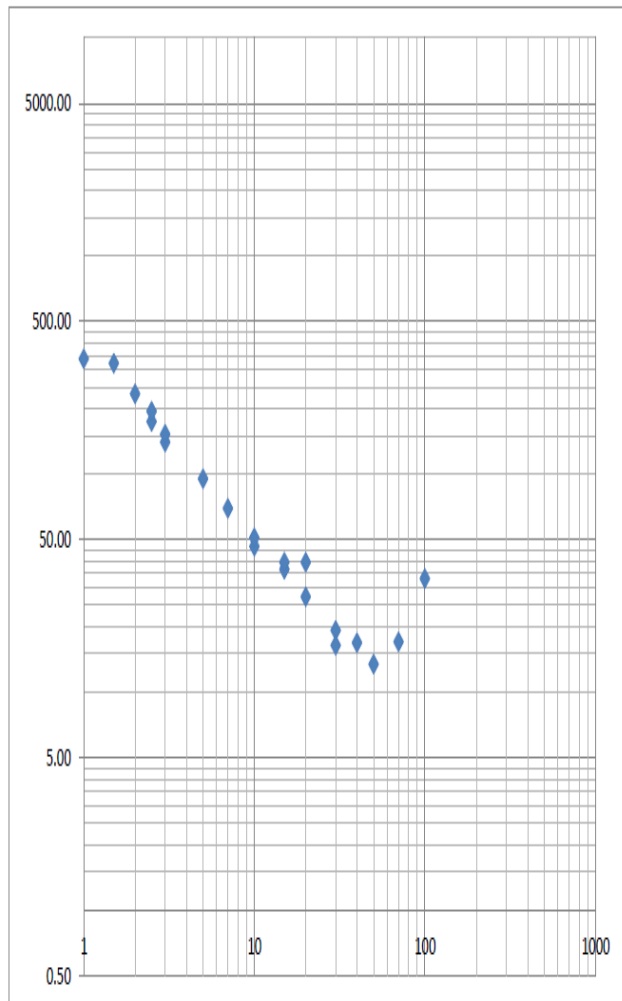
Fecha:

Proyecto: CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTECNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO EN EL BARRIO PINDO ALTO, PARROQUIA EL LUCERO, CANTÓN CALVAS, PROVINCIA DE LOJA.

Solicita: Anthony Jiménez C.
Coordenadas: X: 671949.4 Y: 9512924
Realizó: Claudel Guerrero

SEV: 2 Cabeza del talud
Azimut: E-O

| AB/2 | MN/2 | K | $\Delta v/i$ | ρ_a |
|------|------|---------|--------------|----------|
| 1 | 0.5 | 2.36 | 143.16 | 337.31 |
| 1.5 | 0.5 | 6.28 | 51.051 | 320.76 |
| 2 | 0.5 | 11.78 | 19.786 | 233.10 |
| 2.5 | 0.5 | 18.85 | 9.2351 | 174.08 |
| 2.5 | 1 | 8.25 | 23.503 | 193.82 |
| 3 | 0.5 | 27.5 | 5.0946 | 140.05 |
| 3 | 1 | 12.6 | 12.113 | 152.22 |
| 5 | 1 | 37.7 | 2.5175 | 94.91 |
| 7 | 1 | 75.4 | 0.92347 | 69.63 |
| 10 | 1 | 155.5 | 0.29929 | 46.54 |
| 10 | 2.5 | 58.9 | 0.86346 | 50.86 |
| 15 | 1 | 351.9 | 0.10373 | 36.50 |
| 15 | 2.5 | 137.4 | 0.28688 | 39.43 |
| 20 | 2.5 | 247.4 | 0.1105 | 27.34 |
| 20 | 10 | 47.1 | 0.83777 | 39.48 |
| 30 | 2.5 | 561.6 | 0.03411 | 19.15 |
| 30 | 10 | 125.7 | 0.1301 | 16.35 |
| 40 | 10 | 235.6 | 0.07129 | 16.80 |
| 50 | 10 | 377.0 | 0.03566 | 13.44 |
| 70 | 10 | 754.0 | 0.02254 | 16.99 |
| 100 | 10 | 1555.1 | 0.02133 | 33.17 |
| 150 | 10 | 3518.6 | | |
| 200 | 10 | 6267.5 | | |
| 350 | 10 | 19226.5 | | |



