



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**

**TEMA: “ESTUDIO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO DEL
DESLIZAMIENTO, EN EL SECTOR EL SAUCE - LA GRANJA DE LA
PARROQUIA RURAL MALACATOS, DEL CANTÓN LOJA Y
PROVINCIA DE LOJA”**

Tesis de grado previo a la
obtención del título de Ingeniero
en Geología Ambiental y
Ordenamiento Territorial.

AUTOR: CARLOS LUIS BERMEO BUSTAMANTE.
DIRECTOR: ING. DIEGO ISRAEL CASTILLO, Mg. Sc.

LOJA - ECUADOR

2021

II. CERTIFICACIÓN

Ingeniero.

Diego Israel Castillo Jaramillo

**DIRECTOR DE TESIS Y DOCENTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN
GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.**

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, realizado por el señor egresado: CARLOS LUIS BERMEO BUSTAMANTE con C.I.; 1104679434, en su proceso de investigación denominado “**ESTUDIO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO DEL DESLIZAMIENTO, EN EL SECTOR EL SAUCE - LA GRANJA DE LA PARROQUIA RURAL MALACATOS, DEL CANTÓN LOJA Y PROVINCIA DE LOJA**”, previo a la obtención del título de Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, el mismo que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, en consecuencia me permito autorizar para su presentación, sustentación y defensa.

Loja, 28 de agosto de 2020



Ing. Diego Israel Castillo Jaramillo. Mg. Sc.

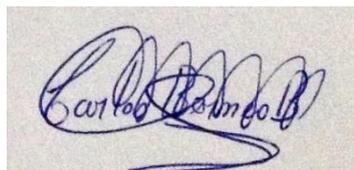
DIRECTOR DE TESIS

III. AUTORÍA

Yo, **CARLOS LUIS BERMEO BUSTAMANTE** declaro ser autor del proyecto de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente, acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula: 1104679434

Fecha: 04 de marzo de 2021

IV. CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN DEL TEXTO COMPLETO

Yo, **CARLOS LUIS BERMEO BUSTAMANTE**, declaro ser el autor de la tesis titulada: **“ESTUDIO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO DEL DESLIZAMIENTO, EN EL SECTOR EL SAUCE – LA GRANJA DE LA PARROQUIA RURAL MALACATOS, DEL CANTÓN LOJA Y PROVINCIA DE LOJA”**, como requisito para optar al grado de: **INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL**, autorizó 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 Digital Institucional.

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

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 4 días del mes de marzo de dos mil veintiuno.

Firma:



Autor: Carlos Luis Bermeo Bustamante.

Cédula: 1104679434

Correo electrónico: carlos07bermeo@hotmail.com

Teléfono: 072723014 **Celular:** 0998416574

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Diego Israel Castillo Jaramillo, Mg. Sc.

Tribunal de grado: Ing. Julio Eduardo Romero Sigcho, Mg. Sc.

Ing. Ángel Efrén Tamayo Jaramillo, Mg. Sc.

Ing. Carlos Javier Vásquez Monteros, Mg. Sc.

V. DEDICATORÍA

Dedico este proyecto de investigación principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mis padres, los cuales fueron pilares fundamentales en mi vida, sin ellos jamás hubiese podido conseguir lo que hasta ahora. Su tenacidad y lucha insaciable han hecho de ellos el gran ejemplo a seguir y destacar, no solo para mí, sino para mis hermanos. Y en memoria de mi abuelita Eleovina la cual siempre nos apoyó incondicional a toda la familia.

VI. AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer en primer lugar a Dios, por guiarme en el camino y fortalecerme espiritualmente para poder culminar un peldaño más en mi vida.

A toda mi familia, en especial a mis padres Franco y Mayra, como también a mis hermanos quienes con sus consejos fueron el motor de arranque y mi constante motivación, muchas gracias por su paciencia y comprensión, y sobre todas las cosas por su infinito amor.

Quiero mostrar mi gratitud a todas aquellas personas que estuvieron presentes en la realización de esta meta, que es tan importante para mí, agradecer su apoyo, sus palabras motivadoras, sus conocimientos y sus consejos.

Muestro mis más sinceros agradecimientos al Ing. Diego Castillo, quien, con su conocimiento y su guía en cada etapa del proyecto, fueron fundamental para el desarrollo y culminación de manera exitosa mi trabajo de titulación.

A mis maestros de la carrera, los cuales me han transmitido sus amplios conocimientos y sus sabios consejos. A todos mis compañeros con los cuales compartí experiencias gracias por toda su colaboración, en especialmente a mi amigo Ramiro por todo su apoyo.

Por último, a la gloriosa Universidad Nacional de Loja, y la Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial por haberme abierto las puertas, para poder realizar mis estudios en todos estos años.

VII. TABLA DE CONTENIDOS

II. CERTIFICACIÓN	ii
III. AUTORÍA	iii
IV. CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR	iv
V. DEDICATORÍA	v
VI. AGRADECIMIENTO	vi
1. TÍTULO.....	14
2. RESUMEN	15
3. INTRODUCCIÓN.....	17
3.1. OBJETIVOS.....	18
3.1.1. OBJETIVO GENERAL:.....	18
3.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	18
4. REVISIÓN DE LITERATURA	19
4.1. Topografía	19
4.1.1. Levantamiento Topográfico.....	19
4.2. Estudio Geológico	19
4.3. Geología	20
4.3.1. Geología Estructural	20
4.3.2. Mapeo Geológico.....	20
4.4. Geomorfología	21
4.4.1. Mapas geomorfológicos.....	22
4.5. Hidrología.....	22
4.5.1. Hidrogeología	22
4.5.2. Nivel Freático.....	23
4.5.3. Permeabilidad	23
4.6. Movimientos de Ladera.....	23
4.7. Geotecnia.....	33
4.8. Caracterización Geotécnica.....	34
4.8.1. Métodos Directos	34
4.8.2. Métodos Indirectos.....	36
4.9. Parámetros de Caracterización Geotécnica	39
4.9.1. Propiedades Físicas de los Suelos.....	40
4.9.2. Granulometría y Clasificación de los Suelos	40

4.9.3.	Resistencia Cortante del Suelo.....	43
4.9.4.	Análisis Geológico Geotécnico.....	48
5.	MATERIALES Y MÉTODOS	54
5.1.	Materiales y Equipos	54
5.2.	Metodología	55
5.2.1.	Investigación No Experimental.....	55
5.2.2.	Investigación Experimental	55
5.2.3.	Pre – Campo.....	56
5.2.4.	Campo	56
5.2.5.	Exploración	65
5.2.6.	Laboratorio (Resultados)	72
5.2.7.	Análisis Geológico – Geotécnico.....	77
6.	RESULTADOS	79
6.1.	Descripción General del Área de Estudio	79
6.1.1.	Ubicación Geográfica	79
6.1.2.	Acceso.....	80
6.1.3.	Características principales del movimiento de ladera.....	81
6.2.	Descripción Biofísica del Área de Estudio	82
6.2.1.	Clima.....	82
6.2.2.	Hidrografía	83
6.2.3.	Uso actual del Suelo.....	84
6.2.4.	Topografía.....	86
6.2.5.	Pendientes	86
6.2.6.	Geomorfología	87
6.2.7.	Geología Regional	90
6.3.	Geología Local	94
6.3.1.	Formación Santo Domingo	95
6.3.2.	Formación San Francisco.....	97
6.4.	Geología Estructural.....	98
6.5.	Caracterización Geotécnica.....	99
6.5.1.	Métodos Indirectos.....	99
6.5.2.	Métodos Directos	107
6.6.	Análisis Geológico – Geotécnico	121
6.6.1.	Análisis de Estabilidad.....	121
6.6.2.	Análisis de sensibilidad.....	124

6.7.	Medidas de Mitigación.....	125
6.7.1.	Drenajes Superficiales	126
6.7.2.	Drenajes Subterráneos	128
6.7.3.	Políticas de estado.....	131
7.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	132
8.	CONCLUSIONES	134
9.	RECOMENDACIONES	136
10.	BIBLIOGRAFÍA	137
11.	ANEXOS.....	141
	ANEXO 1: DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES AFLORAMIENTOS	142
	ANEXO 2: RESULTADOS DE SEV'S	147
	ANEXO 3: RESULTADOS DE ENSAYO S.P.T.....	151
	ANEXO 4: FORMATOS PARA MOVIMIENTOS EN MASA.....	165
	ANEXO 5: RESULTADOS DE ENSAYOS DE CORTE DIRECTO	166
	ANEXO 6: MAPAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	175

VIII. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Nomenclatura de taludes y laderas.....	25
Figura 2. Partes de un deslizamiento.	29
Figura 3. Deslizamiento rotacional típico. A) Movimiento de masas de tierra y B) Orientación de los árboles.....	30
Figura 4. Desplazamiento de rotación en una ladera.	31
Figura 5. Deslizamientos sucesivos dentro de un movimiento general de rotación.	31
Figura 6. Efecto del agua en un suelo.	33
Figura 7. Valores de resistividades de diferentes rocas y minerales, en ohm-m.	38
Figura 8. Dispositivo Wenner.	39
Figura 9. Dispositivo Schlumberger.	39
Figura 10. Símbolos y grupos de clasificación SUCS.	41
Figura 11. Límites de Atterberg.....	42
Figura 12. Resistencia a cortante del suelo.....	44
Figura 13. Evolvente de falla Mohr.	45
Figura 14. Movimiento de las dos mitades del ensayo de corte directo en caja.	47
Figura 15. Diagrama del ensayo de corte directo.	47
Figura 16. Circulo de Mohr para la prueba.....	48
Figura 17. Distribución de frecuencias del factor de seguridad.	51
Figura 18. Geometría de la rotura circular.....	53
Figura 19. Esquema de la metodología empleada.	56
Figura 20. Ficha técnica para la descripción de afloramientos.	59
Figura 21. Model Builder para obtener el modelo de pendientes.....	60
Figura 22. Modelo de construcción para el mapa de flujos superficiales estacionarios.	65
Figura 23. Esquema de SEV de cuatro electrodos.....	65
Figura 24. Curva de resistividad aparente de campo.	68
Figura 25. Curva teórica.	68
Figura 26. Especificaciones según la Norma ASTM - D1586.	69
Figura 27. Fuerzas que actúan en la dovela.	78
Figura 28. Ubicación geográfica del deslizamiento en estudio.	79
Figura 29. Acceso a la zona de estudio. A) De Quito hacia Loja y B) De Loja hacia el Sector del deslizamiento.	81
Figura 30. Delimitación y principales partes del deslizamiento en la ortofoto NVII-B4-A3.	82
Figura 31. Precipitación media mensual de la parroquia Malacatos.	83
Figura 32. Geología regional del área en estudio.	93
Figura 33. Mapa geológico del deslizamiento en estudio.....	94
Figura 34. Perfiles geológicos del deslizamiento en estudio.....	95
Figura 35. Ubicación de los sondeos eléctricos verticales en el deslizamiento en estudio. .	100
Figura 36. Curvas de resistividad y error admisible - SEV1.	101
Figura 37. Perfil geoelectrico - SEV 1.....	102
Figura 38. Curvas de resistividad y error admisible - SEV 2.	103
Figura 39. Perfil geoelectrico - SEV 2.....	104
Figura 40. Curvas de resistividad y error admisible - SEV 3.	105
Figura 41. Perfil geoelectrico - SEV 3.....	106
Figura 42. Corte geoelectrico (SEV 1 - SEV 2 - SEV 3).....	107
Figura 43. Ubicación de los SPT's en el deslizamiento en estudio.....	108

Figura 44. Clasificación y descripción - SPT 1.	109
Figura 45. Clasificación y descripción - SPT 2.	110
Figura 46. Clasificación y descripción - SPT 3.	111
Figura 47. Resumen de datos de campo, de laboratorio y resistencias obtenidas.	112
Figura 48. Valores típicos del comportamiento "A"	114
Figura 49. Profundidad vs Carga admisible neta - SPT 1.....	116
Figura 50. Profundidad vs Carga admisible neta - SPT 2.....	116
Figura 51. Profundidad vs Carga admisible neta - SPT 3.....	117
Figura 52. Profundidad vs humedad - SPT 1.....	118
Figura 53. Profundidad vs humedad - SPT 2.....	118
Figura 54. Profundidad vs humedad - SPT 3.....	119
Figura 55. Ubicación de muestras inalteradas en el deslizamiento en estudio.	120
Figura 56. Diseño del deslizamiento para el análisis de estabilidad.....	122
Figura 57. Análisis de estabilidad del deslizamiento en estudio en condición natural.....	123
Figura 58. Análisis de estabilidad del deslizamiento en estudio con nivel freático alto.	123
Figura 59. Análisis de sensibilidad del deslizamiento.....	125
Figura 60. Zanja de coronación para el control de aguas superficiales del deslizamiento. ...	127
Figura 61. Esquema en planta de canales colectores en el deslizamiento.	127
Figura 62. Canal de entrega con gradas de disipación en el deslizamiento.....	128
Figura 63. Diseño de un dren horizontal en el deslizamiento.....	129
Figura 64. Combinación de pozos verticales y drenes horizontales.	130

IX. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de movimientos en masa.....	27
Tabla 2. Rangos de resistividades de materiales saturados.....	38
Tabla 3. Símbolos y características generales de la clasificación SUCS.....	41
Tabla 4. Materiales y equipos utilizados.....	54
Tabla 5. Categorías y rangos de pendientes.....	60
Tabla 6. Categorías de forma de vertiente.	61
Tabla 7. Categorías de pendientes.....	62
Tabla 8. Categorías de desnivel relativo.	62
Tabla 9. Categorías de longitud de la vertiente.....	63
Tabla 10. Categorías de fondo de valle.....	63
Tabla 11. Ficha de fotointerpretación geomorfológica.....	64
Tabla 12. Parámetros de inversión.....	68
Tabla 13. Ensayos a realizar con su respectiva norma ASTM.....	72
Tabla 14. Estado de densificación de las arenas a partir del N del SPT.	72
Tabla 15. Correlación del valor N y la resistencia a la compresión simple (qu).	73
Tabla 16. Número de actividad aplicada a los suelos plásticos.	73
Tabla 17. Ensayos de acuerdo a las normas ASTM.....	73
Tabla 18. Coordenadas de ubicación del deslizamiento UTM WGS-84 Zona 17S.....	80
Tabla 19. Red de flujos superficiales.	84
Tabla 20. Rango de pendientes.	87
Tabla 21. Ubicación geográfica de las líneas SEV´s.	100
Tabla 22. Datos obtenidos en el campo - SEV 1.	101
Tabla 23. Datos obtenidos en campo - SEV 2.	103
Tabla 24. Datos obtenidos en campo - SEV 3.	105
Tabla 25. Ubicación geográfica de los SPT's.....	108
Tabla 26. Consistencia relativa.	112
Tabla 27. Resultados de consistencia relativa (CR).....	113
Tabla 28. Resultado de índice de liquidez (IL).....	113
Tabla 29. Clasificación de las arcillas según su comportamiento "A".	114
Tabla 30. Resultados del comportamiento "A".....	115
Tabla 31. Criterios para determinar el cambio de volumen.....	115
Tabla 32. Criterios para determinar el potencial expansivo.....	115
Tabla 33. Ubicación geográfica de las muestras inalteradas.	120
Tabla 34. Resultados de los ensayos de corte directo - MI 1.....	121
Tabla 35. Resultado de los ensayos de corte directo - MI 2.	121
Tabla 36. Parámetros geotécnicos para realizar el modelamiento.	122
Tabla 37. Resultado del análisis de estabilidad global del deslizamiento en estudio.	124

X. ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Ejecución del Levantamiento Topográfico	57
Fotografía 2. A) Descripción de afloramientos y B) Toma de medidas estructurales.....	58
Fotografía 3. A) Resistivímetro ABEM Terrameter, arreglo tipo Schumberger y B) Toma de datos.	66
Fotografía 4. A) Disposición del equipo SPT y B) Muestra etiquetada.	70
Fotografía 5. A) Apertura de la calicata y B) Muestra inalterada.	71
Fotografía 6. A) Equipo de corte directo y B) Respectivo juego de cajas.	74
Fotografía 7. A) Muestras de suelo talladas y B) Muestras de suelo en la caja de corte directo.	75
Fotografía 8. A) Muestras en la cámara húmeda y B) Muestra en el equipo de corte directo.	75
Fotografía 9. Equipo de carga uniaxial.....	76
Fotografía 10. A) Tallado de la muestra y B) Tallado del cilindro de muestra.....	76
Fotografía 11. A) Medida de la muestra y B) Ubicación de la muestra para el ensayo.	77
Fotografía 12. Complejo pastizal - cultivo.	84
Fotografía 13. Matorrales.	85
Fotografía 14. Pastizales.....	85
Fotografía 15. Asentamientos humanos.	86
Fotografía 16. Escarpe.....	88
Fotografía 17. Coluvio aluvial antiguo.....	89
Fotografía 18. Superficie poco disectada.	89
Fotografía 19. Superficie intervenida.	90
Fotografía 20. Afloramiento de lutitas con finas capas de yeso.....	96
Fotografía 21. Afloramiento de lutitas con capas de areniscas.	97
Fotografía 22. Afloramiento de areniscas amarillentas con microconglomerados.	98
Fotografía 23. Microplegue en afloramiento de lutitas crema a amarillentas (Fm. Santo mingo).....	99

1. TÍTULO

**“ESTUDIO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO DEL DESLIZAMIENTO, EN EL
SECTOR EL SAUCE - LA GRANJA DE LA PARROQUIA RURAL MALACATOS,
DEL CANTÓN LOJA Y PROVINCIA DE LOJA”**

2. RESUMEN

El presente trabajo de investigación corresponde al “Estudio Geológico – Geotécnico del Deslizamiento en el Sector el Sauce – La Granja de la Parroquia Rural Malacatos, del Cantón Loja y Provincia de Loja”, está enfocado en realizar la caracterización geológica – geotécnica del terreno sobre el cual está asentado el deslizamiento en estudio, el mismo que comprende un área de 5.8 Ha, para poder conocer el estado actual del deslizamiento y garantizar su estabilidad mediante la ejecución de las medidas de estabilidad, las cuales fueron a partir del levantamiento topográfico a detalle, con el cual se determinó las litologías existentes en el área del deslizamiento, el mismo también permitió definir los puntos para la realización de los ensayos geotécnicos normalizados como las calicatas geotécnicas para muestras inalteradas, sondeos eléctricos verticales, ensayos de penetración estándar y efectuar pruebas de laboratorio de acuerdo a las normas ASTM como son: granulometría, contenido de humedad, límites de Atterberg, compresión simple y corte directo, ya obtenidos los datos en el campo, laboratorio y gabinete, se realizó el análisis de estabilidad para calcular el factor de seguridad del deslizamiento, mediante el método de equilibrio límite (Bishop, Morgenstern-Price y Spencer), con los resultados de esta investigación permitirán proponer medidas de estabilización para el deslizamiento rotacional en estudio, mediante la construcción de drenajes superficiales distribuidos en la corona y en los flancos del talud, los cuales son revestidos por materiales impermeables para evitar filtraciones, también drenes horizontales y pozos verticales. Así mismo por la presencia zonas agrícolas se considera necesario el control en el sistema de riego realizado por la población.

Palabras clave: *análisis de estabilidad, geotecnia, factor de seguridad, deslizamiento, equilibrio límite, Bishop, Morgenstern-Price, Spencer, drenajes superficiales.*

ABSTRACT

The following research work is about “The Geological – Geotechnical study of the landslide in the area el Sauce- La Granja of the rural parish Malacatos, of the canton Loja and province of Loja” is focused on carrying out the geological – geotechnical characterization of the land on which the landslide under study is settled, the same that has an area of 5.8Ha, to know the current state of the landslide and to guarantee its stability through recommendations, which emerged from the detailed topographic survey, with which the existing lithologies were determined in the area of the landslide, the same it allowed us to define the points for the performance of standard geotechnical tests such as the geotechnical pits for undisturbed samples, vertical electrical soundings, standard penetrating tests and to carry out laboratory tests according to the ASTM standards such as: granulometry, moisture content, Atterberg limits, simple compression and direct cutting. After obtaining the data in the field, laboratory and cabinet, the stability analysis was carried out to calculate the landslide safety factor, using the limit equilibrium method (Bishop, Morgenstern-Price and Spencer), the results of this research will allow to suggest stabilization measures for the rotational slide under study, through the construction of surface drains distributed in the crown and on the flanks of the slope, which are lined with waterproof materials to prevent leaks. Furthermore, due to the presence of agricultural areas, it is considered necessary to control the irrigation system carried out by the population.

Key words: *stability analysis, geotechnics, security factor, landslide, limit equilibrium, Bishop, Morgenstern-Price, Spencer, surface drains.*

3. INTRODUCCIÓN

La tierra desde el inicio de su historia se ha caracterizado por procesos muy complejos, los mismos que generan una serie de riesgos que pueden ser aislados o interactuar entre sí. Estos eventos geológicos son inherentes a la génesis del hombre y su desarrollo en un medio específico, por lo cual, es importante el estudio íntegro de los mismos enmarcados principalmente en su identificación, caracterización y su evaluación.

El crecimiento poblacional desordenado y sin una normativa que regule, el desconocimiento de los procesos naturales, sus formas de ocurrencia y su dimensionamiento ha provocado la expansión urbana hacia áreas altamente inestables desde los puntos de vista geológico, geomorfológico, geotécnico e hidrogeológico; por lo que deben ser ampliamente considerados al momento de la planificación y ordenamiento territorial.

Desde el punto de vista del marco geodinámico regional, el Ecuador se ubica en una zona de alta sismicidad, tectonismo y volcanismo activo, de tal manera que son grandes las probabilidades de que los fenómenos de remoción en masa se presenten en todo el territorio nacional, debido a que estos ocurren como fenómenos secundarios relacionados con agentes de primer orden como fallas (regionales o locales), pérdida de estabildades de los taludes (por construcciones, aperturas de vías), saturación del suelo, entre otras.

Entre los principales movimientos en masas que se han identificado en la parroquia Malacatos están los deslizamientos y desprendimientos de rocas, encontrados en elevaciones desde los 1360 a 3597 msnm, con una precipitación media anual de 669,1 mm, a lo que se agrega el debilitamiento de la protección vegetal en laderas y pendientes a la deforestación (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2005), y esto hace que en los periodos de invierno se incrementen el riesgo de deslizamientos y derrumbes en las poblaciones. Según la información generada por la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR) en 2011, la parroquia de Malacatos está en una categoría de alta con 84,65% y la categoría media con 9,62% en movimientos en masa, lo que representa aproximadamente el 94,27% del área de la población. Agregando a esto, familias de la ciudad de Loja construyen casas vacacionales ocasionando un crecimiento sin la ordenada planificación, en la que se considere los fenómenos geológicos, lo cual ponen en riesgo la

infraestructura relacionada con la construcción, apertura de vías; así como las consecuentes pérdidas socio-económicas.

Por lo tanto, en la presente investigación se utiliza una metodología experimental, con información de tipo descriptiva, para lo cual se basó en el conocimiento detallado de la topografía, la geología, la geomorfología, el uso actual del suelo, el Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) y el Standar Penetration Testing (SPT), así como también los ensayos de suelos, de corte directo y compresión simple en el laboratorio, para obtener la información geo-científica que permita conocer las características geológicas–geotécnicas del deslizamiento, y además de plantear medidas correctivas y de control en la zona de estudio.

3.1. OBJETIVOS

3.1.1. OBJETIVO GENERAL:

- Realizar el Estudio Geológico – Geotécnico del deslizamiento, ubicado en el sector El Sauce – La Granja de la Parroquia Rural Malacatos del Cantón y Provincia de Loja.

3.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Realizar el levantamiento topográfico a detalle (escala 1: 5000) del deslizamiento en el sector El Sauce - La Granja de la Parroquia Rural Malacatos del Cantón y Provincia de Loja.
- Realizar el mapeo geológico a detalle del sector donde se encuentra localizado el deslizamiento en el sector El Sauce – La Granja de la Parroquia Rural Malacatos del Cantón y Provincia de Loja.
- Realizar la exploración geotécnica para determinar las propiedades físico – mecánicas de los materiales geológicos en el deslizamiento en el sector El Sauce – La Granja de la Parroquia Rural Malacatos del Cantón y Provincia de Loja.
- Plantear medidas correctivas y de control del deslizamiento en el sector El Sauce – La Granja de la Parroquia Rural Malacatos del Cantón y Provincia de Loja.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Topografía

La Topografía es la disciplina con la que cada obra o estudio de ingeniería comienza con las mediciones que se efectúan sobre el terreno, esta se especializa en la ilustración precisa y exacta de las formas y detalles del área en estudio, ya sean los mismos naturales o artificiales. La topografía la define Montes de Oca (1984), como la ciencia que trata de los principios y el conjunto de procedimientos utilizados para determinar las posiciones de los puntos sobre la superficie de la tierra y su representación en un plano o dibujo a escala, por medio de medidas según los tres elementos del espacio. Estos elementos pueden ser; dos distancias y una elevación, o una distancia, y una elevación. Para las distancias y elevaciones se emplearán unidades de longitud (sistema métrico decimal) y para direcciones se emplearán unidades de arco (grado sexagesimal).

4.1.1. Levantamiento Topográfico

El levantamiento topográfico consiste en un conjunto de actividades que se realizan con el fin de hacer una topografía de un lugar determinado, es decir, llevar a cabo la descripción de un terreno en concreto y así obtener una representación gráfica. Casanova Matera (2002), menciona que los levantamientos topográficos se realizan con el fin de determinar la configuración del terreno y la posición sobre la superficie de la tierra, de elementos naturales o instalaciones construidas por el hombre, y con los datos obtenidos se pueden elaborar mapas o planos, también se describen las diferencias de altura de los relieves o de los elementos que se encuentran donde se realiza el levantamiento. En la actualidad uno de los métodos más utilizados para levantamientos es con estación total porque tiene grandes ventajas en la toma y registro de datos, los realiza de manera automática y los cálculos de coordenadas se realizan por medio de programas incorporados a dichas estaciones.

4.2. Estudio Geológico

Según Paladines (2012), manifiesta que el conocimiento de la tierra es esencial para el desarrollo sostenible y la riqueza de los pueblos. Ecuador es un país montañoso caracterizado por una amplia diversidad de entornos geológicos. Sin embargo, la investigación geológica realizada en nuestro país es pequeña y generalmente ha tenido el carácter de reservado, por lo que no ha podido ser conocida con facilidad.

El análisis de los riegos de origen geológico tiene también gran incidencia en la población y desarrollo de los pueblos, por esta razón en el presente trabajo investigativo es necesario realizar un estudio geológico, puesto que la geología define las características o propiedades del terreno, la formación geológica a la que pertenece así como también determina la presencia de materiales duros y de baja resistencia, como las discontinuidades que pueden facilitar la ocurrencia de movimientos en masa a lo largo de ciertos planos de debilidad.

4.3. Geología

La geología es la ciencia que estudia a la tierra, los materiales de los que está constituida, describiendo los procesos que los forman durante el tiempo geológico y el modelado de su superficie en el pasado y presente. Según Duque (2003) es la ciencia que estudia la tierra, su composición, su estructura, los fenómenos que han ocurrido y ocurren en la actualidad, su evolución como planeta, así como la evolución de la vida mediante los documentos que de ella han quedado en las rocas.

4.3.1. Geología Estructural

La geología estructural consiste en estudiar los mecanismos de la formación de las estructuras y los fenómenos que actuaron a través del tiempo sobre las rocas y cuáles fueron las causas que originaron las formas que presentan actualmente. Según Arellano (2002) es la rama de la geología que se encarga del estudio de las características estructurales de las masas rocosas que forman la corteza terrestre, de la distribución geográfica de tales características, del tiempo geológico y de las causas que las originaron.

Esta tiene relación directa con la mecánica de suelos, de rocas y la geotecnia. Por lo que esta disciplina geológica es importante para la sociedad en el estudio de proyectos para obras de ingeniería y como herramienta de prevención para la mitigación y control de riesgos geológicos.

4.3.2. Mapeo Geológico

El mapeo geológico es un requisito muy importante en la geología, geotecnia, hidrogeología, medio ambiente y minería, lo principal de este proceso es de transferir la información geológica obtenida en el campo a uno de los diferentes tipos de mapas base como la topografía. Según Lisle, Brabham & Barnes (2011), mencionan que los mapas

geológicos forman la base de la mayoría del trabajo geológico y no existe un sustituto para este porque la geología básica es fundamental, por lo que Muthoni (2010) mencionó que el mapeo geológico es el proceso de seleccionar un área de interés y de identificar todos los aspectos geológicos presentes con el propósito de preparar un reporte y generar un mapa geológico cuya calidad dependerá de la exactitud y precisión del trabajo de campo.

El mapa geológico se genera casi por completo en el campo, se deben mostrar tanto los datos observados positivamente como lo interpretado, pero el usuario debe distinguir claramente entre la información que fue observada en el lugar y las inferencias que se hicieron de las observaciones geológicas. Los datos se deben mostrar en un nivel de detalle que corresponda a la escala del mapa, el mapa no debe contener excesiva información que lo tome confuso e imposible de leer, ni estar escaso de datos.

Pérez (2017) menciona que el conocimiento geológico de un país es la base que permite el óptimo aprovechamiento de su territorio, ya que los estudios geológicos proveen información básica que garantiza el buen desarrollo de las actividades como el manejo de aguas superficiales y subterráneas, la preservación del medio ambiente, la construcción de obras civiles, la prevención de catástrofes naturales relacionadas con los peligros geológicos como deslizamientos y terremotos, y para la agricultura y el ordenamiento territorial.

4.4. Geomorfología

La geomorfología tiene como objetivo el estudio de las geoformas de la superficie terrestre enfocado a describir, entender su génesis y entender su actual comportamiento. Para Gutiérrez (1989), la geomorfología es una ciencia esencialmente genética, evolutiva y dinámica, cuyo fin es el de comprender como se han originado y como han evolucionado, hasta el presente, los distintos elementos y propiedades del relieve. En cambio, Schumm (1998), la define como ciencia que estudia los fenómenos sobre y cerca de la superficie y se preocupa de las interacciones entre varios materiales y procesos. Por lo que no cabe duda que la geomorfología es una ciencia que posee alcances estratégicos en ámbitos de planeación territorial, de ordenamiento y análisis de vulnerabilidad espacial y gestión en el campo de los riesgos.

4.4.1. Mapas geomorfológicos

Los mapas geomorfológicos son una cartografía temática de orden geológico que muestra las formas del terreno y materiales del subsuelo, su distribución y las relaciones entre sí. Según Verstappen (1983) los mapas geomorfológicos son documentos que sirven como fuente de información cartográfica básica para los estudios de recursos naturales y ambientales, es decir, poseen una dimensión de aplicabilidad para solucionar problemas específicos. De la misma manera Peña (1997), menciona que en geomorfología como en otras ciencias de la tierra, la cartografía es indispensable para dejar clara y concreta la distribución y configuración espacial los elementos más significativos que definen al relieve, y debe ser elaborado en determinados aspectos en función de las necesidades concretas de aplicación. La elaboración de mapas geomorfológicos lleva consigo la aplicación de diversas metodologías, siendo una de las más usadas la propuesta por el Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN) en los cuales se levanta información desde la génesis, morfología, pendientes y desnivel relativo.

4.5. Hidrología

La hidrología trata sobre el agua en la naturaleza, su cantidad, calidad y su distribución areal y temporal. Gutiérrez (2014) expresa que la hidrología es la ciencia que trata sobre las aguas terrestres, de sus maneras de aparecer, de su circulación y distribución, de sus propiedades físicas y químicas y sus interacciones con el medio ambiente, incluyendo su relación con los seres vivos. Por qué podemos decir que la hidrología está tratando de atender la necesidad de conocimiento e información, acerca del agua en un sector específico, sus propiedades y su variabilidad espacio-temporal, para una ocupación inteligente y sostenible del territorio.

4.5.1. Hidrogeología

La hidrogeología es la ciencia que estudia las aguas subterráneas, en el contexto geológico con su origen, almacenamiento, circulación y distribución, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, sus interacciones con el medio físico y biológico y sus reacciones a la acción del hombre (Rebollo, 2007).

4.5.2. Nivel Freático

El nivel freático se define como el lugar geométrico de los puntos donde la presión del agua es igual a la presión atmosférica y corresponde con el límite superior de la zona saturada (Villarroya, 2009). En otras palabras, el nivel freático es el lugar geométrico de los niveles alcanzados por el agua subterránea en pozos de observación, cuya profundidad varía según las características climáticas y su forma suele ser una réplica suavizada de la topografía superficial. El nivel freático y su profundidad respecto a la superficie del terreno natural es un dato fundamental que aporta el estudio geotécnico a la hora de proyectar la construcción de cimentaciones.

4.5.3. Permeabilidad

La permeabilidad es la capacidad que tiene un material o suelo para permitir que un fluido fluya a través del mismo sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable si la cantidad de fluido es despreciable.

La permeabilidad de las rocas o suelos es la capacidad de transmitir el fluido entre sus poros interconectados, esta permeabilidad varía con la forma y tamaño de los poros, y el tamaño, forma y extensión de su interconexión. Por consiguiente, los sedimentos y rocas permeables que transmiten libremente el agua subterránea se denominan acuíferos (Mantilla, 2005).

4.6. Movimientos de Ladera

El movimiento de ladera, “slope movement” Varnes (1978) o deslizamiento “landslide” Sharper (1938), se entiende al movimiento de una masa de roca, suelo o derrubios, de una ladera en sentido descendente por efectos de la gravedad según Cruden (1991), esto debido a los reajustes por la variación de las condiciones de estabilidad a las que están sometidas. Los movimientos de ladera son englobados generalmente bajo el término de deslizamientos, estos son el resultado del carácter dinámico del medio geológico, de la evolución natural del relieve y también pueden ser provocados o desencadenados por el hombre al interferir con la naturaleza y modificar las condiciones naturales de las laderas.

Los movimientos de ladera son parte de los procesos denudativos que modelan el relieve de la tierra. Su origen obedece a una gran diversidad de procesos geológicos,

hidrometeorológicos, químicos y mecánicos que se dan en la corteza terrestre y en la interface entre esta, la hidrosfera y la atmósfera (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2005). Así, por una parte, el levantamiento tectónico forma montañas, por otra parte, la meteorización, las lluvias, los sismos y otros eventos (incluyendo la acción del hombre) actúan sobre las laderas para desestabilizarlas y cambiar el relieve a una condición más plana. Esto implica que la posibilidad de ocurrencia de un movimiento de ladera comienza desde el mismo momento en que se forma una ladera natural o se construye un talud artificial.

Los movimientos de ladera, están gobernados por la ecuación de Esfuerzo o Resistencia al Cortante Tangencial. Para el estudio de la estabilidad de una ladera contra los movimientos masales, se requiere estimar la resistencia del suelo ante la acción de esfuerzos cortantes tangencial, la cual consiste en la modelación física del fenómeno del deslizamiento y que permita establecer la resistencia máxima del suelo al movimiento de sus partículas; es decir la fuerza que se opone al deslizamiento o resbalamiento del suelo sobre sí mismo, la cual es impartida por las fuerzas cohesivas entre partículas y por la resistencia friccional entre estas cuando son forzadas a deslizarse (Suárez Díaz, 1998).

El gran número de factores que influyen, condicionan y provocan los deslizamientos, dan lugar a una gran variación en las tipologías, mecanismos de rotura, escalas y velocidades de desplazamiento, haciendo difícil su clasificación, por lo que para el presente estudio se establece la nomenclatura básica utilizada para el estudio de taludes y deslizamientos de tierra y la clasificación de los diferentes tipos de movimientos, desde el punto de vista geotécnico.

La nomenclatura más comúnmente utilizada en las ciencias geotécnicas, se basa en los sistemas de clasificación propuestos por Hutchinson (1968) y por Varnes (1958 y 1978). Este último sistema fue actualizado por Cruden y Varnes en el “Special Report 247” del Transportation Research Board de los Estados Unidos (1996) y es el sistema de nomenclatura y clasificación más utilizado en el mundo.

Por otra parte, en cada país o región se utilizan algunos vocablos propios. Los términos básicos más aceptados universalmente son el de “talud” para identificar una superficie con relieve inclinado y el de “deslizamiento” para los movimientos del talud.

Un talud o ladera es una masa de tierra que no es plana, sino que presenta una pendiente o cambios significativos de altura. En la literatura técnica se define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y talud cuando se conformó artificialmente como se observa en la Figura 1. Los taludes se pueden agrupar en tres categorías generales: los terraplenes, los cortes de laderas naturales y los muros de contención. Se pueden presentar combinaciones de los diversos tipos de taludes y laderas.

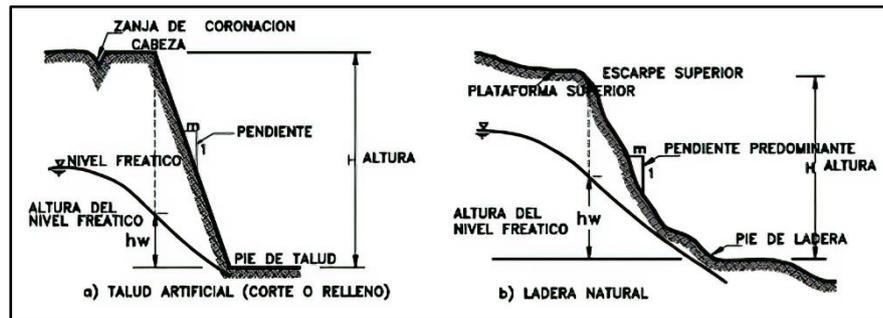


Figura 1. Nomenclatura de taludes y laderas.

Fuente: Cruden & Varnes (1996).

Las laderas o taludes que han permanecido estables por muchos años, pueden fallar debido a cambios topográficos, sísmicos, a los flujos de agua subterránea, a los cambios en la resistencia del suelo, la meteorización o a factores de tipo antrópico o natural que modifiquen su estado natural de estabilidad. Un talud estable puede convertirse en un “deslizamiento”.

En un talud o ladera se definen los siguientes elementos constitutivos:

- **Pie, pata o base**

El pie corresponde al sitio de cambio brusco de la pendiente en la parte inferior del talud o ladera. La forma del pie de una ladera es generalmente cóncava.

- **Cabeza, cresta, cima o escarpe**

Cabeza se refiere al sitio de cambio brusco de la pendiente en la parte superior del talud o ladera. Cuando la pendiente de este punto hacia abajo es semi-vertical o de alta pendiente, se le denomina “escarpe”. Los escarpes pueden coincidir con coronas de deslizamientos. La forma de la cabeza generalmente es convexa.

- **Altura**

Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales, pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza generalmente no son accidentes topográficos bien marcados.

- **Altura de nivel freático**

Es la distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua (la presión en el agua es igual a la presión atmosférica). La altura del nivel freático se acostumbra medirla debajo de la cabeza del talud.

- **Pendiente**

Es la medida de la inclinación de la superficie del talud o ladera. Puede medirse en grados, porcentaje o en relación m:1, en la cual m es la distancia horizontal corresponde a una unidad de distancias vertical. Ejemplo: $45 = 100\% = 1H:1V$.

Los suelos o rocas más resistentes generalmente forman laderas de mayor pendiente y los materiales de baja resistencia o blandos, tienden a formar laderas de baja pendiente.

También existen otros factores topográficos en los taludes, los cuales se requiere definir, tales como: longitud, convexidad (vertical), curvatura (horizontal) y área de la cuenca de drenaje, los cuales pueden tener influencia sobre el comportamiento geotécnico del talud.

Clasificación

Existen varias clasificaciones de los movimientos de ladera, las cuales se aplican según su finalidad, mecanismo de rotura y la naturaleza de los materiales involucrados. Algunas de las clasificaciones más usadas son (Varnes, 1984; Hutchinson, 1988; EPOCH, 1993; Cruden y Varnes, 1996), con diversos criterios y fines, sin embargo, para este presente estudio se consideró una clasificación simplificada la cual se indica en la Tabla 1, que está en función del mecanismo de rotura y el tipo de material.

Tabla 1. Clasificación de movimientos en masa.

TIPO DE MOVIMIENTO			ROCAS	SUELOS INGENIERILES	
				GRUESOS	FINOS
Caídas			Caída de rocas	Caída de detritos	Caídas de tierra
Volcamientos			Volcamiento de rocas	Volcamiento de detritos	Volcamiento de tierra
Deslizamiento	Rotacional	Roca homogénea	Hundimiento de rocas	Hundimiento de detritos	Hundimiento de tierra
	Traslacional	Heterogeneidad litológica	Deslizamiento de bloques de rocas	Desliz. de bloques - Desliz. de detritos	Desliz. de bloques de tierra - Desliz. de tierra
Propagación Lateral			De rocas	De detritos	De tierras
Flujos			Flujo de rocas (deep creep)	Flujos de detritos	Flujos de tierras
				Reptación	
Movimientos complejos			Combinación de dos o más tipos de movimientos		

Fuente: Cruden & Varnes (1996).

Deslizamiento

Los deslizamientos de tierra son uno de los procesos geológicos más destructivos, provocando la destrucción de vertientes en cualquier región climática y afectando a todo tipo de materiales, por lo que en ocasiones causan importantes daños y pérdidas económicas, incluso afectan a los humanos, causando miles de muertes cuando afectan a las actividades y a las construcciones humanas (Suárez Díaz, 1998).

Los deslizamientos están relacionados con las montañas, aunque en todos los sistemas de montañas ocurren deslizamientos de tierra, algunas regiones son más susceptibles a las amenazas por movimientos del terreno. Las zonas montañosas tropicales son muy susceptibles a sufrir problemas de deslizamientos de tierra, debido a que generalmente se reúnen cuatro de los elementos más importantes para su ocurrencia tales como el relieve, la sismicidad, la meteorización y las lluvias intensas.

Un deslizamiento según Terzaghi (1950), es el desplazamiento rápido de una masa de roca, suelo residual o sedimentos de una ladera, en el cual el centro de gravedad de la masa que se desplaza se mueve hacia abajo y hacia el exterior.

Para Cruden (1991), los deslizamientos consisten en movimientos de una masa de roca, detritos o tierra, hacia abajo de un talud. La ocurrencia de los deslizamientos es consecuencia de un complejo campo de esfuerzos, el cual es activo sobre una masa de roca

o suelo. El movimiento ocurre cuando el esfuerzo de corte excede el esfuerzo de resistencia del material.

Según Suárez (1998), estos movimientos consisten en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies, que pueden detectarse fácilmente o dentro de una zona relativamente delgada, el movimiento puede ser progresivo, o sea, que no se inicia simultáneamente a lo largo de toda la que sería la superficie de falla.

Partes de un deslizamiento

En la Figura 2, se muestra un deslizamiento típico o desplazamiento en masa. Las partes principales son las siguientes:

- **Cabeza**

Parte superior de la masa de material que se mueve. La cabeza del deslizamiento no corresponde necesariamente a la cabeza del talud. Arriba de la cabeza esta la corona.

- **Cima**

El punto más alto de la cabeza, en el contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.

- **Corona**

El material que se encuentra en el sitio, (prácticamente inalterado), adyacente a la parte más alta del escarpe principal, por encima de la cabeza.

- **Escarpe principal**

Superficie muy inclinada a lo largo de la periferia posterior del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material conforma la superficie de la falla.

- **Escarpe secundario**

Superficie muy inclinada producida por el desplazamiento diferencial dentro de la masa que se mueve. En un deslizamiento pueden formarse varios escarpes secundarios.

- **Superficie de falla**

Área por debajo del movimiento y que delimita el volumen del material desplazado. El suelo por debajo de la superficie de la falla no se mueve, mientras que el que se encuentra por encima de esta, se desplaza. En algunos movimientos no hay superficie de falla.

- **Pie de la superficie de falla**

La línea de interceptación (algunas veces tapada) entre la parte inferior de la superficie de falla de rotura y la superficie original del terreno.

- **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.

- **Cuerpo principal del deslizamiento**

El material desplazado que se encuentra por encima de la superficie de falla. Se pueden presentar varios cuerpos en movimiento.

- **Superficie original del terreno**

La superficie que existía antes que se presentara el movimiento.

- **Costado o flanco**

Un lado (perfil lateral) del movimiento. Se debe diferenciar el flanco derecho y el izquierdo.

- **Derecha o izquierda**

Para describir un deslizamiento se recomienda utilizar la orientación geográfica (Norte, Sur, Este, Oeste); pero si se emplean las palabras derecha e izquierda, deben referirse al deslizamiento observado desde la corona hacia el pie.

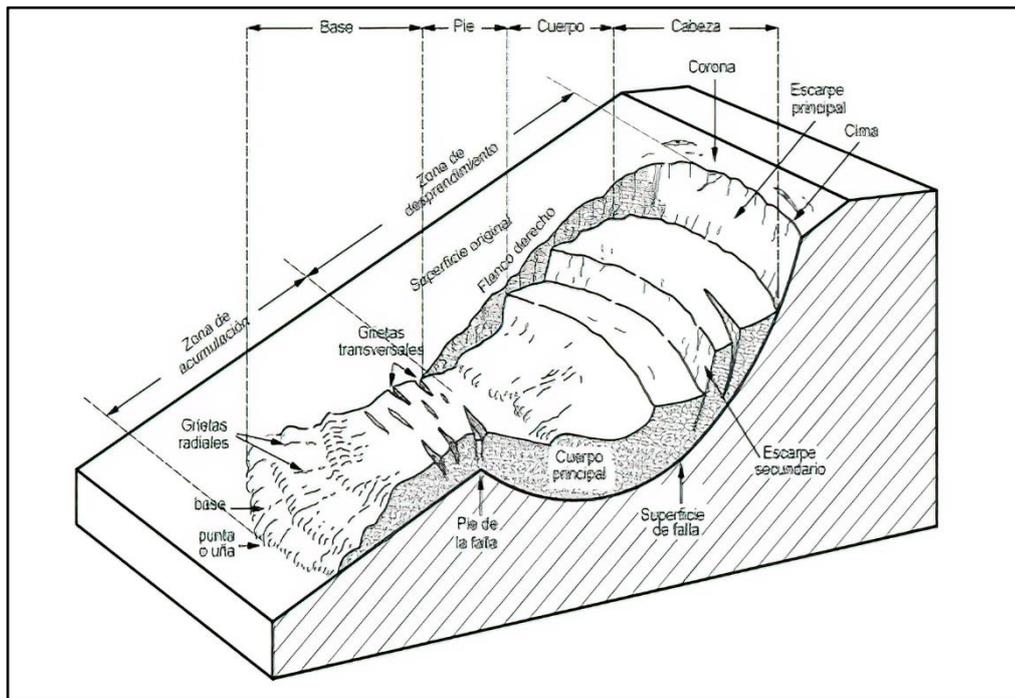


Figura 2. Partes de un deslizamiento.

Fuente: Suárez (2009).

Deslizamientos en Masa (Traslacionales y Rotacionales)

Los desplazamientos en masa se pueden subdividir en subtipos denominados deslizamientos rotacionales, deslizamientos traslacionales o planares y deslizamientos compuestos de rotación y traslación. Esta diferenciación es importante porque pueden definir el sistema de análisis y el tipo de estabilización que se va a emplear (Suárez Díaz, 2009).

Deslizamiento Rotacional

En un deslizamiento rotacional, la superficie de falla es cóncava hacia arriba y el movimiento es rotacional con respecto al eje paralelo a la superficie y transversal al deslizamiento. El centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento. Visto en planta, el deslizamiento de rotación posee una serie de agrietamientos concéntricos y cóncavos en la dirección del movimiento. El movimiento produce un área superior de hundimiento y otra inferior de deslizamiento, lo cual genera, comúnmente, flujos de materiales por debajo del pie del deslizamiento Figura 3. La cabeza del movimiento bascula hacia atrás y los árboles se inclinan, de forma diferente, en la cabeza y en el pie del deslizamiento.



Figura 3. Deslizamiento rotacional típico. A) Movimiento de masas de tierra y B) Orientación de los árboles.

Fuente: Suárez (2009).

Curvatura de la superficie de falla

Los deslizamientos estrictamente rotacionales (circuitos de falla) ocurren usualmente en suelos homogéneos, sean naturales o artificiales y debido a su facilidad de análisis son el tipo de deslizamientos más estudiado en la literatura. En las zonas tropicales cuando existe rotación, la superficie de falla generalmente es curva, pero no necesariamente circular, y está relacionada con la presencia de materiales residuales donde la resistencia al corte de los materiales aumenta con la profundidad. Si embargo, en las zonas de meteorización muy

profunda y en los rellenos de altura significativa, algunas superficies de falla se asemejan a círculos.

En la mayoría de los desplazamientos rotacionales se forma una superficie cóncava en forma de “cuchara” Figura 4. Los desplazamientos rotacionales generalmente tienen una relación D_r/L_r entre 0.15 y 0.33 (Skempton & Hutchinson, 1969).

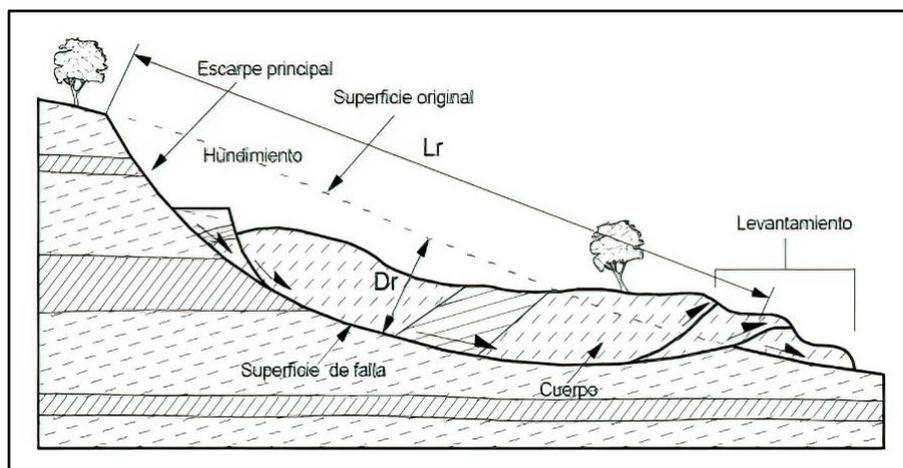


Figura 4. Desplazamiento de rotación en una ladera.
Fuente: Suárez (2009).