Ing. Ovidio Castillo Jaramillo
LABORATORIO

Tele-fax: (07)2613699. Celular: 093883061-099692335-0980253180 Email: estsuelcon@gmail.com



SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL ARREGLO SCHLUMBERGER

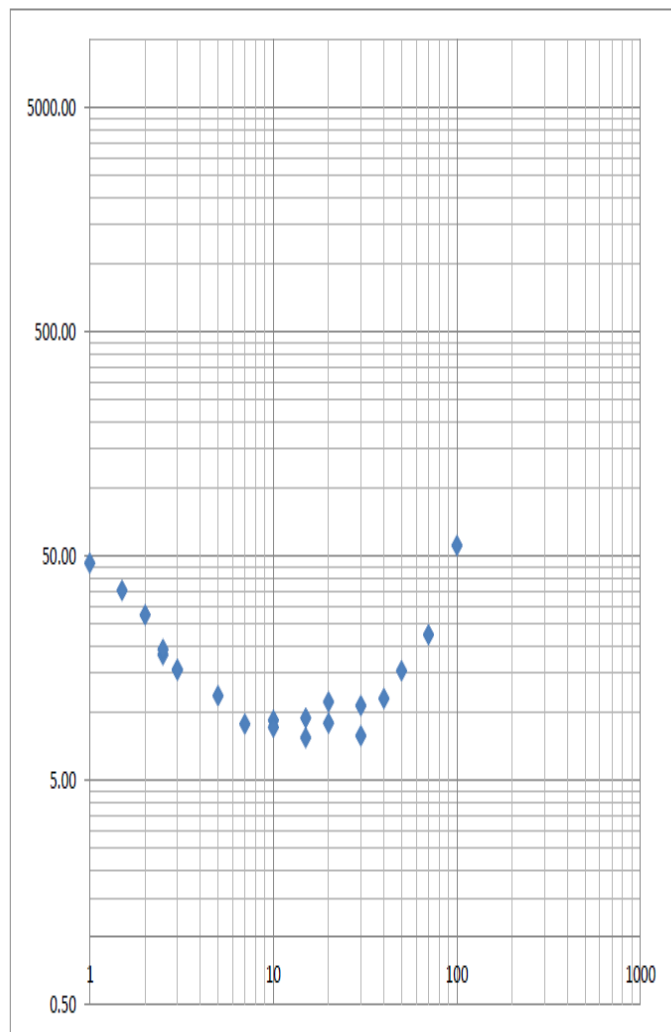
Fecha:

Proyecto: CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTECNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO EN EL BARRIO PINDO ALTO, PARROQUIA EL LUCERO, CANTÓN CALVAS, PROVINCIA DE LOJA.

Solicita: Anthony Jiménez C.
Coordendas: X: 671908.6 Y: 9512756
Realizó: Claudel Guerrero

SEV: 3 Pie de talud, margen izquierdo de la vía Lucero-Amaluza
Azimut: E-O

| AB/2 | MN/2 | K | $\Delta v/i$ | ρ_a |
|------|------|---------|--------------|----------|
| 1 | 0.5 | 2.36 | 19.779 | 46.60 |
| 1.5 | 0.5 | 6.28 | 5.5963 | 35.16 |
| 2 | 0.5 | 11.78 | 2.3242 | 27.38 |
| 2.5 | 0.5 | 18.85 | 0.96431 | 18.18 |
| 2.5 | 1 | 8.25 | 2.3327 | 19.24 |
| 3 | 0.5 | 27.5 | 0.56982 | 15.66 |
| 3 | 1 | 12.6 | 1.2372 | 15.55 |
| 5 | 1 | 37.7 | 0.31715 | 11.96 |
| 7 | 1 | 75.4 | 0.11889 | 8.96 |
| 10 | 1 | 155.5 | 0.059739 | 9.29 |
| 10 | 2.5 | 58.9 | 0.14664 | 8.64 |
| 15 | 1 | 351.9 | 0.022048 | 7.76 |
| 15 | 2.5 | 137.4 | 0.068969 | 9.48 |
| 20 | 2.5 | 247.4 | 0.045287 | 11.20 |
| 20 | 10 | 47.1 | 0.19128 | 9.01 |
| 30 | 2.5 | 561.6 | 0.01411 | 7.92 |
| 30 | 10 | 125.7 | 0.085897 | 10.79 |
| 40 | 10 | 235.6 | 0.049237 | 11.60 |
| 50 | 10 | 377.0 | 0.040967 | 15.44 |
| 70 | 10 | 754.0 | 0.029563 | 22.29 |
| 100 | 10 | 1555.1 | 0.035926 | 55.87 |
| 150 | 10 | 3518.6 | | |
| 200 | 10 | 6267.5 | | |
| 350 | 10 | 19226.5 | | |