En la cabeza del movimiento, el desplazamiento aparentemente es semi-vertical y tiene muy poca rotación. No obstante, se puede observar que la superficie original del terreno gira en la dirección de la corona del talud, aunque otros bloques giren en la dirección opuesta.

La formación de los escarpes semi-verticales en los deslizamientos de rotación facilita la ocurrencia de movimientos retrogresivos o progresivos hacia arriba.

Dentro del deslizamiento ocurren otros desplazamientos curvos que forman escarpes secundarios y ocasionalmente, ocurren varios desplazamientos sucesivos en su origen, pero que conforman una zona de desplazamientos rotacionales independientes Figura 5.

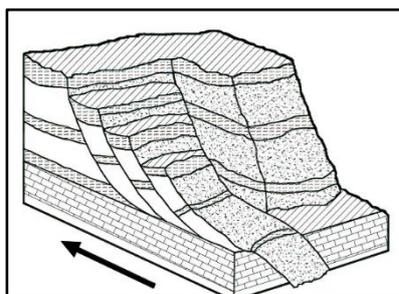


Figura 5. Deslizamientos sucesivos dentro de un movimiento general de rotación.
Fuente: Suárez (2009).

Factores detonantes y condicionantes

Ya revisados los tipos de deslizamientos y sus componentes más sus características, se definen todos los factores externos que serán los responsables de un evento de inestabilidad. Estos se dividen en detonantes y condicionantes.

- **Factores detonantes:** Considerados aquellos fenómenos que inciden directamente en la integridad del deslizamiento y conforme a la activación de este. La ocurrencia varía de tal modo que pueden ser activados de forma instantánea o progresiva. Según Suárez (2009), el resultado de estos fenómenos es el incremento en los esfuerzos cortantes los cuales aumentarán en la superficie de falla hasta la ocurrencia.

Desestabilización de un talud: Comprende básicamente por la alteración de un componente de un talud especialmente en el pie.

Eventos sísmicos: Crea bien sea por un sismo de una magnitud considerable especialmente superficial.

Erupciones volcánicas: Producen también efectos sísmicos de baja intensidad.

Actividad humana: Especialmente en el desarrollo de construcciones que aportan con carga sobre el talud.

Lluvias/Agua: El agua es el factor más influyente en la inestabilidad de taludes debido al aumento de agua en los poros de suelo creando un nivel freático alto una presión de poros alta igualmente.

- **Factores condicionantes:** Implican más en las características que se observa dentro del deslizamiento especialmente en un contexto geológico.

Tectonismo: En la región pueden existir un sin número de fallas geológicas que serán los responsables de crear eventos de una magnitud determinada (Yépez, 2010).

Litología: Está en función de las características subterráneas del deslizamiento. Es decir, tipo de suelos y rocas.

Ubicación inalterada en el terreno: Depende también en la forma como se encuentra el material subterráneo.

Pendiente: Un factor muy importante es la pendiente desarrollada en el terreno porque determinará el valor del ángulo de fricción interna.

De todos estos factores, el más importante sin duda es el agua. La mayoría de las fallas están directamente relacionadas con el agua, ya que en términos generales, tienden a

disminuir la resistencia del suelo y aumentar los esfuerzos de corte. En un suelo saturado podemos encontrar los siguientes efectos.

Aumento de peso del suelo: Si un suelo es poroso, la probabilidad de que esos poros se llenen después de un evento de precipitaciones es sumamente alto. De este modo, se debe considerar el peso del suelo más el peso del agua aumentando considerablemente el peso unitario.

Resistencia disminuida: El agua más material fino tiene la característica de adherirse en toda la superficie de la partícula evitando el contacto de fricción entre partículas.

Presión de poro: La presión aumenta en los poros de agua evitando, como se dijo anteriormente, la fricción entre partículas.

Disolución: Si existe una pendiente, el agua fluirá en dirección de la pendiente. Este flujo disolverá algunos minerales que unen las partículas y como resultado, menos resistencia.

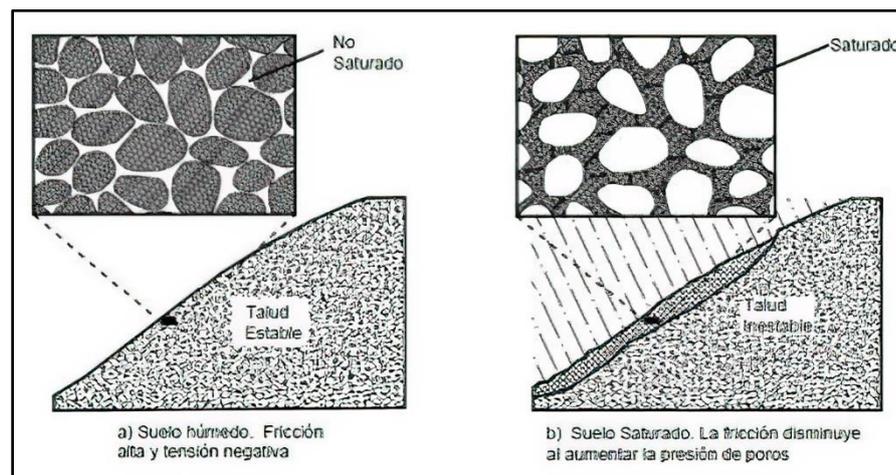


Figura 6. Efecto del agua en un suelo.
Fuente: Suárez (2009).

4.7. Geotecnia

La geotecnia tiene como finalidad la aplicación de métodos científicos y principios de ingeniería, para la adquisición, interpretación y la utilización del conocimiento de los materiales y procesos que ocurren en la corteza terrestre. Braja (2015), menciona que los principios fundamentales de la ingeniería geotécnica son la mecánica de suelos y la mecánica de rocas y sus deformaciones unitarias en condiciones ideales, por lo cual la aplicación de estos principios sirve para planificar, diseñar y construir obras, así como también la prevención de riesgos naturales.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC (2018), en cambio define la geotecnia como el conjunto de actividades que comprenden el reconocimiento de campo, la investigación del subsuelo, los análisis e interpretación de los datos obtenidos que son necesarios para la caracterización donde se va a diseñar y construir obras, de tal forma que se garantice un comportamiento adecuado de las estructuras, lo cual preservara la vida humana así mismo también evitar la afectación o daño de construcciones vecinas.

4.8. Caracterización Geotécnica

La caracterización geotécnica para un proyecto en específico consiste en determinar el origen geológico, la exploración del subsuelo, ensayos de campo y laboratorio necesarios para identificar, clasificar y caracterizar física, mecánica e hidráulicamente a los suelos y rocas.

Una vez definido geométrica y topográficamente el problema que se quiere analizar, se identifican los materiales que intervienen, mediante ensayos de laboratorio o de campo, o ambos, con el objetivo de definir y valorar la resistencia de los mismos frente a los esfuerzos cortantes a que se ven sometidos. De esta manera se describen los distintos procedimientos y diferentes teorías que existen y que permiten valorar la resistencia al corte de los suelos y de las rocas, bajo las diferentes condiciones posibles (I.T.G.E, 1986).

4.8.1. Métodos Directos

Son técnicas convencionales que permiten el acceso y observación directa al subsuelo del sitio en estudio, permitiendo a su vez la obtención de muestras de distintos estratos. Eventualmente permiten la realización de ensayos “in situ” y a través del muestreo. Los métodos directos para una caracterización geotécnica son los siguientes: calicatas o trincheras, veletas, cono estático CPT o dinámico DCP, dilatómetro, ensayo de penetración estándar SPT.

Los ensayos realizados “in situ” sobre el terreno permiten obtener directa o indirectamente parámetros geotécnicos del mismo, los cuales fundamentan en conjunción con los ensayos de laboratorio y el cálculo geotécnico para determinar los parámetros de resistencia al corte, deformación, de permeabilidad, etc., (Herrera Herbert & Castilla Gómez, 2012).

El reconocimiento mediante estos ensayos debe proporcionar siguientes datos:

- La naturaleza de los diferentes estratos.
- Muestras de cada una de las capas características, para su estudio en laboratorio.
- Características del nivel freático y los acuíferos atravesados.
- Permeabilidad de las formaciones atravesadas cuando sea necesario.

Los resultados que se puedan presentar al momento de ejecutar las investigaciones “in situ”, representan un punto crítico para la estimación del costo de construcción de un proyecto. Una parte sustancial, frecuentemente más de la mitad, de los incrementos de costo en obras públicas se debe a la insuficiencia de investigaciones en los estudios geológicos-geotécnicos, estimándose que al menos un tercio de los proyectos sufren demora por esta causa destacando la inadecuada planificación de las investigaciones geotécnicas y la incorrecta interpretación de las mismas (Tyrrel, Lake, & Parsons, 1983).

- **Calicatas Geotécnicas**

Las calicatas es el mejor método para observar a gran detalle las estratificaciones del terreno, ya que son excavaciones realizadas de forma manual o por medios mecánicos a cielo abierto, a una profundidad generalmente de entre 1 a 4 metros, se pueden tomar muestras alteradas o inalteradas en forma de bloques, la muestra debe ser sellada con parafina para conservar su humedad natural. Las muestras son recolectadas con el fin de realizar ensayos de clasificación de suelos para determinar las propiedades índices del geomaterial, es decir, realizar ensayos de laboratorio en muestras alteradas en cada cambio de geomaterial.

Las calicatas son de rápida ejecución y su costo es económico por lo que su uso es muy común en la obtención de datos superficiales del terreno.

González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo (2002), mencionan que las calicatas, zanjas, rozas, pozos, etc., consisten en excavaciones realizadas mediante medios mecánicos convencionales, que permiten la observación directa del terreno a cierta profundidad, así como la toma de muestras y la realización de ensayos in situ.

- **Ensayo de Penetración Estándar (S.P.T.)**

El ensayo de penetración estándar SPT es muy utilizado por la información que proporciona de las capas del subsuelo en la caracterización geotécnica, permitiéndonos conocer la capacidad portante de los suelos, el ensayo está determinado por la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales, en la norma ASTM D – 1586.

La Prueba de penetración estandar (SPT) es útil en una amplia variedad de suelos, desde arcillas débiles y arenas sueltas hasta arcillas muy duras y arenas densas. Proporciona una medida de la resistencia del suelo a la penetración a través de la cuenta del número de golpes “N” que se necesitan para introducir 4 tramos de 15 cm un toma-muestras (cuchara partida), a través de una muestra de suelo alterada, pero representativa, se usa para las pruebas de clasificación e índice (Chávez, 2006).

González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo (2002), relacionan este ensayo “in situ” para obtener un valor N del S.P.T. La resistencia a la penetración que puede ser correlacionado con parámetros geotécnicos como la densidad relativa, el ángulo de rozamiento, la carga admisible y los asentamientos en los suelos granulares. En el ensayo también se obtiene una muestra alterada, para realizar ensayos de identificación en laboratorio.

4.8.2. Métodos Indirectos

Los métodos indirectos o también llamados geofísicos, corresponden a los análisis realizados en superficie cuyo resultado nos da una proyección del terreno en profundidad (Braja, 2015). La geofísica esta normada por la ASTM D – 6429 y estudia características únicas del suelo o estructuras, obteniendo datos físicos como velocidad de ondas sísmicas, resistividad eléctrica, susceptibilidad magnética, densidad, entre otras y se lo conoce también como métodos indirectos de investigación.

Puede ser aplicada para diferentes profesiones como minería, geotecnia, arqueología, medioambiente, los métodos más comunes usados en geotecnia son el método sísmico de refracción y el método eléctrico, y los datos que se obtienen son: dificultad en excavar el suelo, diferenciación de estratos, nivel freático, módulos elásticos, discontinuidades, cavidades, entre otros.

- Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)

Este método eléctrico se utiliza para medir la resistividad de los materiales del subsuelo, al realizar estos ensayos se puede detectar cuerpos y estructuras geológicas que harán posible una interpretación geológica basada en los contrastes resistivos. Aunque este parámetro único no es suficiente para una caracterización final. Según González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo (2002), los SEV son aquellos que estudian la respuesta del terreno cuando se propagan a través del material las corrientes eléctricas continuas (DC). El parámetro físico que se controla es la resistividad (ρ) y la interpretación geológica final se hace en

función de las características geológicas de la zona en estudio. La resistividad es una propiedad intrínseca de las rocas y depende de la litología, estructura interna y, sobre todo su contenido de agua, no siendo por lo tanto una propiedad isotrópica en la masa rocosa.

El método eléctrico fue propuesto por primera vez por el ingeniero francés Schlumberger, en el año 1912, el cual consiste en introducir corriente eléctrica al subsuelo y determinar el potencial que se produce entre dos puntos en la superficie del terreno. A partir de los valores de corriente y voltaje obtenidos, se puede calcular el valor de la resistividad del medio. La resistividad de un material (ρ) se define como la resistencia que encuentra la corriente eléctrica al paso por el mismo, mientras que la conductividad (σ) es lo contrario, es la facilidad con la que se trasmite la corriente eléctrica por el material.

La resistencia al paso de la corriente eléctrica de un material está dominada por la ley de Ohm:

$$R = \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

Y la resistividad del mismo puede ser obtenida de la siguiente formula:

$$\rho = kR \quad (2)$$

Donde obtenemos que:

$$\rho = k \frac{\Delta V}{I} \quad (3)$$

Donde:

R : resistencia
 ΔV : voltaje
 I : intensidad
 ρ : resistividad
 k : constante

El valor de k es una constante que depende de la geometría del circuito:

$$k = 2\pi(1/AM - 1/AN - 1/BM + 1/BN)^{-1} \quad (4)$$

La unidad de medida de la resistividad es ohmios por metro (Ωm).

Los valores de resistividad de las rocas varían en función de su composición, compactación, temperatura, presión, la porosidad, la cantidad de agua que contiene y la salinidad del

mismo. En la Figura 7 y en la Tabla 2, encontramos rangos de resistividad para ciertos tipos de roca y minerales.

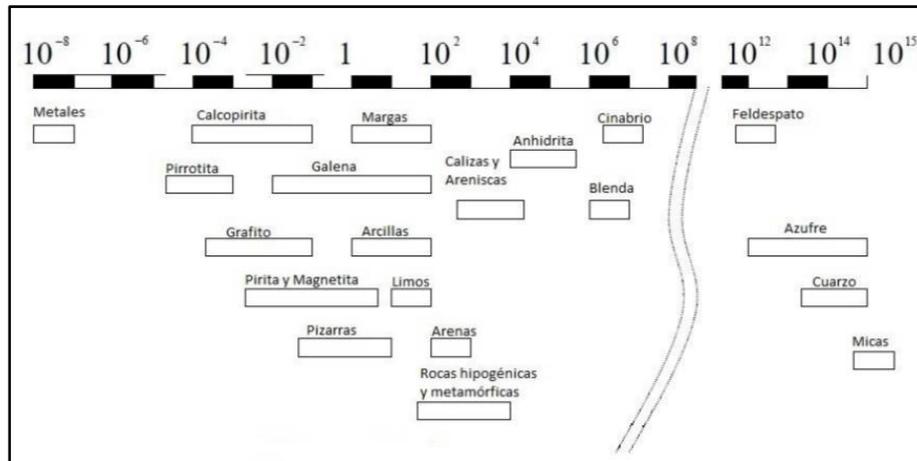


Figura 7. Valores de resistividades de diferentes rocas y minerales, en ohm-m.
Fuente: Orellana (1982).

Tabla 2. Rangos de resistividades de materiales saturados.

MATERIAL	RESISTIVIDAD (Ωm)
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 - 2000
Andosoles no saturados	300 - 1000
Andosoles saturados	100 - 300

Fuente: Arias, Echeverri, & Hoyos (2012).

Los SEV es una técnica que consiste en separar sucesivamente los electrodos de corriente A y B del punto central, siguiendo una línea recta, y medir la resistividad en cada

disposición. En los SEV se emplean dos configuraciones de los electrodos, el arreglo Schlumberger y el Wenner, pero generalmente es usado el primero.

Dispositivos Wenner

En este dispositivo los electrodos se disponen equidistantes sobre una línea en el orden AMNB, a medida que aumenta la distancia entre los electrodos de corriente, aumenta la distancia de los electrodos de potencia, de forma que se cumpla esta relación $AM = MN = NB = a$, como se muestra en la siguiente figura.

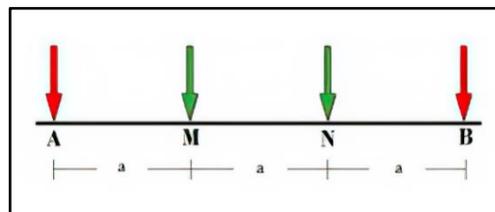


Figura 8. Dispositivo Wenner.
Fuente: El Autor, 2020.

Dispositivo Schlumberger

En este dispositivo los electrodos están dispuestos de tal manera que la distancia de los electrodos de potencial MN sea mucho menor que la de los electrodos de corriente AB, los valores de esta relación pueden variar $AB/5 < MN < AB/20$, como se muestra en el siguiente gráfico.

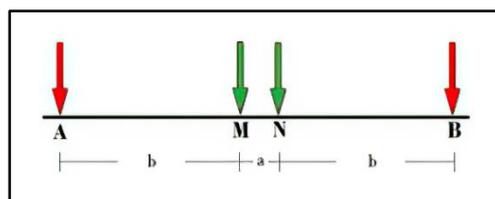


Figura 9. Dispositivo Schlumberger.
Fuente: El Autor, 2020.

4.9. Parámetros de Caracterización Geotécnica

Es importante realizar una caracterización geotécnica en suelos o rocas que intervienen en el diseño de una estructura, puesto que el terreno natural, a diferencia de otros materiales empleados en la construcción, se presenta como un medio discontinuo, heterogéneo, y sus variaciones pueden llegar a ser complejas. Solo una vez conocido el tipo de rocas o de suelos y su disposición espacial, se pueden determinar las propiedades geotécnicas de los

materiales, lo cual permitirá predecir el comportamiento del terreno frente a una construcción que se quiere realizar (Lomoschitz Mora, 1995). Con la finalidad de hacer un conjunto de reconocimientos y ensayos al terreno, que permitan caracterizar los diversos suelos presentes en la zona de estudio y sus propiedades geomecánicas, en función de los objetivos y características del estudio.

4.9.1. Propiedades Físicas de los Suelos

Los suelos provienen de la descomposición de la roca madre, a través de procesos de erosión o degradación que a su vez puede ser física como también química. Para Marín (2008) las propiedades físicas también conocidas como índice son las que se requieren para definir su estado físico, para realizar los respectivos análisis y diseños en ingeniería, por lo que se deben estudiar dichas propiedades, tales como: granulometría, plasticidad, peso específico y humedad, y a partir de esto conocer su comportamiento mecánico.

4.9.2. Granulometría y Clasificación de los Suelos

La granulometría o estudio de los distintos tamaños que componen un suelo se realiza basándonos en clasificaciones de tamaños normalizadas, que en general corresponden a los siguientes grupos: gravas, arenas, limos y arcillas. Existiendo dos sistemas de clasificación de suelos de uso común para propósitos de ingeniería, el primero de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS o USCS) que se utiliza para casi todos los trabajos de ingeniería geotécnica y el otro de acuerdo a la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO) que se usa para la construcción de carreteras y terraplenes.

- Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.)

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.) fue planteado por Arthur Casagrande en 1942, años más tarde fue ligeramente modificado y adoptado por el ASTM (American Society For Testing and Materials) como método normalizado de clasificación. Dicha clasificación se vale de unos símbolos de grupo, consistentes en un prefijo que designa la composición del suelo y un sufijo que matiza sus propiedades. En la siguiente figura se muestran dichos símbolos y su significación:

TIPO DE SUELO	PREFIJO	SUBGRUPO	SUFIJO
Grava	G	Bien graduado	W
Arena	S	Pobremente graduado	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Límite líquido alto (>50)	L
Turba	Pt	Límite líquido bajo (<50)	H

Figura 10. Símbolos y grupos de clasificación SUCS.
Fuente: Marín (2008). Mecánica de suelos.

En función de estos símbolos, pueden establecerse diferentes combinaciones que definen uno y otro tipo de suelo como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3. Símbolos y características generales de la clasificación SUCS.

SÍMBOLO	CARACTERÍSTICAS GENERALES		
GW	GRAVAS (>50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias (Finos < 5%)	Bien graduadas
GP			Pobremente graduadas
GM		Con finos (Finos > 12%)	Componente limoso
GC			Componente arcilloso
SW	ARENAS (<50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias (Finos < 5%)	Bien graduadas
SP			Pobremente graduadas
SM		Con finos (Finos > 12%)	Componente limoso
SC			Componente arcilloso
ML	LIMOS	Baja plasticidad (LL<50)	
MH		Alta plasticidad (LL>50)	
CL	ARCILLAS	Baja plasticidad (LL<50)	
CH		Alta plasticidad (LL>50)	
OL	SUELOS ORGÁNICOS	Baja plasticidad (LL<50)	
OH		Alta plasticidad (LL>50)	
PT	TURBA	Suelos altamente orgánicos	

Fuente: Marín (2008). Mecánica de suelos.

Como se puede deducirse de la anterior tabla, existe una clara distinción entre tres grandes grupos de suelos:

- 1) Suelos de grano grueso (G y S): Formados por gravas y arenas con menos del 50% de contenido de finos, empleando el tamiz 0.080 UNE (#200ASTM).
- 2) Suelos de grano fino (M y C): Formados por suelos con al menos un 50% de contenido en limos y arcillas.
- 3) Suelos orgánicos (O, Pt): Constituidos fundamentalmente por materia orgánica. Son inservibles como terreno de cimentación.

Según Braja (2015), menciona que para clasificar apropiadamente un suelo utilizando este sistema, deben conocerse el porcentaje de grava, el porcentaje de arena, el porcentaje de limo y arcilla, los coeficientes de uniformidad y curvatura y el límite líquido e índice de plasticidad. Los primeros cinco datos se obtienen a partir de un análisis granulométrico.

- Clasificación de suelos AASHTO

Este método de clasificación, considera siete grupos básicos de suelos numerados desde el A-1 al A-7. Los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2, y A-3 son materiales granulares, donde 35% o menos de las partículas pasan por la criba No. 200. Los suelos de los que más del 35% pasan por la criba No. 200 son clasificados en grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. La mayoría están formados por materiales tipo limo y arcilla.

- Límites de Atterberg

Según Braja (2015), los límites de Atterberg o también llamados límites de consistencia se basan en el que los suelos de grano fino, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo de la cantidad de agua que contengan y la naturaleza del comportamiento del suelo. Por lo que, a muy bajo contenido de agua, el suelo se comporta más como un sólido frágil, cuando el contenido de agua es muy alto, el suelo y el agua fluyen como un líquido. Por tanto, el suelo se clasifica arbitrariamente en cuatro estados básicos, denominados sólido, semisólido, plástico y líquido, como se muestra en la Figura 11.

El contenido de agua, en porcentaje, en el que la transición de estado sólido a semisólido, se define como límite de retracción, de estado semisólido a plástico es el límite plástico, y de estado plástico a líquido es el límite líquido. A estos límites se conoce como Límites de Atterberg.

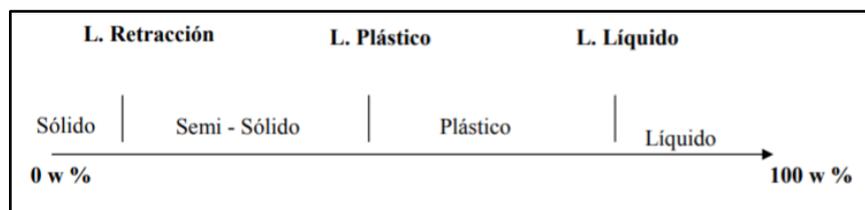


Figura 11. Límites de Atterberg.

Fuente: Reunión de Ingenieros., Mecánica de suelos., Editores técnicos asociados., España., (1975).

4.9.3. Resistencia Cortante del Suelo

La resistencia cortante del suelo se ha definido según Valerio (2011), como la última o máxima resistencia al corte que el suelo puede soportar, esto antes de que ceda provocando que la estructura falle. Específicamente, se ha expresado como la resistencia interna que ofrece la masa de suelo por área unitaria para resistir la falla al deslizamiento a lo largo de cualquier plano dentro de él.

Por lo que el esfuerzo cortante en los suelos es el aspecto más importante de la ingeniería geotécnica, específicamente en la capacidad de soporte de cimentaciones superficiales como profundas, la estabilidad de los taludes y el diseño de muros o paredes de retención, llevan implícito el valor de la resistencia al esfuerzo cortante.

La resistencia al corte de suelos, es representado por el ángulo de fricción y la cohesión del modelo Mohr-Coulomb, un parámetro fundamental para geotecnia.

Los suelos fallan o se cortan cuando exceden su resistencia al corte, es decir, cuando alcanzan una tensión equivalente a la tensión de falla (López, Larrúa, & Recarey, 2009).

4.9.3.1. Criterio de Falla Mohr – Coulomb

Mohr (1900), menciona que el criterio de resistencia que más se ajusta a los suelos, es denominado Criterio de Resistencia o Falla Mohr-Coulomb, el cual consiste en que el suelo falla bajo una combinación de un esfuerzo normal y un esfuerzo cortante actuando en un plano (plano de falla). Por lo cual, la relación entre estos esfuerzos se expresa de la siguiente manera:

$$\tau_f = f(\sigma) \quad (5)$$

Donde:

τ_f : esfuerzo cortante sobre el plano de falla

σ : esfuerzo normal sobre el plano de falla

Para Coulomb (1776), la envolvente de falla definida por la ecuación es una línea curva, y para la mayoría de los problemas de mecánica de suelos, es suficiente aproximar el esfuerzo cortante sobre el plano de falla como una función lineal del esfuerzo normal, lo cual se conoce como el Criterio de falla Mohr-Coulomb. Como se presenta de la siguiente manera:

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

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

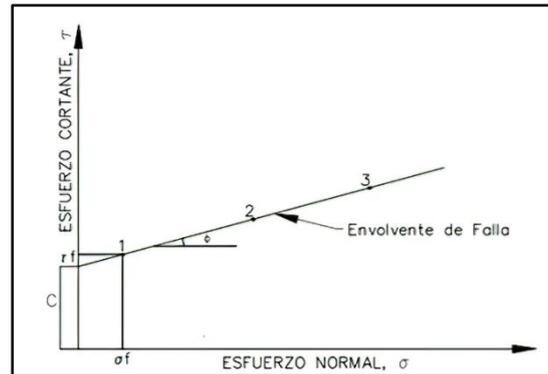


Figura 12. Resistencia a cortante del suelo.

Fuente: Braja (2015). Fundamentos de ingeniería geotécnica.

El intercepto en el eje τ se determina c que es la “cohesión” y el ángulo que forma con la horizontal se denomina ϕ “ángulo de fricción interna”. Como se observa en la Figura 12.

Posteriormente en 1925 Terzaghi demostró que el esfuerzo normal sobre el plano de falla corresponde al esfuerzo normal efectivo, entonces:

$$\sigma' = \sigma - \mu \quad (7)$$

Donde:

σ' = esfuerzo normal efectivo

σ = esfuerzo normal total

μ = presión neutra, presión de poro

Por lo tanto, la ecuación de resistencia a cortante de los suelos viene dada por:

$$\tau_f = c' + \sigma' \tan\phi' \quad (8)$$

Donde:

τ_f : esfuerzo cortante sobre el plano de falla

c' : cohesión efectiva

ϕ' : ángulo de fricción interna efectivo

σ' : esfuerzo normal sobre el plano de falla efectivo

La importancia de la envolvente de falla, es que, si el esfuerzo normal y el esfuerzo cortante sobre un plano en una masa de suelo son tales como los representados por el punto A, entonces no ocurrirá una falla cortante a lo largo de ese plano. Si el esfuerzo normal y el esfuerzo cortante sobre un plano representados por el punto B (sobre la envolvente de falla), entonces ocurrirá una falla de cortante a lo largo de ese plano. En cambio, un estado de esfuerzo ubicado en el punto C no existe, porque queda por arriba de la envolvente de falla y la falla cortante ya habría ocurrido en el suelo.

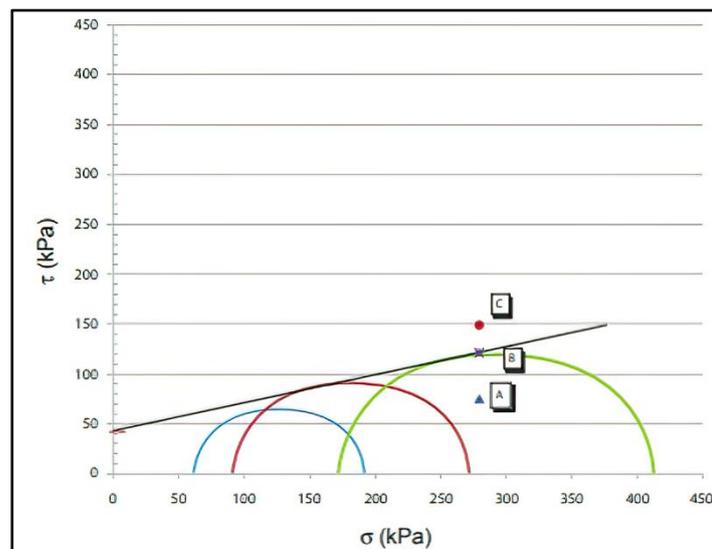


Figura 13. Evolvente de falla Mohr.

Fuente: Valerio (2011). Ensayos triaxiales para suelos.

4.9.3.2. Ensayos de corte directo

El ensayo de corte directo es el más común para obtener la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos en los estudios de deslizamientos. Este ensayo está normalizado según la norma ASTM D 3080 – 11, el cual consiste en colocar la muestra en una caja de corte directo, aplicando un esfuerzo normal determinado, humedeciendo o drenando la muestra de ensayo, se consolida la muestra bajo el esfuerzo normal, a una velocidad constante de deformación se hace desplazar un marco horizontalmente respecto al otro y se mide la fuerza de corte y los desplazamientos horizontales a medida que la muestra es llevada a la falla. Mediante la relación del desplazamiento horizontal con la relación de tensión de corte y normal pueden obtener los parámetros de cohesión y ángulo de fricción interna del espécimen estimado a través del criterio de falla de Mohr-Coulomb.

Las fórmulas que se utilizan para el cálculo y evaluación del ensayo de corte directo son las siguientes:

- Esfuerzo normal sobre la muestra

$$\sigma_n = \frac{F_n}{A} \quad (9)$$

Donde:

σ_n : esfuerzo normal (Kpa)

F_n : fuerza normal sobre la muestra (KN)

A: área de la caja de corte (cm²)

- Esfuerzo de corte sobre la muestra

$$\tau = \frac{F_s}{A} \quad (10)$$

Donde:

τ : Esfuerzo de corte (Kpa)

F_s : Fuerza de corte (KN)

A: Área de la caja de corte (cm²)

De acuerdo a la Norma ASTM, existen 3 tipos de ensayos según las condiciones en las que se realicen, los cuales son:

- **Ensayo consolidado – drenado (CD):** Se permite el drenaje de la muestra durante todo el ensayo, de modo que las presiones intersticiales, que es la presión ejercida en los poros o espacios vacíos en una sustancia, sean nulas durante la aplicación del esfuerzo cortante.
- **Ensayo consolidado – no drenado (CU):** Se permite el drenaje de la muestra durante la aplicación del esfuerzo vertical, por lo que al comenzar a aplicar el esfuerzo de corte la presión intersticial es nula, pero no durante su aplicación posterior. Y es aplicable a suelos cohesivos arcillosos.
- **Ensayo no consolidado – no drenado (UU):** No se permite el drenaje de la muestra, ni durante la aplicación de la carga vertical y tampoco en la aplicación del esfuerzo cortante. Es apto para la resistencia al corte de suelos en los que no es posible que exista drenaje, ya sea porque el mismo suelo es cohesivo.

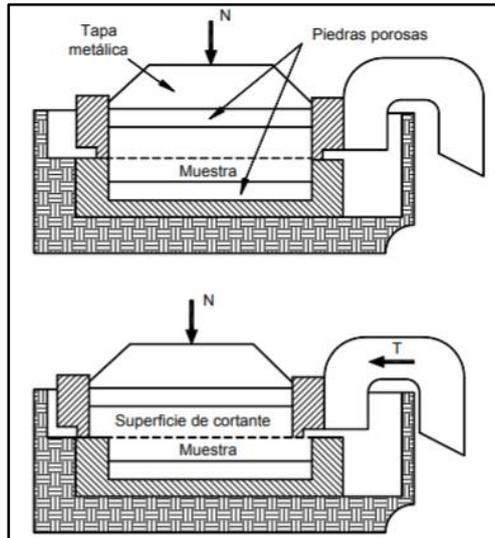


Figura 14. Movimiento de las dos mitades del ensayo de corte directo en caja.
Fuente: Chávez (2006). Geotecnia.

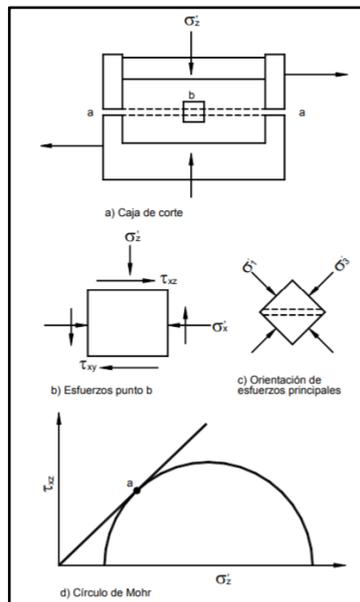


Figura 15. Diagrama del ensayo de corte directo.
Fuente: Chávez (2006). Geotecnia.

4.9.3.3. Ensayos de compresión simple

El ensayo de compresión simple o compresión uniaxial tiene por finalidad, determinar la resistencia última de los suelos cohesivos inalterados, remodelados o compactados. El ensayo consiste en colocar una muestra cilíndrica de suelo en una máquina de compresión, en el cual se aplica un esfuerzo axial controlado a la muestra para ocasionar su falla, bajo esfuerzos laterales nulos, es decir sin confinamiento lateral ($\sigma_3 = 0$), de lo cual obtenemos el esfuerzo de compresión no confinada (q_u). Este método de ensayo es aplicable en materiales como las arcillas, limos o suelos cementados.

Debido a que en el ensayo de compresión uniaxial no se tiene resistencia lateral, si no solo la presión atmosférica que lo rodea, entonces el esfuerzo total principal menor (σ_3) es cero, el esfuerzo total principal mayor ($\Delta\sigma_f$) es igual al esfuerzo de compresión no confinada (q_u) y el ángulo de fricción interna (ϕ) del suelo se supone es cero y la resistencia al corte no drenado (C_u) es:

$$C_u = c + \sigma * \tan(0) \quad (11)$$

Donde:

C_u : resistencia al corte no drenado

c : resistencia no drenada, o cohesión aparente

σ : esfuerzo normal

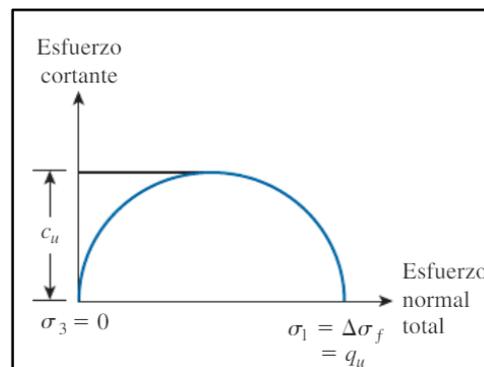


Figura 16. Círculo de Mohr para la prueba.

Fuente: Braja (2015). Fundamentos de ingeniería geotécnica.

Según esto la resistencia al corte no drenado (C_u) se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$C_u = \frac{q_u}{2} \quad (12)$$

La realización de este ensayo se debe basar en las normas ASTM D – 2166 y la ASSHTO – T 208.

4.9.4. Análisis Geológico Geotécnico

4.9.4.1. Estabilidad de Taludes

Según Suárez (1998), mediante el cálculo de un factor de seguridad se procede al análisis de la estabilidad de un talud, de forma que se pueda definir el tipo de medidas correctoras que deben ser aplicadas en caso de fallas potenciales. Para este procedimiento se vuelve necesario un estudio geológico y geomecánico de los materiales conformantes del talud, de

los posibles mecanismos de rotura que pueden tener lugar y los factores que influyen, condicionan y desencadenan las inestabilidades.

En cambio, Armas & Horta (2010), mencionan que la estabilidad de un talud está determinada por factores geométricos (altura e inclinación), factores geológicos (presencia de planos y zonas de debilidad y anisotropía), factores hidrogeológicos (presencia de agua) y factores geotécnicos relacionados con el comportamiento mecánico del terreno.

Todos estos factores determinan la condición de rotura a lo largo de una superficie de falla. La probabilidad de rotura y los mecanismos de esta están controlados principalmente por factores geológicos y geométricos, los cuales son intrínsecos a los materiales naturales.

- **Método de Equilibrio Límite**

Dentro de las metodologías disponibles para el cálculo de estabilidad de taludes, los métodos de equilibrio límite son los más empleados y difundidos en la práctica geotécnica, tanto por su buena contrastación con casos reales como por su sencillez de aplicación y el valor resultante del factor de seguridad no dista mucho de lo real. Por lo que permiten analizar los casos de falla traslacional y de falla rotacional, así como las fallas de inclinación “Toppling” y las fallas en cuña (Suárez Díaz, 2009).

El sistema de equilibrio límite supone que en el caso de una determinada superficie de falla por el cual el suelo se va a deslizar, las fuerzas actuantes y resistentes son iguales a lo largo de ese plano de falla equivalentes a un factor de seguridad de 1. De esta manera se deduce que la masa superior se mueve por encima de la inferior a través del plano de falla antes mencionado. El análisis se puede realizar estudiando directamente la totalidad de la longitud de la superficie de falla o dividiendo la masa deslizada en tajadas o dovelas (Suárez Díaz, 2009).

El método de equilibrio límite consiste en estudiar el equilibrio de un cuerpo rígido, constituido por el talud y por una superficie de deslizamiento de cualquier forma (línea recta, arco circular, espiral logarítmica). Con tal equilibrio se calculan las tensiones de corte (τ_d) y se comparan con la resistencia disponible (τ_f), valorada según el criterio de rotura de Mohr-Coulomb; de tal comparación se deriva la primera indicación sobre la estabilidad con el coeficiente de seguridad $F = \tau_f/\tau_d$ (Armas Novoa & Horta, 2010).

Entre los métodos de equilibrio límite más usados están, el de Fellenius (1927), Bishop simplificado (1955), Morgentern y Prince (1965), Spencer (1967) y Jambu simplificado (1968).

- Factor de Seguridad

El factor de seguridad es una relación frecuentemente utilizada en los diseños en ingeniería, para representar de manera sintética, en un solo valor el margen de confianza que tiene un diseño dado, y con él la estructura que se construya de acuerdo con dicho diseño. En el análisis de taludes y laderas el factor de seguridad al deslizamiento, conocido también como coeficiente de seguridad, es el valor numérico de la relación entre la resistencia al corte promedio del suelo a lo largo de la superficie de deslizamiento potencial y la resistencia al corte estrictamente necesario para mantener el terreno en equilibrio (Chávez, 2006).

Braja (2015) menciona que la tarea del ingeniero encargado de analizar la estabilidad de taludes es determinar el factor de seguridad. En general, el factor de seguridad se define como:

$$FS_s = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad (13)$$

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:

$$\tau = c' + \sigma' \tan \varphi' \quad (14)$$

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

$$\tau_d = c'_d + \sigma' \tan \varphi'_d \quad (15)$$

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.

$$FS_s = \frac{c' + \sigma' \tan \varphi'}{c'_d + \sigma' \tan \varphi'_d} \quad (16)$$

Donde:

FS_s : factor de seguridad con respecto a la resistencia

c' : cohesión

c'_d : cohesión eficaz

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

φ' : ángulo de fricción de drenado

φ'_d : ángulo de fricción desarrollado a lo largo de la superficie potencial de falla

$$FS_s = FS_{c'} = FS_{\varphi'} \quad (17)$$

Donde:

$FS_{c'}$: factor de seguridad con respecto a la cohesión

$FS_{\varphi'}$: factor de seguridad con respecto a la fricción

Es así que, si el factor de seguridad es igual a 1, el talud está en estado de falla inminente, por el contrario, si el factor de seguridad llega a un valor de 1,5 o superior con respecto a la resistencia este se considera estable y seguro.

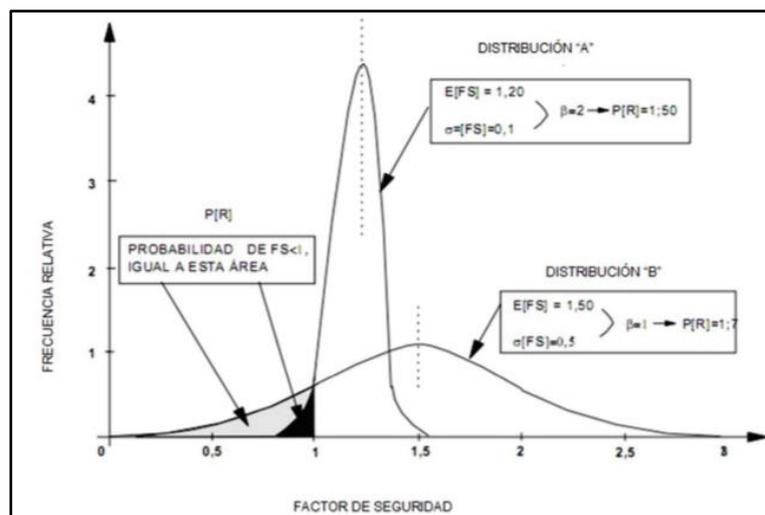


Figura 17. Distribución de frecuencias del factor de seguridad.

Fuente: Assis (2002). Métodos estadísticos y probabilísticos en geotecnia.

La probabilidad de ruptura, viene dada por la porción del área bajo la curva unitaria de la distribución de frecuencia, correspondientes a los valores del factor de seguridad por debajo

de 1,0. La Figura 17 ilustra dos situaciones hipotéticas: la distribución de “A”, que tiene un factor de seguridad medio, bajo (1,2) y la desviación estándar de factor de seguridad, pequeña (0,1); y distribución de “B”, con un factor de seguridad medio, alto (1,5) y alta desviación estándar elevada (0,5). La probabilidad de ruptura es menor en el caso de A (área de la zona de negro) que de B (zona clara), a pesar de que el factor de seguridad es mucho mayor para B que para A (Assis, 2002).

- **Factor de seguridad determinista**

Es el factor de seguridad mínimo calculado cuando todos los datos de entrada son exactamente iguales a sus valores promedios. Corresponden al factor de seguridad que se calculó usualmente cuando no se hace análisis probabilístico.

- **Factor de seguridad promedio probabilístico**

Corresponde al valor promedio del factor de seguridad obtenido del análisis probabilístico. Es el promedio de todos los factores de seguridad calculados para el talud. En general el factor de seguridad probabilístico deber estar cercano al valor del factor de seguridad determinista si el número de factores de seguridad calculados en el análisis probabilístico es suficientemente grande.

4.9.4.2. Tipos de Rotura

4.9.4.2.1. Roturas en Roca

- **Rotura Planar**

Se entiende por rotura o falla planar, como aquella en el que el deslizamiento se produce a través de una única superficie plana. Siendo la más sencilla de las formas de rotura posibles se produce cuando existe una fracturación dominante en la roca y convenientemente orientada respecto al talud (Ayala Carcedo, Andreu Posse, & Marqués, 1987).

- **Rotura en Cuña**

La rotura en cuña es un tipo de deslizamiento traslacional, ocurre cuando la masa de roca se desliza a lo largo de dos discontinuidades que se interceptan en un ángulo oblicuo a la superficie del talud. Este tipo de deslizamientos generalmente se dan en macizos rocosos resistentes, con discontinuidades bien marcadas. La formación de una rotura en cuña depende primordialmente de la litología y de la masa de roca (Ramírez & Monge, 2004).

- Rotura por Vuelco

Esta aparece principalmente cuando el rumbo del plano de discontinuidad: falla, estratificación, etc., coinciden aproximadamente con el plano del talud y además tiene un fuerte buzamiento hacia el interior del macizo rocoso. Cuando el macizo rocoso presenta un conjunto de paquetes que quedan en voladizo, se produce un vuelco por flexión; además, puede aparecer una familia de discontinuidades conjugada con la principal, produciéndose en este caso un vuelco de bloques o un vuelco de bloques por flexión (Ramírez Oyanguren, 2004).

4.9.4.2.2. Roturas en Suelo

- Rotura Circular

También conocida como deslizamiento o rotura rotacional, es producida por muchos sets de fallas, las cuales tienen distintos rumbos y manteos, y dejan la roca muy fracturada, perdiendo la cohesión. Por la cantidad de fracturas, el macizo rocoso se transforma en una especie de gravilla, la que se desliza por la cara del talud. Esta aproximación de rotura se hace cuando no es posible determinar la familia de discontinuidades que controla la inestabilidad. (Ayala Carcedo et al., 1987).

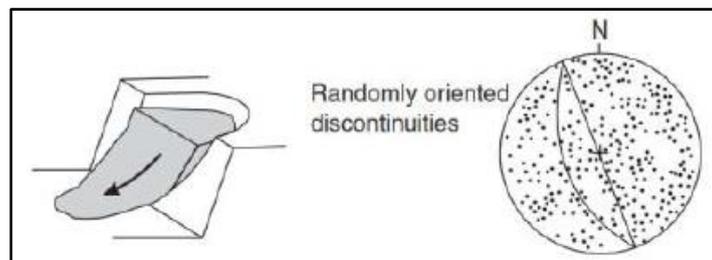


Figura 18. Geometría de la rotura circular.

Fuente: Wyllie & Mah (2007).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Materiales y Equipos

Para la ejecución del presente proyecto se utilizó diferentes equipos y materiales para las diferentes actividades a realizarse en el sector de estudio, los cuales se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4. Materiales y equipos utilizados.

Materiales de oficina	Cartas geológicas, fotografías aéreas del sector, mapas georreferenciados, laptop, software tipo GIS, software AutoCAD 2018, Google Earth, Microsoft Office 2018, impresora.
Materiales de campo	GPS Garmin, libreta de campo, cámara fotográfica, fichas de campo, esferográficos.
Topográfico	Estación Total Trimble S3, trípode, 4 prismas, flexómetro, machete, estacas, combo.
Geológico	Brújula tipo Brunton, martillo geológico, ácido clorhídrico (10%), cinta métrica de 50 m, lupa de bolsillo 20x, rayador de campo, lápices de colores, libreta de campo.
Laboratorio	Juego completo de ensayo de corte directo, pipeta de agua de goteo (botella), 2 espátulas, balanza de precisión, cámara húmeda, estufa, anillos moldeadores, recipientes, cápsulas, equipo de corte directo, perfiladora de cilindros, escalímetro, escuadra, bandeja, prensa uniaxial, tamices, cazuela de casa grande, ranurador.
Geotécnico	Trípode, martillo de seguridad, motor de 8 caballos de fuerza, cabo, tubería, recuperador de testigo (cuchara partida), llave de tubo, metro, fundas, etiquetas, grasa, agua, guantes de cuero, cepillo de acero, cajas de sondeos geotécnicos, barretas, palas.
Geofísico	Resistivímetro Abem (modelo terrameter SAS - 100), carretes con cables flexibles, electrodos de acero inoxidable, conectores, combo, GPS, accesorios varios.

Fuente: El Autor, 2020.

5.2. Metodología

La presente investigación de “Estudio Geológico – Geotécnico del Deslizamiento, en el Sector El Sauce – La Granja de la Parroquia Rural Malacatos, del Cantón Loja y Provincia de Loja”, se desarrolló a partir de dos tipos de investigación: no experimental y experimental.

5.2.1. Investigación No Experimental

Palella & Martins (2012), definen como investigación no experimental, a aquella que se realiza sin manipular en forma deliberada ninguna variable. El investigador no sustituye intencionalmente las variables independientes y se observan los hechos tal y como se presentan en su contexto real y en un tiempo determinado o no, para luego analizarlos.

En este sentido en el presente estudio, primeramente, se reconoció la zona con el fin de identificar sitios específicos para realizar los diferentes ensayos de campo y recoger las muestras para analizarlas en el laboratorio, y así mismo determinar los daños presentes en el área del deslizamiento.

5.2.2. Investigación Experimental

Palella & Martins (2012), en cambio mencionan que el tipo experimental es aquel según el investigador manipula una variable experimental no comprobada, en un orden establecido y bajo condiciones estrictamente controladas, por lo que su objetivo es describir de qué modo y porque causa se produce o puede producirse un fenómeno.

Para ello se estableció un procedimiento ordenado y así dar cumplimiento de los objetivos planteados, como indica en la Figura 19.