Ing. Ovidio Castillo Jaramillo
LABORATORIO

Tele-fax: (07)2613699. Celular: 093883061-099692335-0980253180 Email: estsuelcon@gmail.com



Anexo 5. Ensayos de corte directo

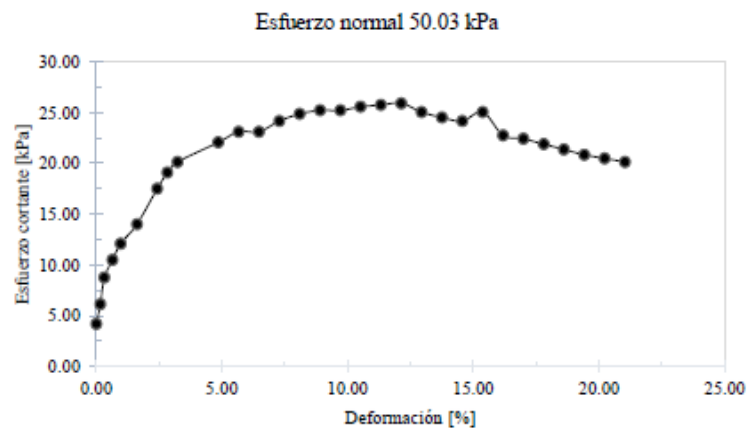


**ENSAYO DE CORTE DIRECTO
 NORMA ASTM D 3080**

ANEXO 8

| | | | |
|--------------|---|----------|-----------------------------|
| Proyecto: | Estudio geológico geotécnico del deslizamiento ubicado en el barrio Pindo Alto, parroquia Lucero, cantón Calvas, provincia de Loja. | | |
| Provincia: | Loja | Cantón: | Calvas |
| Ubicación: | Barrio Pindo Alto | Elabora: | DiconsGeotécnico Cia. Ltda. |
| Solicitante: | Sr. Anthony Jimenez Cubicus | | |
| Fecha: | 11/18/2022 | | |

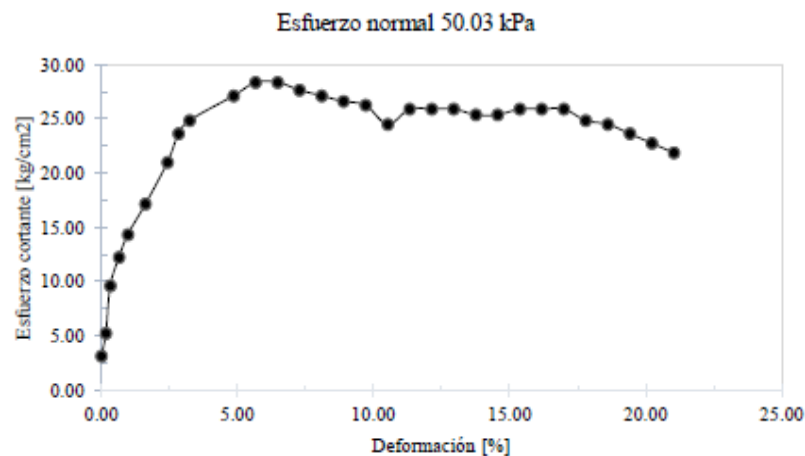
| | | | | | | | | | | |
|----------|--------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| 300 min. | 8.300 | 13.800 | 900.000 | -3.000 | 0.1456 | -0.002 | 14.563 | -0.150 | 7.385 | 24.152 |
| 360 min. | 9.000 | 14.300 | 950.000 | -3.800 | 0.1537 | -0.002 | 15.372 | -0.190 | 7.653 | 25.028 |
| 420 min. | 9.300 | 13.000 | 1000.000 | -5.000 | 0.1618 | -0.003 | 16.181 | -0.251 | 6.957 | 22.752 |
| 480 min. | 10.000 | 12.800 | 1050.000 | -5.500 | 0.1699 | -0.003 | 16.990 | -0.276 | 6.850 | 22.402 |
| 540 min. | 10.300 | 12.500 | 1100.000 | -6.300 | 0.1780 | -0.003 | 17.799 | -0.316 | 6.689 | 21.876 |
| | 11.000 | 12.200 | 1150.000 | -6.900 | 0.1861 | -0.003 | 18.608 | -0.346 | 6.529 | 21.353 |
| | 11.300 | 11.900 | 1200.000 | -7.200 | 0.1942 | -0.004 | 19.417 | -0.361 | 6.368 | 20.826 |
| | 12.000 | 11.700 | 1250.000 | -7.800 | 0.2023 | -0.004 | 20.227 | -0.391 | 6.261 | 20.476 |
| | 12.300 | 11.500 | 1300.000 | -8.100 | 0.2104 | -0.004 | 21.036 | -0.406 | 6.154 | 20.126 |