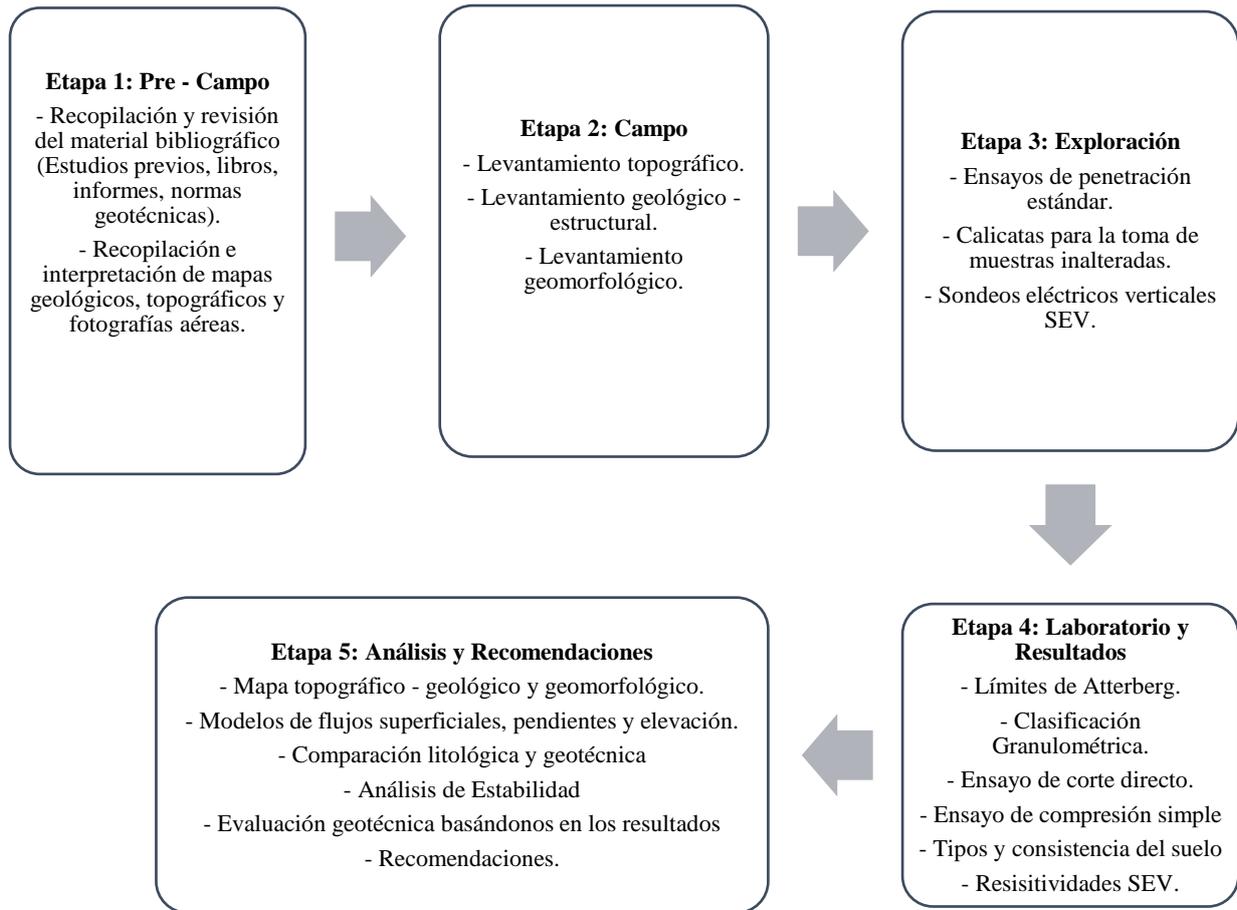


Figura 19. Esquema de la metodología empleada.
Fuente: El Autor, 2020.

5.2.3. Pre – Campo

En esta etapa se recopila y analiza toda la información necesaria sobre la zona de estudio, con la finalidad de tener una idea general de realidad del terreno para su posterior comprobación en campo. Se realizó la recopilación y revisión del material bibliográfico (estudios previos, libros, informes), también mapas geológicos, topográficos y fotografías áreas, además también de la revisión de las normas geotécnicas.

5.2.4. Campo

5.2.4.1. Topografía

Metodología de Campo

Para delimitar el área de influencia del movimiento en masa, primeramente se identificó la zona afectada es decir el área urbana del sector, posteriormente se realizó una visita técnica en la cual mediante la observación directa, se identificó las partes visibles del deslizamiento

sean estas los flancos y escarpes del mismo, para finalmente realizar la ubicación de mojones en todo el cuerpo del deslizamiento ya identificado y de esta manera evidenciar su movimiento con la instrumentación adecuada dando paso a la presente investigación, para lo cual primeramente se realizó el levantamiento topográfico a detalle del deslizamiento ubicado en el Sector El Sauce – La Granja, se procedió a utilizar la Estación Total Trimble S3, la misma que almacena los puntos tomados de coordenadas UTM según el sistema geodésico mundial 1984 (WGS84) en la zona 17 Sur. Lo primero que se procedió a realizar fue la ubicación de un punto de partida que permita una mayor visualización del deslizamiento, este punto se constituye como la Estación “A” con las siguientes coordenadas (695454 mE, 9534471 mN); luego se procedió a ubicar la estación total en el punto antes mencionado, seguidamente se ubicó con el GPS otro punto que viene a constituir como la Estación “B”, el cual sirve para referenciarse con la estación total y proceder a encerrarla y geo – referenciarla corriendo el error que existe con respecto al GPS.

Una vez corregido el error, se procedió a la toma de los diferentes datos con los prismas a una altura de 2 metros en todo el terreno en interés. Seguidamente ya registrados los datos necesarios, se desplazó la estación al segundo punto de partida, repitiendo el proceso anteriormente detallado, para así cubrir en su totalidad el terreno, obteniendo un área total levantada de 5,818 hectáreas, correspondientes al deslizamiento ubicado en el sector el Sauce – La Granja, de la parroquia rural Malacatos, del cantón Loja y provincia de Loja.



Fotografía 1. Ejecución del Levantamiento Topográfico
Fuente: El Autor, 2020

Metodología de Gabinete

Una vez concluido el trabajo de campo a través de la recolección de los diferentes puntos por medio de la Estación Total Trimble S3, la cual proporciona los datos en un archivo de texto (txt), se procede a procesar dicha información en el programa Excel, la información obtenida consiste en coordenadas en tres dimensiones (X, Y, Z). Seguidamente estos datos se procesan por medio del programa “ForeSight” para generar las curvas de nivel a cada metro, y, por último, se exporta al programa ArcGIS, aquí se procede a editar dibujando todas las referencias necesarias que contengan la información de la totalidad del levantamiento topográfico a detalle a escala 1:5000.

5.2.4.2. Geología

Metodología de Campo

Para realizar el levantamiento geológico se utilizó como base el mapa topográfico generado del deslizamiento en estudio a escala 1:5000 y el mapa geológico regional, para lo cual inicialmente se realizó la descripción de afloramientos “in situ” a través de una observación directa del sector, tanto en afloramientos naturales y artificiales, los cuales fueron identificados, en vías, caminos y senderos, lo cual permite realizar una descripción macroscópica del tipo de roca existente, se describió también las unidades litológicas, y los datos estructurales de contactos, pliegues, fallas como se observa en la Fotografía 2, para ello se usó martillo geológico, brújula tipo Brunton, ácido clorhídrico, lupa de bolsillo y rayador para identificar el tipo de roca.

La información tomada en campo, de los datos estructurales y descripción macroscópica de afloramientos, se la describió en fichas técnicas para el levantamiento de puntos de afloramientos, como se observa en la Figura 20.



Fotografía 2. A) Descripción de afloramientos y B) Toma de medidas estructurales.

Fuente: El Autor, 2020.

Proyecto: "Estudio geológico - geotécnico del deslizamiento, en el sector El Sauce - La Granja"			
Afloramiento N°:		Fotografía:	
Coordenadas de ubicación UTM - DATUM WGS84:	X:		
	Y:		
	Z:		
Datos estructurales:	Rumbo :		
	Buzamiento:		
Estado de meteorización:			
Litología:			
Formación geologica:			
Tipo de afloramiento:			
Dimensiones:	Longitud:		
	Altura:		
Sector de referencia:			
Descripción:			
Observaciones:			

Figura 20. Ficha técnica para la descripción de afloramientos.

Fuente: El Autor, 2020.

Metodología de Gabinete

A partir de los datos obtenidos en campo se procedió a realizar la cartografía geológica, para lo cual inicialmente se ubicó en el mapa topográfico los afloramientos, colocando sus respectivos rumbos y buzamientos de cada unidad litológica levantada y así se obtuvo el mapa de afloramientos, el cual nos permitió generar el mapa litológico superficial a detalle mediante la interpretación de estos puntos y estructuras mapeadas.

Por último, utilizando el Software ArcGIS se digitalizó la geología en formato vectorial generando los respectivos shapefiles, y con lo cual se obtuvo el mapa geológico local a escala 1:5000. Ver Anexo 6.3.

5.2.4.3. Mapa de Pendientes

Para realizar el mapa de pendientes se usó el Software ArcGIS, se inicia realizando un modelo TIN (Triangle Regular Network o Red de Triangulación Regular) generado con las curvas de nivel obtenidas del levantamiento topográfico, una vez creado el TIN se lo convierte a raster y así obtenemos un MDT (Modelo Digital del Terreno), para luego proceder a crear con la herramienta de análisis espacial el modelo de pendientes. En la Figura 21, se presenta un Model Builder, el cual nos indica los pasos a seguir para obtener el modelo de pendientes.

Luego de obtener el modelo, lo procedemos a reclasificar en 5 categorías expresadas en porcentaje de acuerdo a la metodología propuesta por Martínez y Mercado (1992), la cual se explica en la siguiente Tabla 5.

Tabla 5. Categorías y rangos de pendientes.

PENDIENTES	
Categorías	Rango (%)
Terrenos planos a casi planos	0 - 15
Terrenos inclinados	15 - 30
Terrenos moderadamente escarpados	30 - 50
Terrenos escarpados	50 - 75
Terrenos muy escarpados	> 75

Fuente: Martínez y Mercado (1992).

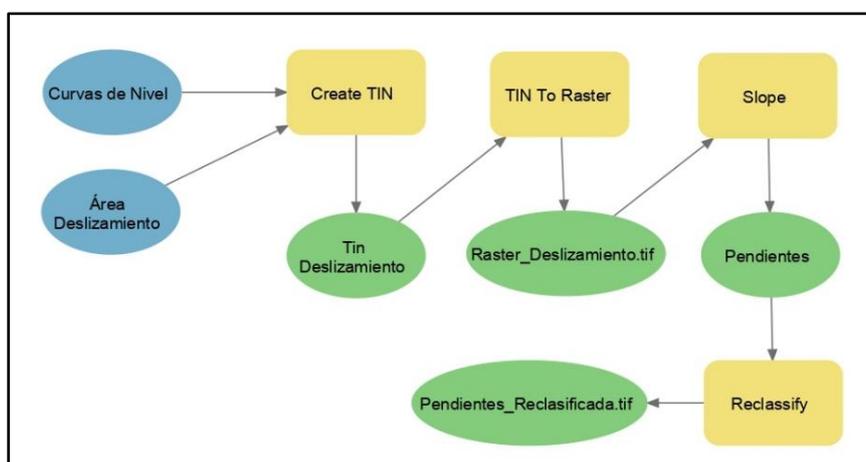


Figura 21. Model Builder para obtener el modelo de pendientes.

Fuente: El Autor, 2020.

5.2.4.4. Mapa Geomorfológico

Para realizar el mapa geomorfológico, se utilizó la fotointerpretación, y la metodología establecida por el Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN 2012), ahora Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE), es necesario indicar que la escala del presente trabajo es mayor y según la jerarquización geomorfológica propuesta por Carvajal (2008), este trabajo se enmarca en la definición de componente o elemento geomorfológico realizándose un ajuste con la visualización en campo. A continuación, se procede a generar en el Software ArcGIS un mapa de sombras (Hillshade), el cual será la base para delimitar las formas del relieve del área de estudio.

Las geoformas se determinaron en función de las curvas de nivel generadas en el levantamiento topográfico y la utilización de los porcentajes calculados en el mapa de pendientes anteriormente realizado, generando en el Software ArcGIS un shapefile correspondiente a un polígono con campos de: Unidad genética, forma de relieve, litología y pendiente.

Finalmente, según CLIRSEN 2012 se clasifica las geoformas de acuerdo a la observación en campo y mediante tablas establecidas por el autor.

Forma de la Vertiente

Se refiere a la forma de la vertiente o ladera. Es importante para observar y definir de forma preliminar la litología y proveer mayor información como, por ejemplo, la meteorización. La Tabla 6, indica las formas de la vertiente propuestas por CLIRSEN.

Tabla 6. Categorías de forma de vertiente.

Forma de Vertiente (V)	
Cód.	Tipo
1	Rectilínea
2	Convexa
3	Cóncava
4	Irregular
5	Mixta

Fuente: Ficha de fotointerpretación geomorfológica. CLIRSEN, (2012).

Morfometría

Pedraza Gilsanz (1996) define la morfometría como el conjunto de técnicas, procedimientos y métodos, utilizados para determinar atributos configuracionales del relieve y con base en ellos, conocer el sistema de relaciones espaciales que caracterizan a las formas del terreno.

Las variables morfométricas deben estar acordes con los datos que provee el Modelo Digital del Terreno (MDT). Entre las variables que se utilizó para el desarrollo del mapa geomorfológico del sector, encontramos las siguientes:

- **Pendiente**

Se refiere al grado de inclinación de la ladera con relación a la horizontal, expresado en porcentaje, para el desarrollo del presente trabajo se tomó en cuenta la clasificación de pendientes que se detalla en la Tabla 7.

Tabla 7. Categorías de pendientes.

Cód.	Pendiente (P)	Porcentaje (%)
1	Plana	0 – 2
2	Muy suave	2 – 5
3	Suave	5 – 12
4	Media	12 – 25
5	Media a fuerte	25 – 40
6	Fuerte	40 – 70
7	Muy fuerte	70 – 100
8	Escarpada	100 – 150
9	Muy escarpada	150 – 200
10	Abrupta	> 200

Fuente: Ficha de fotointerpretación geomorfológica. CLIRSEN, (2012).

- **Desnivel relativo**

Corresponde a la altura existente entre la parte más baja y más alta de las formas del relieve. De acuerdo a los parámetros que se indican en la Tabla 8, se representa esta variable para el mapa geomorfológico.

Tabla 8. Categorías de desnivel relativo.

Desnivel Relativo (DR)	
Cód.	Tipo
1	0 a 5 m
2	5 a 15 m
3	15 a 25 m
4	25 a 50 m
5	50 a 100 m
6	100 a 200 m
7	200 a 300 m
8	> 300 m

Fuente: Ficha de fotointerpretación geomorfológica. CLIRSEN, (2012).

- **Longitud de la vertiente**

Corresponde a la distancia inclinada existente entre la parte más alta y la más baja de una forma del relieve, la misma que se mide en metros, como se observa en la Tabla 9. Tiene una relación directa principalmente con los procesos de erosión y movimientos en masa.

Tabla 9. Categorías de longitud de la vertiente.

Longitud de la Vertiente (LV)		
Tipo	Descripción	Cód.
Muy corta	< a 15 m	1
Corta	15 a 50 m	2
Moderadamente larga	50 a 250 m	3
Larga	250 a 500 m	4
Muy larga	> a 500 m	5

Fuente: Ficha de fotointerpretación geomorfológica. CLIRSEN, (2012).

- Fondo de valle

Hace referencia a las formas que tiene la corteza o litosfera; determina principalmente el tipo de erosión producida en el sector.

Tabla 10. Categorías de fondo de valle.

Fondo de Valle (FV)	
Tipo	Cód.
En U	Vr
En V	Vcx
Plano	Vca
No aplicable	NA

Fuente: Ficha de fotointerpretación geomorfológica. CLIRSEN, (2012).

Las unidades morfológicas definidas en el mapa tienen en cuenta una estructura jerárquica, dada su importancia como factor de definición de las características externas modelada por la geomorfología y el clima, son factores que influyen en la formación de los suelos y en las características de la vegetación.

Cada una de las unidades morfológicas será representada finalmente desde su genética, entre las categorías de forma de relieve según su origen tenemos:

Tabla 11. Ficha de fotointerpretación geomorfológica.

Denominación	Descripción
Deposicional Acumulativo	Se refiere a formas originadas en el transporte por agentes erosivos como el agua, el hielo o el viento, que constituyen medios de acarreo.
Denudativo	Incluyen un grupo de procesos de desgaste de la superficie terrestre. En este contexto, el principal proceso identificable como forma de relieve son los coluviones y coluviones aluviales, formas originadas en la acción de la gravedad en combinación con el transporte de las aguas.
Formas Estructurales	Obedece a un patrón organizado del buzamiento de los estratos y al plegamiento de rocas sedimentarias consolidadas y metamórficas de origen sedimentario.
Formas Estructurales y Fluvio Erosional	Se caracteriza porque incluyen geoformas montañosas y colinadas cuya altura y formas se deben al plegamiento de las rocas superiores de la corteza terrestre y que aún conservan rasgos reconocibles de las estructuras originales a pesar de haber sido afectadas en grado variable por los procesos de denudación. Las Formas Estructurales concretamente se hacen referencia a las geoformas de plegamiento en rocas sedimentarias consolidadas y en metamórficas de origen sedimentario.
Formas de origen Fluvial	Estas formas son ocasionadas por transporte del agua, siendo estas un medio de acarreo. El proceso de sedimentación aluvial o fluvial, tiene como fuerza o agente el agua de escorrentía, corrientes fluviales, cuyo trabajo incluyen tres actividades: erosión, transporte, sedimentación.

Fuente: Base conceptual de la cartografía geomorfológica y de movimientos en masa por tipo. CLIRSER, (2012).

Siguiendo la metodología de CLIRSEN, en el software tipo SIG se editó el mapa geomorfológico, para posteriormente plotearlo.

5.2.4.5. Mapa de flujos superficiales estacionarios

Para realizar el mapa de flujos superficiales estacionarios se usó el Software ArcGIS, en el cual se procedió a realizar un análisis mediante una secuencia de procesos hidrológicos con herramientas de análisis espacial, partiendo de una superficie obtendremos el modelo ráster, para posteriormente realizar los procesos secuencialmente, los cuales fueron: Fill (Relleno), Flow Direction (Dirección de flujo), Flow Accumulation (Acumulación de Flujo), Raster Calculator (Calculadora ráster – logaritmo base 10), Raster Calculator (Calculadora ráster – condicionante), Stream Link (Vínculo de corriente), Stream Order (Clasificación de corrientes) y Stream to Feature (De corriente a entidad). Dichos procesos se observan en la Figura 22, los cuales nos permiten generar el mapa de flujos estacionarios, con este mapa se determinó los sectores del deslizamiento en estudio donde el agua desciende (vaguadas y corrientes).

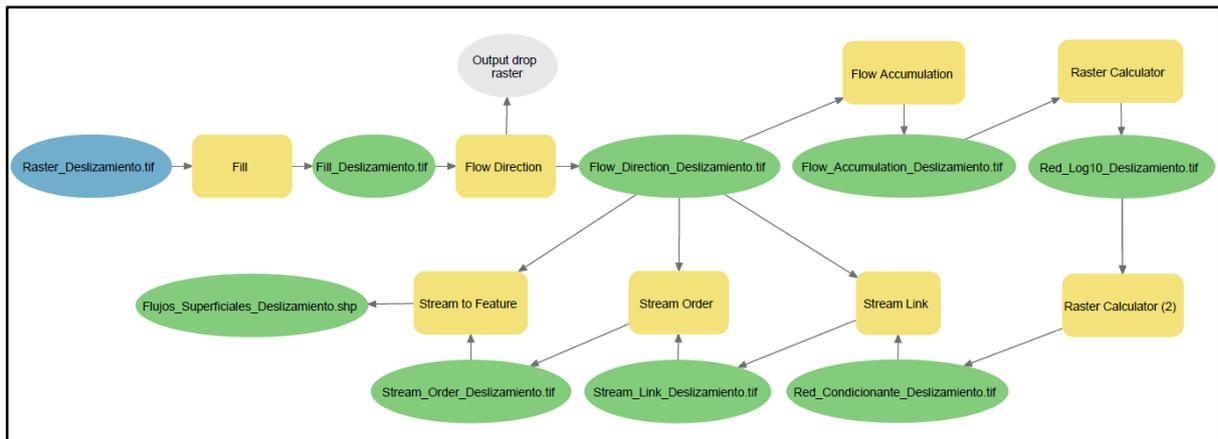


Figura 22. Modelo de construcción para el mapa de flujos superficiales estacionarios.
Fuente: El Autor, 2020.

5.2.5. Exploración

5.2.5.1. Geofísica:

- Sondeo Eléctrico Vertical (S.E.V)

Metodología de campo

Dentro de los métodos eléctricos de resistividad existentes, se ha elegido para la presente investigación la modalidad de Sondeo Eléctrico Vertical (S.E.V) de cuatro electrodos como se observa en la Figura 23, este método permite comprender mejor la estructura del subsuelo de forma indirecta, gracias al estudio de las resistividades eléctricas de las formaciones que la componen, ya que la respuesta eléctrica dependerá esencialmente de la composición mineralógica, propiedades físico mecánicas y grado de saturación de los materiales del subsuelo.

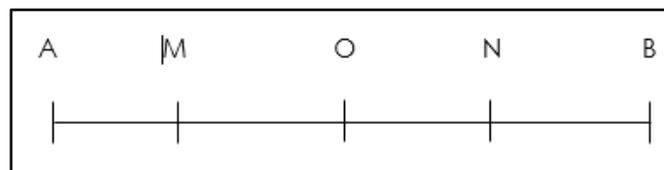
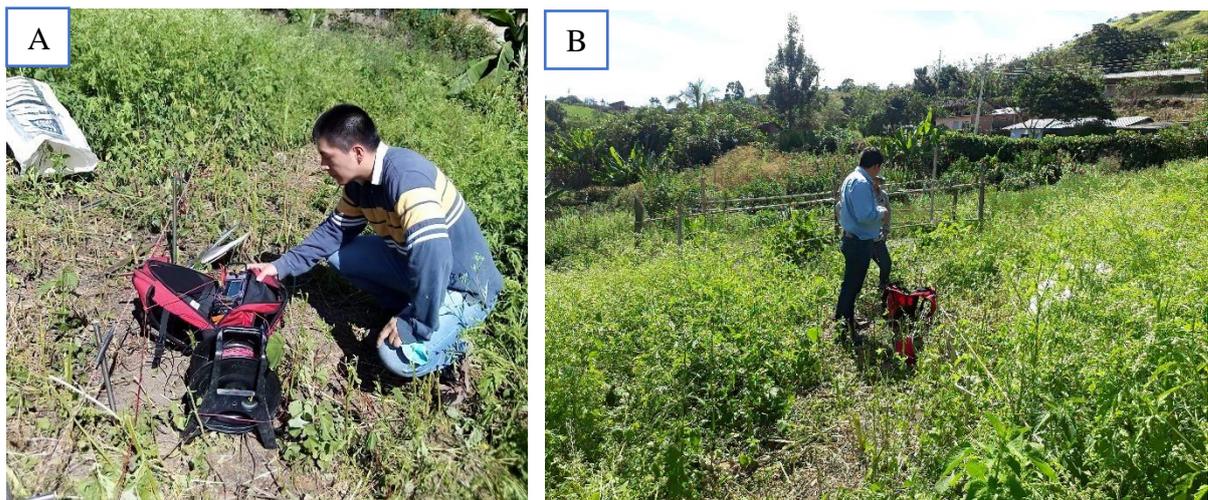


Figura 23. Esquema de SEV de cuatro electrodos.
Fuente: El Autor, 2020.

En el deslizamiento ubicado en el sector El Sauce – La Granja, el cual tiene una superficie de 5,818 Ha, se realizaron tres SEV's, distribuidos basándonos en la información existente de la zona, el levantamiento topográfico y la litología mapeada anteriormente, permitiendo así obtener la mayor información posible del subsuelo, cubriendo las zonas de interés para

la investigación siendo la cabeza, el cuerpo y el pie del deslizamiento, y poder realizar un perfil geoelectrico de todo el cuerpo del deslizamiento. Finalmente, se procedió a marcar los puntos de interés para la realización de los sondeos.

Las medidas de resistividad del subsuelo se adquirieron con el resistivímetro de marca ABEM, modelo Terrameter (SAS-1000), el cual es la unidad central donde se controla la inyección de corriente, la medida de potencial y la configuración electródica; y mediante el arreglo o configuración tipo Schlumberger el cual trata de una composición simétrica de los electrodos AMNB y se distribuyeron sobre una misma línea, donde la distancia de los electrodos detectores MN es mucho menor que la de los inyectores AB, como se observa en la Fotografía 3, la ventaja de esta configuración es de ser menos sensible a las variaciones laterales del terreno o buzamiento de los estratos, debido a que los electrodos de potencial permanecen inmóviles, y solo se desplazan los electrodos de corriente.