| | | | | | | | | | |
|--------------|---|--|--|----------|---------|--------|------------|--|--|
| Proyecto: | Estudio geológico geotécnico del deslizamiento ubicado en el barrio Pindo Alto, parroquia Lucero, cantón Calvas, provincia de Loja. | | | | | | | | |
| Provincia: | Loja | | | | Cantón: | Calvas | | | |
| Ubicación: | Barrio Pindo Alto | | | | | | | | |
| Solicitante: | Sr. Anthony Jimenez Cumbicus | | | Elabora: | | | 11/18/2022 | | |
| Fecha: | 00-01-00 | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|--------|--------|----------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|
| 8.300 | 14.500 | 900.000 | 0.800 | 0.1456 | 0.000 | 14.563 | 0.040 | 7.760 | 25.378 |
| 9.000 | 14.800 | 950.000 | 0.800 | 0.1537 | 0.000 | 15.372 | 0.040 | 7.920 | 25.902 |
| 9.300 | 14.800 | 1000.000 | 0.800 | 0.1618 | 0.000 | 16.181 | 0.040 | 7.920 | 25.902 |
| 10.000 | 14.800 | 1050.000 | 0.800 | 0.1699 | 0.000 | 16.990 | 0.040 | 7.920 | 25.902 |
| 10.300 | 14.200 | 1100.000 | 0.800 | 0.1780 | 0.000 | 17.799 | 0.040 | 7.599 | 24.852 |
| 11.000 | 14.000 | 1150.000 | 0.800 | 0.1861 | 0.000 | 18.608 | 0.040 | 7.492 | 24.502 |
| 11.300 | 13.500 | 1200.000 | 0.800 | 0.1942 | 0.000 | 19.417 | 0.040 | 7.225 | 23.629 |
| 12.000 | 13.000 | 1250.000 | 0.800 | 0.2023 | 0.000 | 20.227 | 0.040 | 6.957 | 22.752 |
| 12.300 | 12.500 | 1300.000 | 0.800 | 0.2104 | 0.000 | 21.036 | 0.040 | 6.689 | 21.876 |





Anexo 6. Certificado de traducción de resumen.

Loja, 30 de agosto del 2023

Yo, Lilibeth Johana Bravo Fajardo, con documento de identidad Nro. **2100510854**, poseedora del certificado **NIVEL INTERMEDIO AVANZADO B2-INGLÉS**, avalado por Cambridge Assessment English, Número de Verificación: C0018683.

CERTIFICO:

Que el documento aquí compuesto es fiel a la traducción del idioma Español al idioma Inglés de un resumen del trabajo de titulación, la misma que se realizó en base a los documentos originales entregados por el autor, el Señor **ANTHONY JOSÉ JIMÉNEZ CUMBICUS**, con cedula de identidad Nro. **1150096095**, con el tema denominado “Caracterización geológica-geotécnica del deslizamiento ubicado en el barrio Pindo Alto, parroquia El Lucero, cantón Calvas, provincia de Loja”, traducción que servirá para fines personales de uso del cliente.

Lo certifico en honor a la verdad, y, a su vez autorizo al interesado a hacer uso del presente para los fines que considere pertinentes.



Ing. Lilibeth Johana Bravo Fajardo

C.I: 2100510854