Fotografía 3. A) Resistivímetro ABEM Terrameter, arreglo tipo Schumberger y B) Toma de datos.
Fuente: El Autor, 2020.

El proceso consiste en introducir corriente eléctrica al subsuelo desde la superficie por medio de dos electrodos A y B llamados electrodos de corriente y medir la caída de potencial eléctrico con dos electrodos M y N, llamados de potencial, los cuales deben estar alineados y lo más recto posible, aumentando progresivamente la distancia entre ellos manteniendo un punto fijo central y registrando los resultados en fichas técnicas como se observa en el Anexo 2.

El tratamiento y procesamiento de los datos lo iniciamos en campo con el cálculo de la resistividad aparente con la fórmula, y la elaboración de la curva resistividad-distancia,

sobre un papel logarítmico, en donde las resistividades aparentes se llevan en las ordenas y las distancias que hay entre uno de los electros de corriente y el punto 0 del sondeo, se registran en las abscisas, estas curvas se denominan curva de SEV, curva de campo o curva de resistividad aparente.

$$\rho_a = K (\Delta V/I) \quad (18)$$

Donde:

ρ_a : resistividad aparente en ohmios metro (Ωm)

K : coeficiente del dispositivo schlumberger (m)

ΔV : diferencia de potencial en milivoltios (mv)

I : intensidad de la corriente continua en miliamperios (ma)

La resistividad obtenida no corresponde a una unidad litológica concreta, define al conjunto de materiales afectados, por el paso de la corriente y se denomina resistividad aparente (ρ_a), estas resistividades serán relacionadas con tablas de geomateriales como la expuesta en la Tabla 2.

Las fichas técnicas utilizadas constan de la siguiente información, en la primera columna corresponde a la abertura AB/2, en la segunda la abertura MN/2, en la tercera el coeficiente del dispositivo en este caso del arreglo Schulumberger que relaciona las distancias AB y MN, en la cuarta la resistividad que es el valor del cociente $\Delta V / I$ y la quinta y última columna es la resistividad aparente la cual es calculada de la multiplicación de la columna tres y cuatro.

Metodología en gabinete

Ya realizadas las líneas SEV, se realiza el procesamiento de las resistividades mediante el Software IPI2Win, que fue desarrollado en el departamento de geofísica de la Universidad Estatal de Moscú (2002), y es de uso libre, que sirve para la interpretación automática o semiautomática de datos de un sondeo eléctrico vertical. En el programa se ingresa los valores de AB/2, MN, ρ ($\Omega.m$). Luego se elabora la curva teórica de resistividad en función la distancia AB/2 como se muestra en las Figuras 24 y 25, donde se obtienen los parámetros de inversión: número de capas n, valores de resistividad por capa ρ_i y alturas de las capas h_i . En la Tabla 12 se presenta un resumen de los parámetros obtenidos.

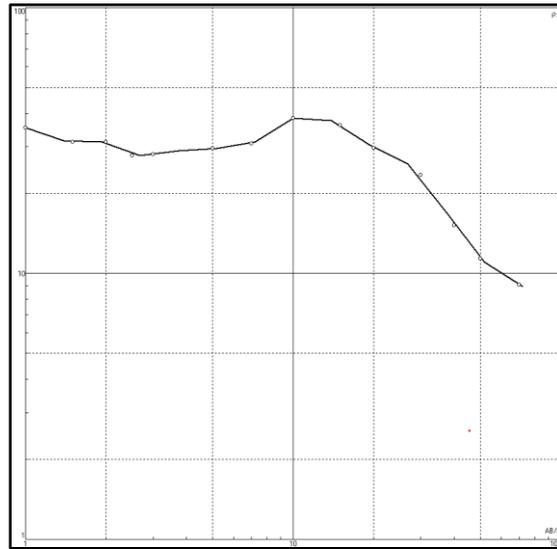


Figura 24. Curva de resistividad aparente de campo.
Fuente: El Autor, 2020.

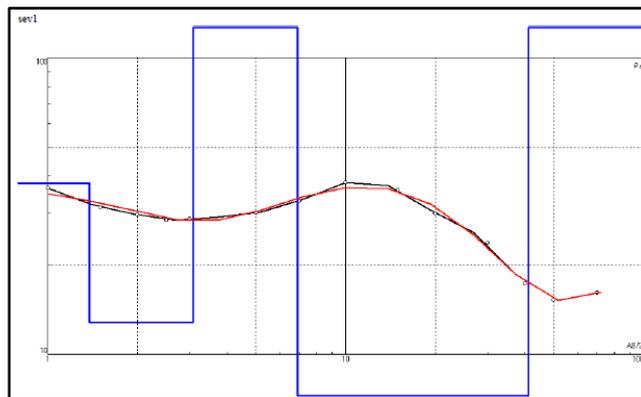


Figura 25. Curva teórica.
Fuente: El Autor, 2020.

Tabla 12. Parámetros de inversión.

Error = 2.48%				
N	ρ	h	d	Alt
1	37.7	1.37	1.37	1701
2	12.8	1.7	3.07	1699
3	155	3.83	6.9	1695
4	5.42	34.3	41.2	1661
5	192			

Fuente: El Autor, 2020.

Vale la pena precisar que, en el programa, el proceso de inversión genera los parámetros a partir de las medidas tomadas, donde los ajustes se realizan de tal manera que se genere el menor error, para obtener resultados más aproximados y precisos.

5.2.5.2. Exploración Geotécnica

- Ensayo de Penetración Estándar (S.P.T)

Metodología en campo

El ensayo S.P.T es uno de los más utilizados en las exploraciones de geotecnia, este permite determinar las propiedades de un suelo por medio de la resistencia a la penetración de un muestreador, a través del conteo del número de golpes necesarios para que el muestreador penetre a una distancia determinada. Así también para encontrar factores como la capacidad de carga del suelo, obtener perfiles estratigráficos y las propiedades físicas mecánicas de los suelos a través de muestras alteradas.

El ensayo de penetración estándar a través de las muestras obtenidas permite tener un valor N_{SPT} el cual es equivalente a la resistencia a la penetración. El procedimiento para obtener dicho valor es el de hincar un toma-muestras estándar (cuchara partida hueca y cilíndrica) en el terreno de 45 cm de longitud, posteriormente se cuenta el número de golpes que se han necesitado para introducir en cada tramo de 15 cm. Para el hincado es necesario considerar las especificaciones recomendadas y estandarizadas en la norma ASTM – D1586 como se muestra en la Figura 26.

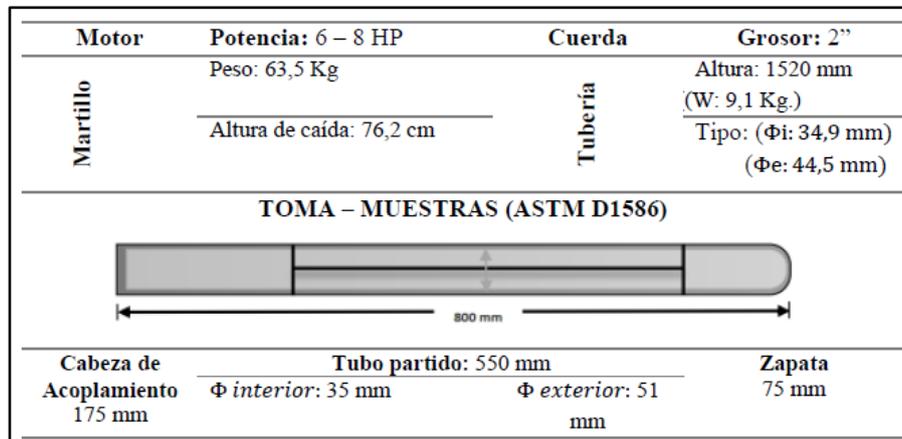


Figura 26. Especificaciones según la Norma ASTM - D1586.

Fuente: Norma ASTM – D1586, Elaborado por el autor, 2020.

Para realizar la prueba el muestreador se enrosca al extremo de la tubería de perforación y se baja hasta la profundidad donde se encuentra el material sobre el cual se va a hacer la prueba. Previamente el pozo debe haberse limpiado cuidadosamente para garantizar que el material no esté alterado.

Posteriormente se coloca el martillo en posición guiado por la tubería de perforación, elevándolo con un cable accionado manual o mecánicamente, el cual se encuentra suspendido del trípode con polea.

Se deja caer el martillo sobre el cabezote de la tubería de perforación y se contabiliza el número de golpes, para cada uno de los segmentos de 15 cm marcados. No se tiene en cuenta los golpes para el primer segmento, puesto que es el de penetración inicial al terreno. Se suman los golpes aplicados para que penetre el tubo en el segundo y tercer segmento, obteniéndose así el valor de “N”.

Se lleva a la superficie el muestreador y se abre obteniéndose la muestra alterada de cada metro de perforación a percusión, la cual fue etiquetada y llevada al laboratorio para su posterior análisis.



Fotografía 4. A) Disposición del equipo SPT y B) Muestra etiquetada.
Fuente: El Autor, 2020.

- Muestras Inalteradas

Para obtener las muestras inalteradas se procedió a realizar dos calicatas, las cuales se encuentran en los sitios donde se llevó a cabo los ensayos de SPT y SEV's, cabe mencionar que no se realizó una tercera calicata, la cual estaba prevista realizarla en el parte superior del deslizamiento, por lo que el material era muy granular y no prestaba las condiciones necesarias para efectuar este muestreo. Estas muestras inalteradas nos van a permitir determinar el ángulo de fricción y la cohesión de los suelos, de igual manera la obtención de la resistencia a la compresión simple de los suelos en estudio.

Método de campo

Para realizar las calicatas y obtener así las muestras inalteradas se llevó a cabo la metodología propuesta por la norma INVE-104-13, la cual nos indica los procedimientos y especificaciones para recolectar muestras inalteradas de suelo en superficie. Teniendo en cuenta esta metodología, logramos conservar la estructura y humedad natural de las muestras, para proceder a transportarlas al laboratorio y realizar los ensayos respectivos.

En el presente estudio vamos a realizar el ensayo mediante una muestra en bloque tallada en el fondo de una calicata, procedimiento que consiste en la abertura de una calicata de 1,30 x 1,30 metros en donde tengamos espacio para poder tallar y extraer la muestra de 30 x 30 centímetros, a una profundidad de 0,50 metros, para que el terreno descubierto este completamente fresco y no haya perdido humedad. Como se muestra en la Fotografía 5, y así mismo se marca la orientación de la cara superior de la muestra.

Ya tallada la muestra con las herramientas apropiadas de acuerdo a la naturaleza de la misma, se procede a aplicarle una primera capa de plástico con lo que se evita su descascaramiento y agrietamiento y la segunda capa de parafina para la preservación de la misma y así poder conservar sus propiedades originales hasta la realización de los ensayos en el laboratorio.



Fotografía 5. A) Apertura de la calicata y B) Muestra inalterada.
Fuente: El Autor, 2020.

5.2.6. Laboratorio (Resultados)

Para complementar la información obtenida en campo, se realizaron ensayos de laboratorio con muestras alteradas e inalteradas, obtenidas en los sondeos y calicatas. Sobre estas muestras se realizaron ensayos de clasificación y resistencia mecánica de los suelos.

5.2.6.1. Laboratorio Ensayo SPT

Con las muestras obtenidas en el ensayo SPT, y mediante las normas ASTM, vamos a realizar los ensayos de laboratorio, los cuales se detallan en la Tabla 13, con su respectiva norma.

Tabla 13. Ensayos a realizar con su respectiva norma ASTM.

ENSAYOS DE LABORATORIO	NORMAS
Humedad natural	ASTM D 2216 - 98
Límite líquido	ASTM D 423 - 66
Límite plástico	ASTM D 424 - 59
Granulometría	ASTM D 421 - 58

Fuente: El Autor, 2020.

Una vez obtenidos los resultados de los ensayos de laboratorio, se procedió a correlacionar los datos del SPT, en relación con la compacidad relativa de la arena, y la resistencia a la compresión simple de los suelos cohesivos.

Tabla 14. Estado de densificación de las arenas a partir del N del SPT.

N _{corr} , g/p	Densidad Relativa, Dr, %	Descripción de Compacidad
0 – 4	0 - 15	Muy suelto
4 – 10	15 - 35	Suelto
10 - 20	35 - 50	Medianamente suelto
20 - 30	50 - 65	Medianamente denso
30 - 50	65 - 85	Denso
> 50	> 85	Muy denso

Fuente: Aguilar (2013). Estudio de mecánica de suelos: Exploración geotécnica.

La consistencia de las arcillas y de otros suelos cohesivos se describen con los términos: Muy blando, blando, medianamente compacto, compacto, muy compacto y duro. La medición cuantitativa básica de la consistencia es la resistencia a la compresión simple.

Tabla 15. Correlación del valor N y la resistencia a la compresión simple (qu).

Suelos Finos		
(N)	Consistencia	Resistencia a compresión simple (qu) (Kg/cm²)
- de 2	Muy blanda	- de 0,25
2 – 4	Blanda	0,25 – 0,50
4 – 8	Medianamente compacta	0,5 – 1,0
8 – 15	Compacta	1,0 – 2,0
15 – 30	Muy compacta	2,0 – 4,0
+ 30	Dura	+ de 4,0

Fuente: Aguilar (2013). Estudio de mecánica de suelos: Exploración geotécnica.

Los resultados de los ensayos realizados mediante las normas ASTM, pueden ser relacionados y analizados mediante tablas y fórmulas para determinar las propiedades de los suelos en lo referente a la consistencia y el índice de liquidez. Dichas tablas y fórmulas son presentadas a continuación.

El N° de actividad en los suelos plásticos se determinó mediante la siguiente:

$$A = \frac{I.P}{\text{Fracción de arcillas (\% < 2mm)}} \quad (19)$$

Tabla 16. Número de actividad aplicada a los suelos plásticos.

Actividad	Clasificación	Tipo de arcilla	Potencial de cambio de volumen
< 0,75	Inactiva	Caolinita	Bajo
0,75 – 1,25	Normal	Lilita	Medio
> 1,25	Activa	Montmorillonita	Alto

Fuente: Skempton & Macdonald (1956).

5.2.6.2. Laboratorio Muestras Inalteradas

Para poder realizar los ensayos de laboratorio, en este caso se toman las muestras inalteradas, de cada sector y se procede a realizar los ensayos según las normas ASTM propuestas en la Tabla 17.

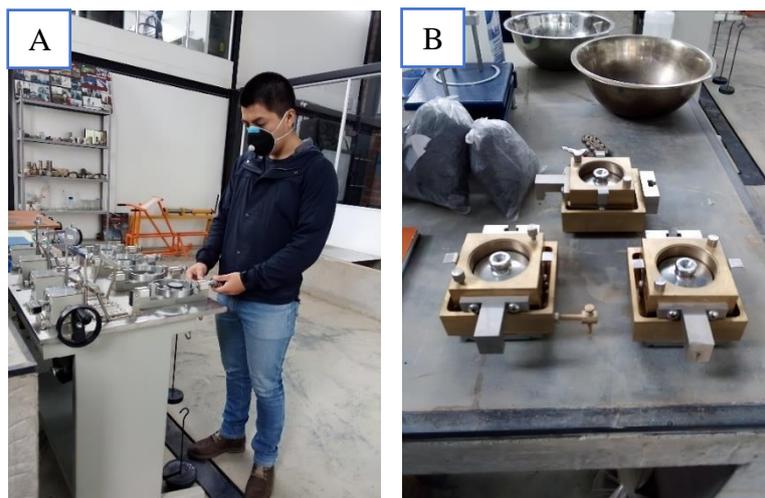
Tabla 17. Ensayos de acuerdo a las normas ASTM.

Ensayo	Norma
Corte directo	ASTM D 3080 – 11
Compresión simple	ASTM D 2166 – 6

Fuente: El Autor, 2020.

- Corte Directo

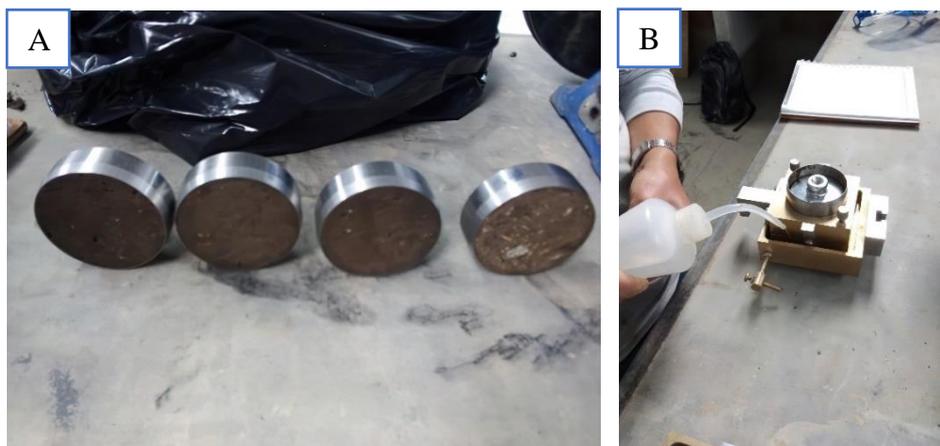
Para conocer los parámetros de resistencia al corte, se utilizó la máquina de corte directo del laboratorio de suelos de la empresa ESTSUELCON CIA. LTDA, como se puede observar en la Fotografía 6, y tomando en cuenta la norma ASTM D – 3080.



Fotografía 6. A) Equipo de corte directo y B) Respectivo juego de cajas.

Fuente: El Autor, 2020.

1. Sobre la muestra inalterada compacta, se introduce el anillo de corte de 6.16 cm de diámetro y 2 cm de altura, para proceder a tallarla, como se observa en la Fotografía 7. Y antes de proceder a la realización de la prueba se pesará la muestra, para determinar los pesos específicos y humedad del material probado.
2. Luego se coloca la muestra en la caja del aparato, y se la satura llenando el dispositivo de agua, para así llevarla a la cámara húmeda, en un lapso de tiempo mínimo de 24 horas.
3. Se coloca la caja de corte en el equipo, y sobre ella, se sitúa el mecanismo transmisor de presión normal.
4. Se aplica la carga normal deseada.
5. Se ubica los extensómetros para medir las deformaciones normal y tangencial, anotando sus lecturas iniciales.
6. Se verifica que no haya contacto entre los marcos fijo y móvil de la caja que contiene el suelo.
7. Se inicia el proceso de aplicación de la carga tangencial a una velocidad de corte de 0.001 mm/min, haciéndose lecturas de la carga aplicada y de las deformaciones normal y tangencial, en un tiempo mínimo de 15 minutos de ensayo para suelos cohesivos.
8. Para este caso el ensayo se lo realizó en la modalidad de consolidado drenado, el cual se basa en mantener una tasa de deformación baja, con el fin de que se disipe la presión de poro y se realice el corte con esfuerzos efectivos.



Fotografía 7. A) Muestras de suelo talladas y B) Muestras de suelo en la caja de corte directo.
Fuente: El Autor, 2020.



Fotografía 8. A) Muestras en la cámara húmeda y B) Muestra en el equipo de corte directo.
Fuente: El Autor, 2020.

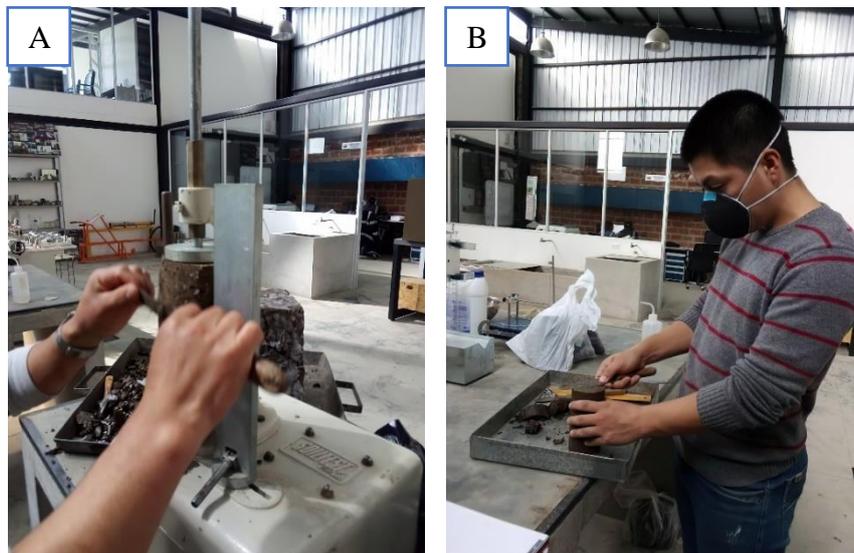
- **Compresión Simple**

Este ensayo se realizó con el fin de determinar la resistencia o esfuerzo último del suelo cohesivo a la compresión no confinada, para lo cual se utilizó el aparato de carga del laboratorio de suelos de la empresa ESTSUELCON CIA. LTDA, como se observa en la Fotografía 9, y tomando en cuenta la norma ASTM D – 2166.

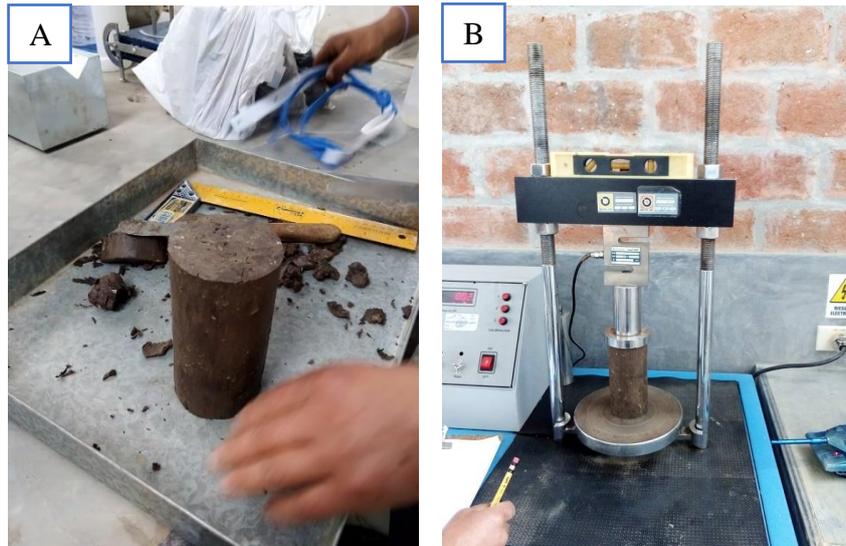


Fotografía 9. Equipo de carga uniaxial.
Fuente: El Autor, 2020.

1. De la muestra inalterada tomada en el sector de estudio, se talla la muestra en la perfiladora, de tal manera que la altura sea el doble del diámetro, este tallado se lo realiza de forma cuidadosa, en lo posible tratando que el material no se agriete en el tallado, realizado con la espátula y cuchillo, como se observa en la Fotografía 10.
2. El tamaño de la probeta se mide con una escuadra, de esta manera se obtiene una probeta bien tallada cumpliendo con la norma antes mencionada.
3. Se coloca el espécimen en el aparato de carga de tal manera que quede centrado en la platina inferior y se ajusta el instrumento de carga de tal manera que la platina superior apenas haga contacto con el espécimen. Se coloca en cero el indicador de deformación.
4. Se aplica una fuerza de tal manera que produzca una deformación axial o compresión simple, a una velocidad de 0.5 mm/min, como se observa en la Fotografía 11.



Fotografía 10. A) Tallado de la muestra y B) Tallado del cilindro de muestra.
Fuente: El Autor, 2020.



Fotografía 11. A) Medida de la muestra y B) Ubicación de la muestra para el ensayo.
Fuente: El Autor, 2020.

5.2.7. Análisis Geológico – Geotécnico

5.2.7.1. Análisis de estabilidad

Es importante que al existir varios métodos se realice un análisis para identificar el método más apropiado para el caso en estudio, teniendo en cuenta las características geológicas, geomecánicas, geométricas e hidrogeológicas del deslizamiento, y el alcance y los objetivos del estudio, grado de detalle y resultados que se espera obtener. Para esta investigación consideramos que el método Bishop, Morgenstern-Price y el método de Spencer son los apropiados para este estudio, debido a los datos disponibles y su precisión.

El método de equilibrio límite consiste en comparar las fuerzas desestabilizadoras con las fuerzas resistentes cuando la relación entre ambas es igual a la unidad. Estos análisis son realizados dividiendo la masa de suelo de la superficie de falla en “n porciones” o “n dovelas”, cada una de estas dovelas estaría afectada por el sistema general de fuerzas.

Todos los métodos de equilibrio límite desarrollados para la estabilidad de taludes son muy similares, la diferencia entre ellos se basa en las ecuaciones estáticas, las cuales son satisfechas de acuerdo con las hipótesis dadas en cada caso con respecto a las fuerzas entre dovelas incluidas y la relación entre las fuerzas cortantes para cada una de estas. En la Figura 27 se observa el esquema del modelo general de fuerzas para cada una de las dovelas y las posibles fuerzas que actúan sobre la misma.

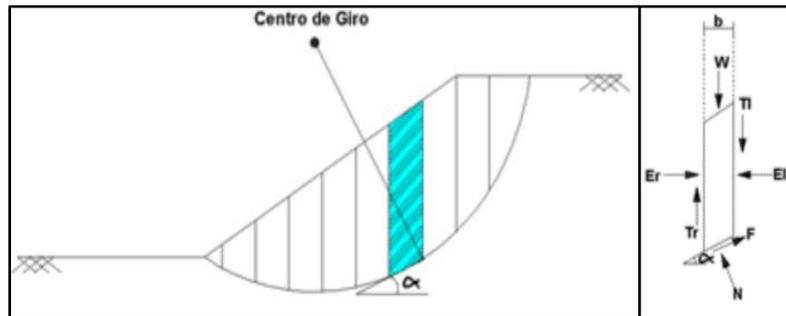


Figura 27. Fuerzas que actúan en la dovela.
Fuente: Olarte Orozco (2013).

Donde:

b : ancho de la dovela

u : presión de poros

W : peso total de cada dovela

α : ángulo del radio del círculo de falla con la vertical bajo el centroide de cada dovela

Er : empuje pasivo actuante en la dovela

El : empuje activo actuante en la dovela

Tr y Tl : fuerza cortante entre dovelas

F : fuerza resistente

N : fuerza normal

- Software Utilizado

La definición de los espesores de las capas litológicas se realizó con datos de los ensayos geotécnicos (SEV's y SPT), realizados en la parte superior, intermedia e inferior del deslizamiento.

El programa para modelar que se utilizó fue SLIDE 6.0 desarrollado por Rocscience In. En el cual se procedió a importar la geometría del talud y el perfil del subsuelo que incluye los espesores y materiales, realizados en el Software AutoCAD. Para luego incluir las propiedades de cada material para cada estrato como son: el peso específico, la cohesión y el ángulo de fricción interna. Finalmente, el programa computacional realiza el cálculo aleatorio de las posibles superficies de falla y arroja como resultado final el Factor de Seguridad más bajo con su respectiva superficie de falla.

Finalmente, se plantearon las medidas de prevención y control desde el punto de vista geotécnico para el tipo de terreno y estado actual del deslizamiento.

6. RESULTADOS

6.1. Descripción General del Área de Estudio

6.1.1. Ubicación Geográfica

El área del deslizamiento en estudio se encuentra ubicada al sur de la región interandina del Ecuador, al noroeste de la Parroquia Malacatos, del Cantón y Provincia de Loja, específicamente en el sector el Sauce – La Granja. La zona de estudio geográficamente limita al norte con el barrio El Carmen, al oeste con el barrio El Belén, al sur con la ruta al barrio Santo Domingo y al este con el barrio Landanguí, como se observa en la Figura 28.

El área del deslizamiento en estudio es de 5.818 Ha y está delimitada por las siguientes coordenadas, las cuales se indican en la Tabla 18.

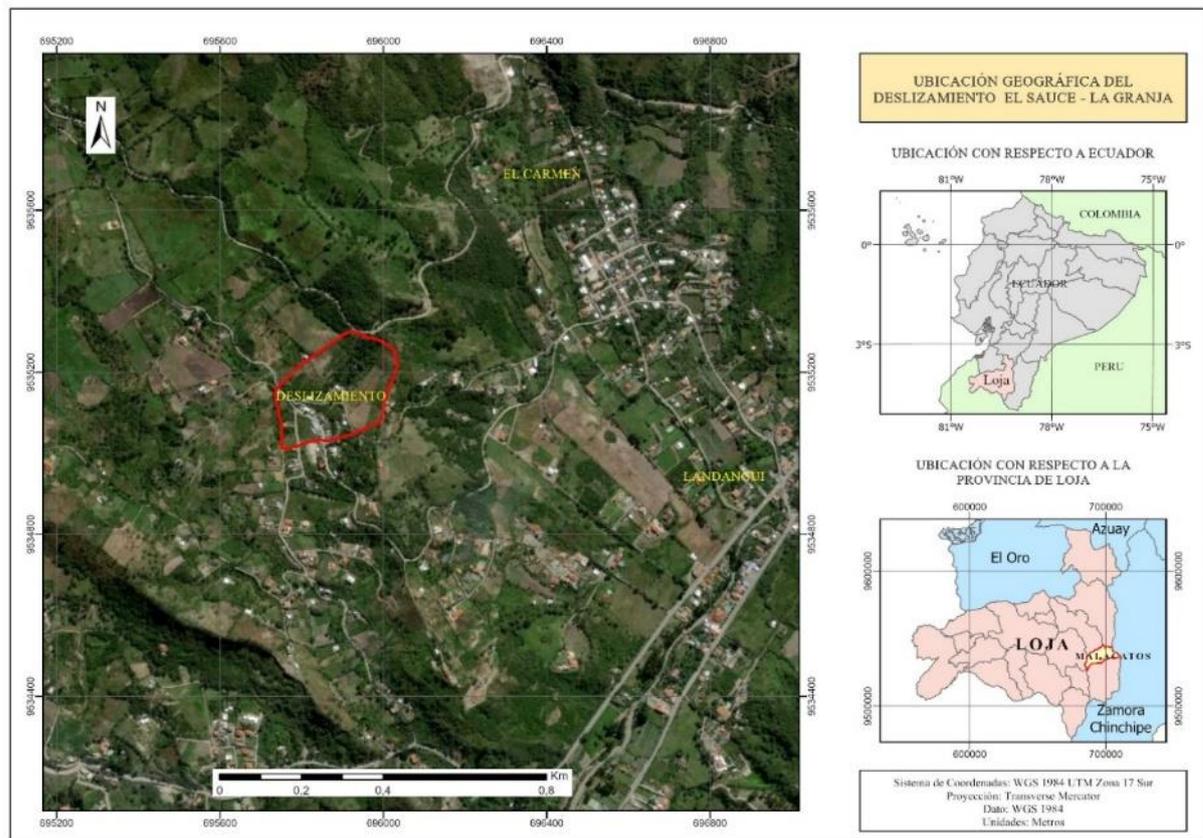


Figura 28. Ubicación geográfica del deslizamiento en estudio.

Elaboración: El Autor, 2020.

Tabla 18. Coordenadas de ubicación del deslizamiento UTM WGS-84 Zona 17S.

Punto	X	Y	Z
1	695760	9535012	1611 m
2	695738	9535155	1632 m
3	695918	9535297	1708 m
4	696032	9535216	1692 m
5	695994	9535082	1649 m

Fuente: El Autor, 2020.

6.1.2. Acceso

El acceso al deslizamiento en estudio se lo puede realizar desde la ciudad de Quito vía terrestre, a través de la carretera Panamericana en un recorrido de 668 km hasta la ciudad de Loja como se representa en la Figura 29-A, o por vía aérea partiendo desde el aeropuerto Tababela de la ciudad de Quito, hacia el aeropuerto del cantón Catamayo, para luego recorrer por vía terrestre aproximadamente 35 km a la ciudad de Loja.

El acceso desde la ciudad de Loja se lo puede llevar a cabo, partiendo desde el redondel del sector “Motupe”, por la avenida de integración barrial “Ángel Felicísimo Rojas” sentido Sur- Oeste, hasta llegar al sector Quilluyacu, continuando por la vía a Malacatos hacia el barrio Landangui, y a partir del mismo se recorre 5 km en dirección Sur-Oeste hasta la entrada del barrio El Sauce, el mismo que nos conduce a la zona de interés, como se muestra en la Figura 29-B.

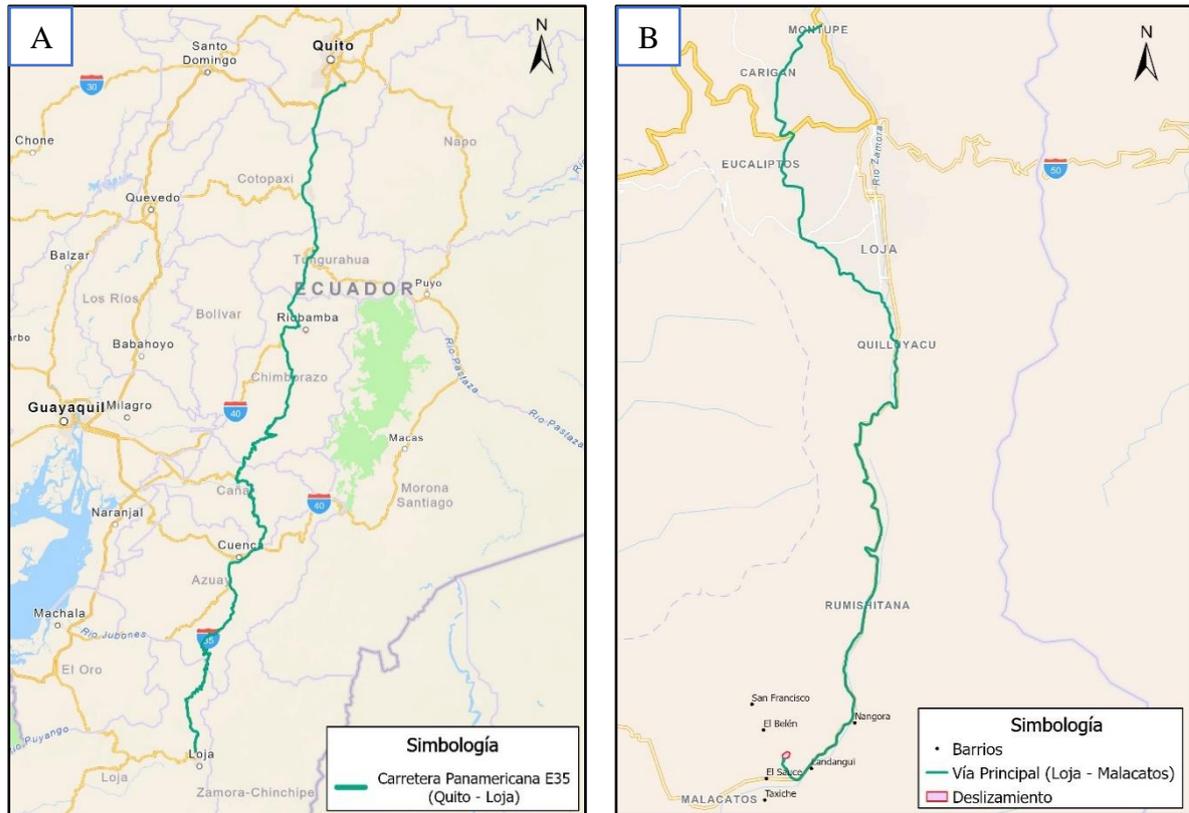


Figura 29. Acceso a la zona de estudio. A) De Quito hacia Loja y B) De Loja hacia el Sector del deslizamiento.

Elaboración: El Autor, 2020.

6.1.3. Características principales del movimiento de ladera

Muchos son los criterios que se aplican al momento de describir un movimiento de ladera, porque existen diferentes factores detonantes y condicionantes, que lo provocan. Además, las características tanto geológicas, geotécnicas, físicas, químicas y hasta estructurales, son un factor determinante al momento que se produzca un evento de estos. También se debe adicionar todos aquellos factores antrópicos que pueden influir en la inestabilidad del talud, aumentando así el riesgo de que el material caiga a favor de la pendiente.

Las delimitaciones se las realizó en base a las visitas de campo y en la ortofoto NVII-B4a-A3 del sector en estudio, de esta manera, se puede tener una idea más clara del movimiento de ladera, como se observa en la Figura 30.

Con todos los parámetros claros y establecidos, se puede decir que el tipo de movimiento de ladera, pertenece a un deslizamiento rotacional, ya que el movimiento ocurre a lo largo de un plano de rotura curva o cóncavo.

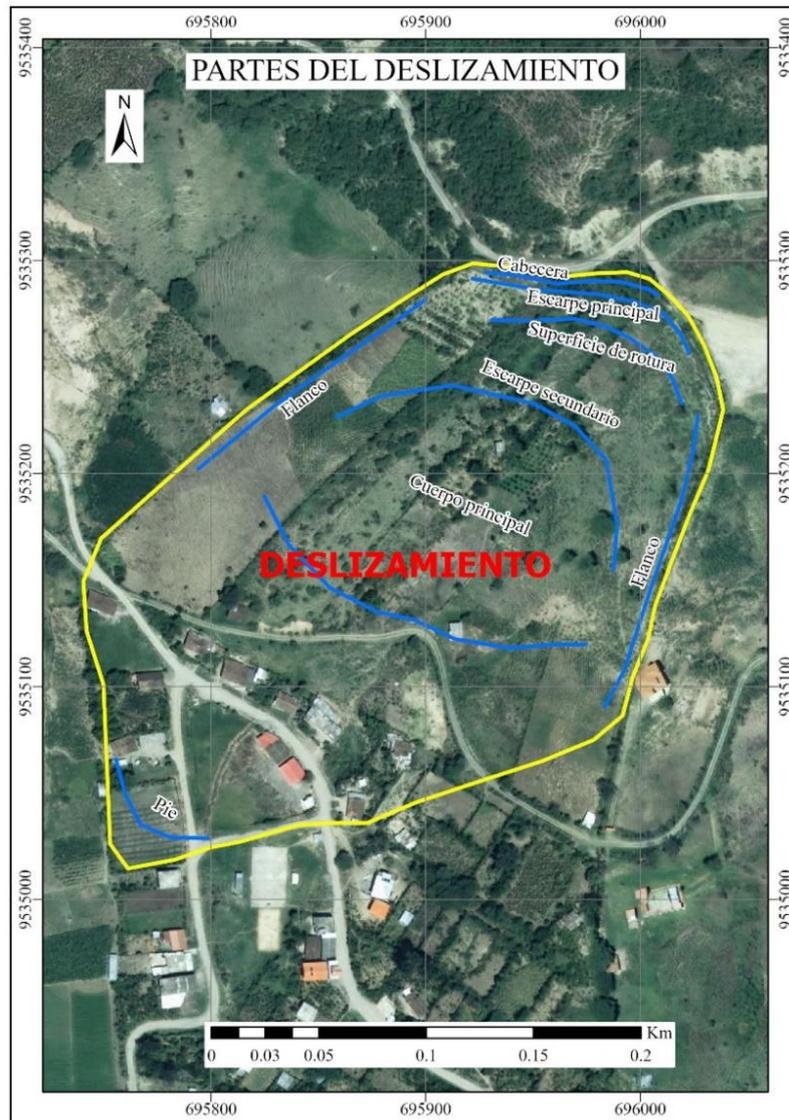


Figura 30. Delimitación y principales partes del deslizamiento en la ortofoto NVII-B4-A3.
Elaboración: El Autor, 2020.

Una vez definido el contorno o delimitación del deslizamiento y el plano de falla del mismo, se procede a identificar las partes que conforman el movimiento de ladera. Las principales partes de un movimiento de ladera son: corona, cabeza, escarpe principal, escarpe secundario, cuerpo. Adicionalmente se determina también la superficie de rotura, masa movida y los flancos, como se muestra en la Figura 30.

6.2. Descripción Biofísica del Área de Estudio

6.2.1. Clima

La zona de estudio presenta dos tipos de clima claramente diferenciables. Para la cuenca se tiene un clima subtropical-seco con veranos calurosos y lluvias escasas, donde el rango térmico varía entre 18,0 y 21,9°C. En las partes más elevadas (sobre los 1.900m) se tiene

un clima temperado con una temperatura anual media entre 12,0 y 17,9°C, con un nivel medio de precipitaciones.

Los meses con mayor cantidad de lluvias van de octubre a mayo con un apogeo entre febrero y abril, mientras que para el verano, entre mayo y octubre, las precipitaciones disminuyen y prevalece un clima seco sobre todo en la cuenca, siendo esta estación climática la más adecuada para actividades turísticas y donde se tiene menos nubosidad, facilitando las observaciones paisajísticas y morfológicas (Maldonado, 2014).

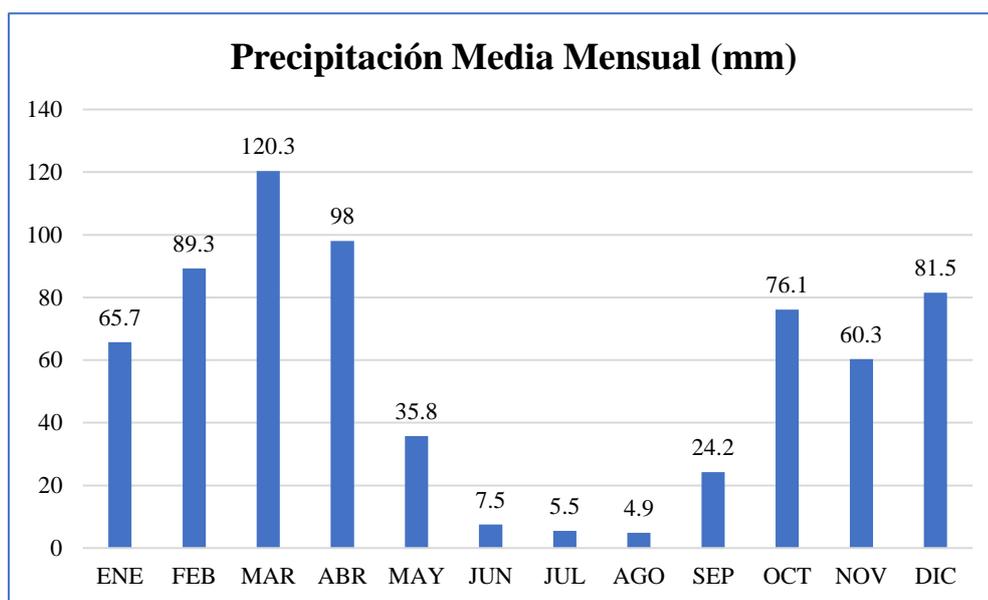


Figura 31. Precipitación media mensual de la parroquia Malacatos.

Fuente: CLIRSEN 2012, PDATE Malacatos (2015).

Elaboración: El Autor, 2020.

6.2.2. Hidrografía

En la parroquia Malacatos se identifican cuatro microcuencas importantes en las que se encuentran quebradas, ríos y drenajes menores, que abastecen de agua para uso doméstico, riego y abrevaderos para los animales. El área de estudio se encuentra en la microcuenca del río Malacatos que tiene una superficie de 123,1 km², ocupa el 59,3% del territorio parroquial, cubre toda el área de drenaje que se encuentra desde la unión del río Malacatos con la quebrada Caña Brava, altura del barrio Landangui. Se identifica la quebrada San Francisco en el margen derecho y la quebrada Nangora en el margen izquierdo, las cuales tiene una dirección sur, estas son redes hídricas secundarias de tipo paralelas. Y según la topografía realizada y el análisis en el software tipo SIG, se determinó el orden de drenaje del área del deslizamiento y a su vez su longitud como muestra en la Tabla 19.

Tabla 19. Red de flujos superficiales.

Orden	N° de flujos	Longitud (m)
1	57	1578,13
2	20	1072,52
3	6	674,35
4	2	327,85
5	1	36,26

Fuente: El Autor, 2020.

6.2.3. Uso actual del Suelo

El manejo actual del suelo en el sector, está distribuido en cuatro categorías de uso. En complejo pastizal-cultivo, matorrales, pastizales y antrópico. Es evidente que el área de mayor beneficio es el pastizal-cultivo, en la misma que se producen las especies cultivadas, las cuales generan un beneficio a los moradores del sector.

- **Complejo Pastizal – Cultivo:** Zonas agrícolas donde encontramos algunas variedades de cultivos, la principal es la caña de azúcar y maíz. Esta zona de cultivos cubre una superficie del 20% del área de estudio. La limitante para los cultivos agrícolas es la disponibilidad de agua de riego, es decir, se trata de cultivos de secano como: pastizales, caña de azúcar, hortalizas y plantas aromáticas.



Fotografía 12. Complejo pastizal - cultivo.

Fuente: El Autor, 2020.

- **Matorrales:** Caracterizado por una vegetación dominante de tipo arbustivo y herbácea que se desarrolla en forma natural y espontánea, generalmente luego de alteraciones de la vegetación original.



Fotografía 13. Matorrales.
Fuente: El Autor, 2020.

- **Pastizales:** Zonas cubiertas por pastizales en el 5% del área de estudio. Esta cobertura es utilizada para ganadería de baja escala mayormente de consumo familiar.



Fotografía 14. Pastizales.
Fuente: El Autor, 2020.

- **Antrópico:** Aquí se identifican sectores con asentamientos humanos consolidados, en proceso de crecimiento en el área rural, ya que no han tenido un adecuado proceso de planificación, los cuales ocupan suelos agrícolas y lugares con alto riesgo que carecen de infraestructura básica.



Fotografía 15. Asentamientos humanos.
Fuente: El Autor, 2020.

6.2.4. Topografía

La topografía del deslizamiento que se obtuvo en base al levantamiento, comprende de altitudes que van desde 1611 hasta 1708 msnm, existiendo un desnivel de 97 metros, lo cual es un parámetro importante en el estudio de movimientos de ladera. Se obtuvo las curvas de nivel principales cada 5 metros y las secundarias cada metro.

En el mapa topográfico, se incorporó, las infraestructuras presentes, las vías de segundo orden, senderos, tuberías y postes de alumbrado público. Obteniendo un área de 5,818 Ha. Con todo esto se elaboró el mapa topográfico a escala 1: 5000 y sus respectivos perfiles (Ver Anexo 6.1), el mapa está referenciado con un sistema de coordenadas con proyección UTM WGS 84, Zona 17 Sur.

6.2.5. Pendientes

A partir del Modelo de Elevación Digital (DEM) generado con las curvas de nivel del levantamiento topográfico, y a través del software tipo SIG, se obtuvo el mapa de pendientes en porcentajes. Las cuales se reclasificaron en cinco categorías propuestas por Martínez & Mercado (1992), como se muestra en la Tabla 20, y el mapa de pendientes final a escala 1: 1.300 se encuentra en el Anexo 6.4.

Tabla 20. Rango de pendientes.

PENDIENTES			
Categorías	Rango (%)	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Terrenos planos a casi planos	0 - 15	2,05	35,84
Terrenos inclinados	15 - 30	2,58	45,1
Terrenos moderadamente escarpados	30 - 50	0,92	16,08
Terrenos escarpados	50 - 75	0,15	2,62
Terrenos muy escarpados	> 75	0,02	0,35
TOTAL		5,72	100

Elaborado: El Autor, 2020.

Fuente: Martínez y Mercado, (1992).

Como se observa en la tabla anterior, en el movimiento de ladera existe predominancia de zonas con pendientes que están en el rango de 15 a 30%, las cuales corresponden a terrenos inclinados y que ocupan el 45,1% de la totalidad de la superficie estudiada, y en menor porcentaje tenemos las zonas con pendientes de rango de >75% denominadas terrenos muy escarpados, ocupando un 0,35% de la superficie, ubicados en la zona alta del deslizamiento en estudio, formando los escarpes.

6.2.6. Geomorfología

Para determinar las unidades geomorfológicas se realizó primeramente la fotointerpretación la cual permitió identificar y delimitar las geoformas, para posteriormente corroborar la información en campo a través de la observación directa y realizar el análisis entre los mapas topográfico, pendientes y la fotointerpretación efectuada. El resultado de esta técnica permitió tener una idea clara y general de la geomorfología del área del deslizamiento.

Después se aplicó la metodología implementada por CLIRSEN (2012), analizando cada una de las variables propuestas y mediante herramientas SIG se escogió la diversidad de unidades de paisaje. Correlacionando cada variable se determinó como resultado la unidad genética, unidad morfológica, pendiente, desnivel relativo, litología y el área de cada geoforma. El mapa geomorfológico del sector de estudio a escala 1: 1.200 se lo expone en el Anexo 6.5.

6.2.6.1. Denudativo (Den)

Escarpe (Esc)

Estas geoformas se ubican en la zona superior del área del deslizamiento y representa una forma de incisión denudativo, debido al desgaste de la superficie, originadas en la acción de la gravedad en combinación con el transporte de las aguas, litológicamente están compuestos por areniscas con microconglomerados, cantos rodados y clastos metamórficos de la Fm San Francisco, cubiertos en su mayoría por matorrales, además poseen un desnivel relativo de 0 – 5 metros y pendientes en un rango predominante de 30 – 50%, como se observa en la Fotografía 16. Abarcan una superficie de 0.22 hectáreas, equivalente al 3.95%.



Fotografía 16. Escarpe.
Fuente: El Autor, 2020.

Coluvio aluvial antiguo (Co-2)

Estas geoformas se ubican en la zona media – alta del deslizamiento, formados por la acción gravitacional resultando del desgaste y transporte de relieves principales, litológicamente están compuestos por areniscas con cantos rodados e intercalaciones de lutitas y areniscas, de las formaciones San Francisco y Santo Domingo, y con un desnivel relativo de 0 – 15 metros. La pendiente predominante presenta un rango de 15 – 30% como se puede ver en la Fotografía 17. Cuentan con una superficie de 1.35 hectáreas, equivalente al 23.24%.

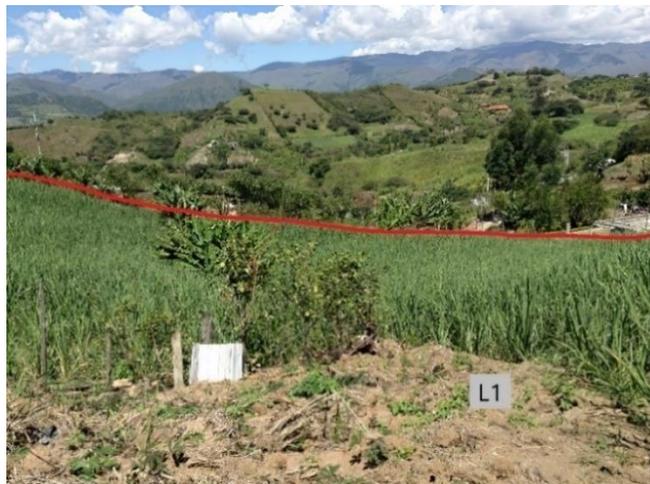


Fotografía 17. Coluvio aluvial antiguo.
Fuente: El Autor, 2020.

6.2.6.2. Depositional (Dep)

Superficie poco disectada (L1)

Estas geofomas constituyen relieves bajos ubicados zona media del área del deslizamiento, litológicamente está compuesta por areniscas con cantos rodados y clastos metamórficos, e intercalaciones de lutitas y areniscas de las formaciones San Francisco y Santo Domingo, cubiertas por cultivos y pastizales, las pendientes predominantes constituyen entre los rangos de 15 – 30%, como podemos ver en la Fotografía 18. Cuentan con una superficie de 2.11 hectáreas, equivalente al 36.3%.



Fotografía 18. Superficie poco disectada.
Fuente: El Autor, 2020.

6.2.6.3. Otras

Superficie intervenida (Spi)

Estas geoformas se consideran como unidad de características antrópicas, las infraestructuras y vías se ubican en la zona baja del área del deslizamiento, se desarrollan sobre material sedimentario, compuesto por lutitas calcáreas y con capas de yeso e intercalaciones de lutitas y areniscas, de la Fm Santo Domingo, poseen pendientes entre los rangos 0 – 15%, como se observa en la Fotografía 19. Cuentan con una superficie de 2.12 hectáreas, equivalente al 36.51%.



Fotografía 19. Superficie intervenida.
Fuente: El Autor, 2020.

6.2.7. Geología Regional

El sector de estudio se localiza dentro de la cuenca Malacatos-Vilcabamba, la cual tiene una orientación Noreste-Sureste, con una longitud aproximada de 45 km de largo y de hasta 12 km de ancho.

La serie sedimentaria de edad Mioceno-Plioceno de la región en parte se encuentra recubierta por rocas meta-sedimentarias del Paleozoico (Unidad Chigüinda; Litherland et al., 1994) las mismas que se encuentran al Este del borde de la Cordillera Real, y las rocas volcánicas de la Formación Loma Blanca de edad Oligoceno Inferior. La secuencia deposicional revela tres unidades tecto-estratigráficas dominantes, ubicadas en el Sur, el Noroeste y el centro (bloque La Granja). Este último se separa del resto de la cuenca Oeste por una falla normal (Hugerbühler en 1997).

Los estudios realizados por Hungerbühler (2002), subdividió los estratos (de abajo hacia arriba) en las siguientes: Unidad Chigüinda como roca de basamento, Loma Blanca compuesta de rocas volcánicas, San José, Santo Domingo, Santo Francisco y Cerro Mandango constituido de rocas sedimentarias. Las formaciones geológicas que regionalmente se encuentran en el sector de estudio son las que se detallan a continuación:

Formación San Francisco (MSfr)

Constituye la secuencia media-alta del relleno sedimentario de la cuenca Malacatos-Vilcabamba. Kennerley (1973) la denomina Formación Cerro Mandango. Kennerley y Almeida (1975) la relacionan con la cuenca de Loja renombrándola como Formación Quillollaco y Hungerbühler (1997) la incluye dentro de la Formación Cerro Mangando como miembro Arenisca. Y Corrochano (2014) considerando las dataciones radiométricas en trazas de fisión (ZFT) realizadas por (Hungerbühler, 1997; Hungerbühler, 2002) y criterios cartográficos, litoestratigráficos y sedimentológicos reconsidera lo propuesto y le da el rango de formación, con un espesor variable y según ciertos autores alcanza los 800 m de potencia.

La Fm. San Francisco aflora en la parte norte de la cuenca y central de la cuenca, así como el bloque de la Granja. El tránsito inferior con la unidad infrayacente (Fm. Santo Domingo) suele ser un contacto fallado, infiriéndose un contacto concordante. El tránsito entre ambas unidades está caracterizado por una serie de tobas volcánicas de hasta 10 m de potencia. Estas intercalaciones volcano sedimentarias están también presentes en la parte inferior de la Fm. San Francisco, donde se observan estratificaciones cruzadas en surco donde alternan depósitos con líticos volcánicos y metamórficos. El tránsito superior con la Fm. Cerro Mandango es gradual, ya que se establece cuando comienzan a predominar los conglomerados y se produce la transición del predominio de colores de gris-azulados a marrones, fácilmente apreciable en el paisaje.

Litológicamente, la unidad está constituida por limos y areniscas de grano fino a medio, generalmente bien clasificadas, que tienen una característica de tonalidad gris-azulada. Las areniscas y limos presentan ripples de corriente, de oscilación, restos vegetales, y estratificación cruzada en surco de hasta 3 m de espesor, también se observan intercalaciones de lutitas marrones de escaso espesor que presentan laminación paralela e intensa bioturbación, además aparecen continuas intercalaciones canaliformes de areniscas de color marrón con estratificación cruzada en surco, de grano grueso a medio, así como

cuerpos canaliformes de conglomerados que no suelen superar los cinco metros de potencia. Los conglomerados son de carácter clastosoportado, con base erosiva, clasificación buena a moderada, matriz arenosa de grano medio a grueso, constituidos por líticos de origen metamórfico que oscilan desde subredondeados a subangulosos, con predominio de los últimos. Y finalmente es común en toda la unidad observar continuas intercalaciones de yeso fibroso secundario dispuestas de forma paralela u oblicua a la estratificación.

Formación Santo Domingo (MSd)

La potencia de esta formación es variable, alcanzando el máximo de 700 m (Hungerbühler, 2002). Esta formación se muestra en la parte central y norte de la cuenca, así como en el bloque la Granja, y tiene una edad del Mioceno medio y superior.

Litológicamente, la unidad está constituida por dos asociaciones de facies diferentes, de transito gradual y el cual se interpreta como un cambio lateral de facie (Hungerbühler, 1997; Hungerbühler et al., 2002). La agrupación de facies inferior y superior está compuesta en su mayoría por facies lutíticas y evaporíticas (Miembro Yeso). En cambio, la asociación de facies intermedia está caracterizada por la presencia de lutitas, areniscas y capas de turba y carbón (Miembro Carbón).

La unidad comienza con una secuencia de unos 100 m aproximadamente dominada por lutitas de color marrón oscuro (lutitas “chocolate”), ocasionalmente bioturbadas, que alternan cíclicamente con limos marrones con base y techo planos, también se observan intercalaciones muy esporádicas de areniscas de grano medio a grueso. En esta parte de la unidad aparecen capas de yeso primario, nódulos lutíticos, carbonatados y de yeso. Es común que los nódulos de carbonato presenten envueltas exteriores de yeso fibroso. Estas finas vetas de yeso, dispuestas de manera subhorizontal a la estratificación y oblicua siguiendo planos de fracturación preferentes, aparecen a lo largo de toda la unidad.

Sobre esta sucesión lutítica aparece el denominado Miembro Carbón, y el tránsito entre ambos miembros se define en la primera capa de carbón lateralmente continua. Por lo que esta asociación de facies está caracterizada por la presencia de lutitas “chocolate”, limos de color marrón-amarillo, areniscas, conglomerados y capas de carbón. Las lutitas presentan laminación paralela, ondulante, ripples de corriente, de oscilación y restos vegetales. Las areniscas suelen ser cuerpos tabulares de base y techo plano, conteniendo abundantes restos

vegetales y bioturbación animal; hacia la parte media de la unidad se observan también areniscas canaliformes con estratificación cruzada en surco, así como areniscas bituminosas en estratos tabulares. Los conglomerados suelen tener bases erosivas, y están dominados por gránulos con guijarros dispersos de origen volcánico y metamórfico redondeados, con clasificación buena. El carbón suele aparecer formando capas nunca superiores a los 4 m de espesor, y generalmente aparece intercalado entre las lutitas “chocolate”.

En la Figura 32, se observa el área de estudio en el mapa regional, basándonos en la hoja geológica de Gonzanamá N VII-B. El mapa geológico regional ploteado Ver Anexo 6.2.

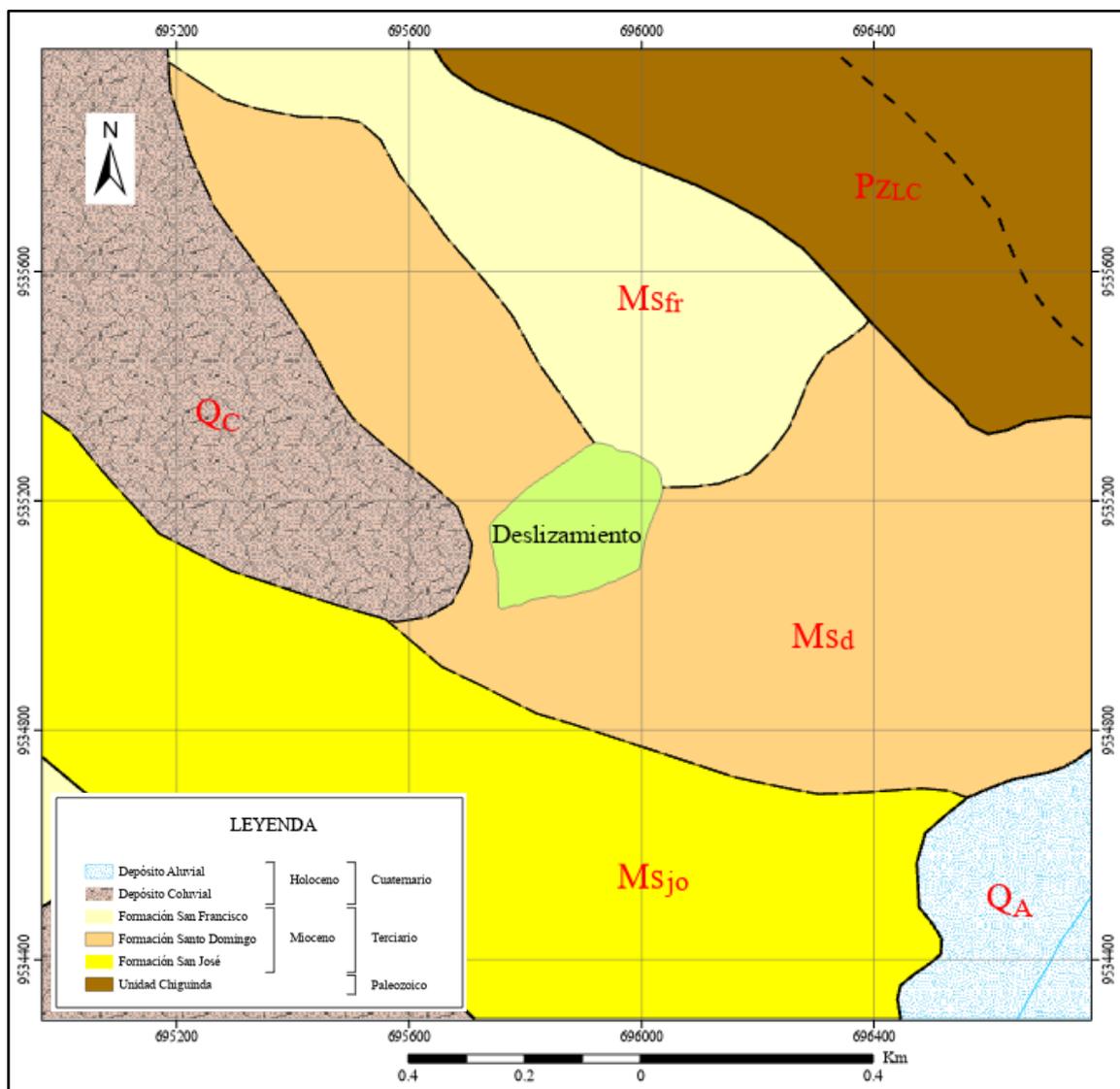


Figura 32. Geología regional del área en estudio.

Fuente: Elaborado por el autor, 2020. Adaptado de la Carta geológica de Gonzanamá, Hoja 57, N VII-B (2017).

6.3. Geología Local

En el deslizamiento en estudio se encuentra ubicado en el centro de la cuenca sedimentaria Malacatos, se conforma en su mayoría por la formación Santo Domingo, y en una mínima parte la formación San Francisco, que se formaron en el Mioceno-Medio. Existiendo predominio de rocas sedimentarias.

Se evidenciaron 3 tipos de litologías (lutitas con capas de yeso, intercalaciones de lutitas con areniscas y areniscas con microconglomerados) presentes en el sector, las cuales se muestran en el mapa geológico realizado a través de herramientas SIG a escala 1: 1.200, el cual se observa en la Figura 33, y en la Figura 34 indican los respectivos cortes geológicos del mismo mapa.

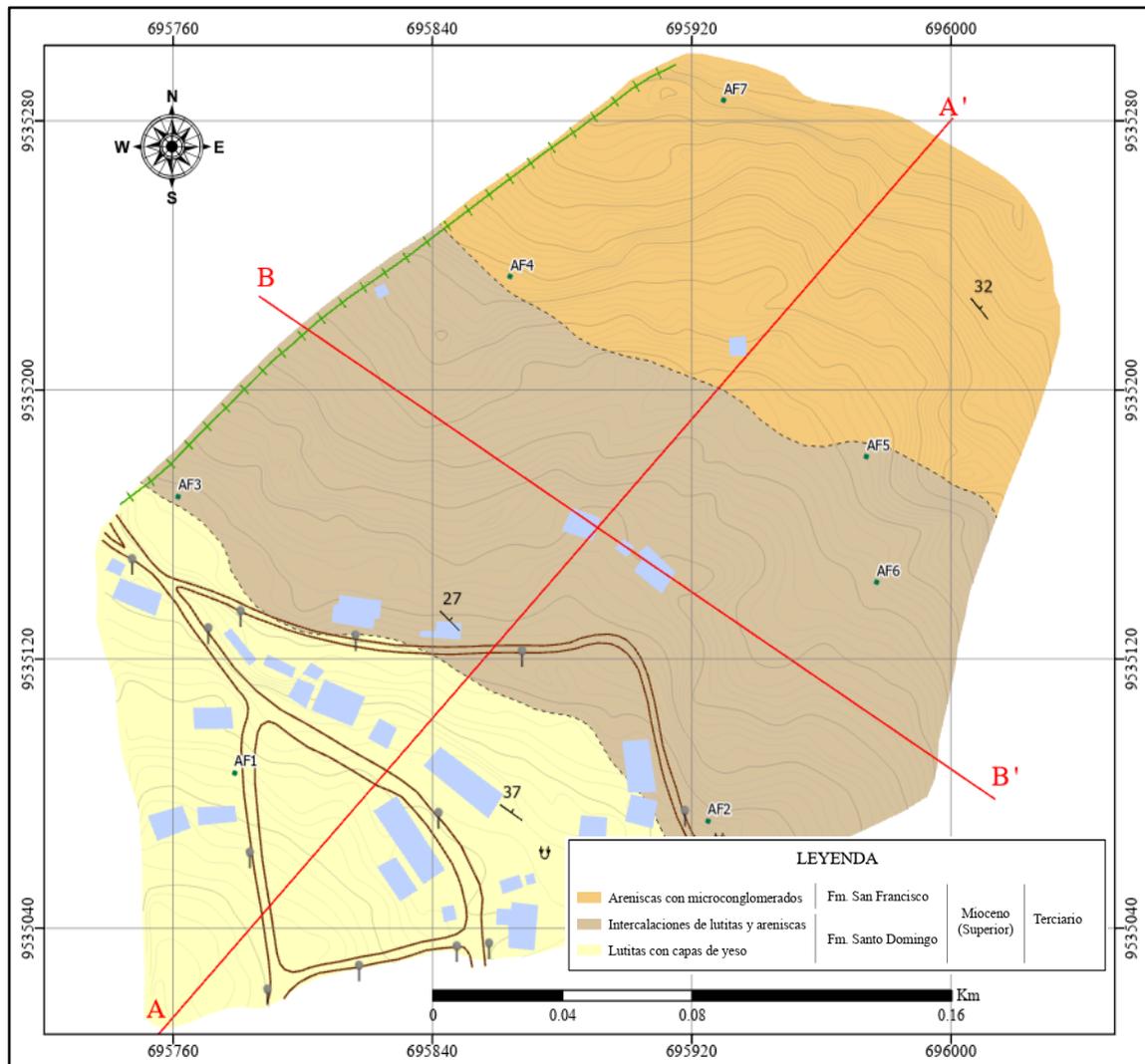


Figura 33. Mapa geológico del deslizamiento en estudio.

Fuente: El Autor, 2020.

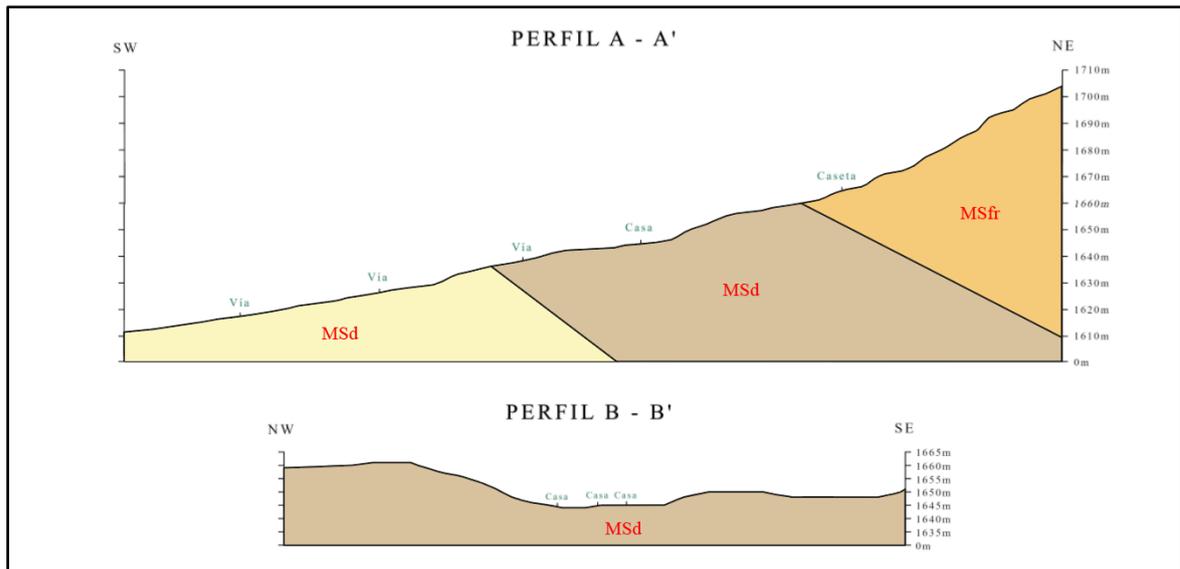


Figura 34. Perfiles geológicos del deslizamiento en estudio.

Fuente: El Autor, 2020.

6.3.1. Formación Santo Domingo

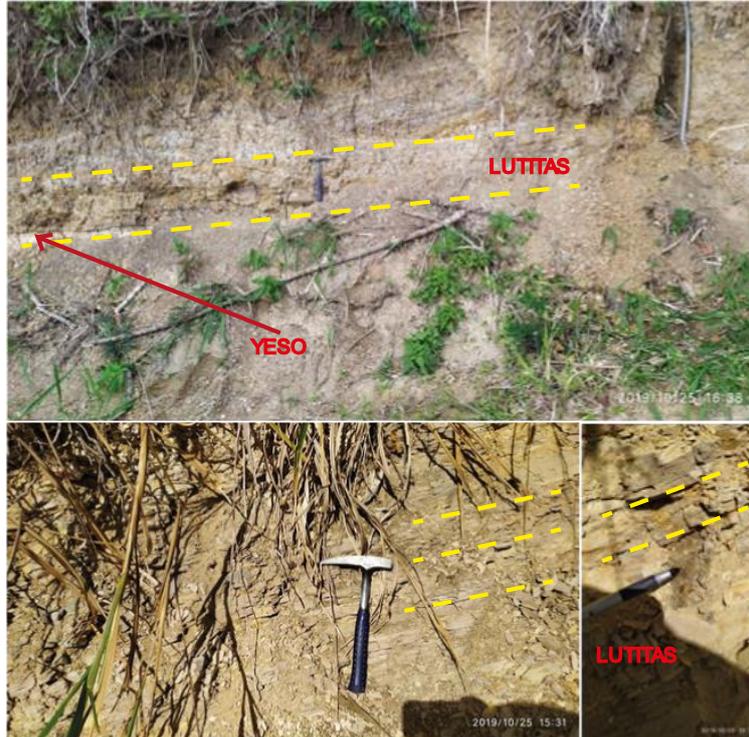
6.3.1.1. Lutitas con capas de yeso

Ocupan la zona baja del deslizamiento, estas rocas sedimentarias corresponden a la edad Mioceno-Medio, en la Formación Santo Domingo y al miembro yeso, las lutitas presentes en este sector tienen distintas tonalidades que van desde crema a café oscuro (producto de la oxidación), tienen una granulometría muy fina, bien compactadas, se observan finas capas de yeso, que van desde 1 a 3 centímetros; estas finas capas de yeso siguen la estratificación de las lutitas y también son perpendiculares a la estratificación. La presencia de material orgánico hace que en algunas lutitas tengan una coloración negra.

Las capas de lutitas tienen potencias que van desde unos 5 centímetros a 1,50 metros. Se encuentran meteorizadas y erosionadas en lugares donde existía poca vegetación, aparentemente de plasticidad media, y se evidencia deformaciones de las lutitas producto de las capas de yeso y esfuerzos de compresión, como se observa en la Fotografía 20, y además las lutitas tienen una buena fisibilidad.

Las diminutas partículas de la lutita indican que se produjo un depósito como consecuencia de la sedimentación gradual de corrientes no turbulentas relativamente tranquilas.

El Afloramiento de la Fotografía 20, se observan las lutitas cuya dirección de estratificación es de 125°/37°NE, ubicado en las coordenadas 695865mE/9535075mN (Datum WGS84 UTM17S).

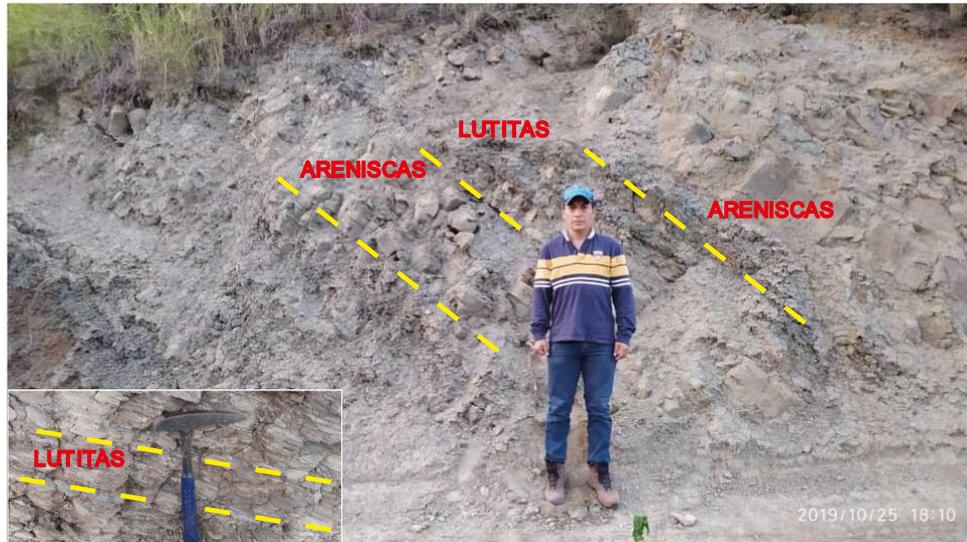


Fotografía 20. Afloramiento de lutitas con finas capas de yeso.
Fuente: El Autor, 2020.

6.3.1.2. Intercalaciones de lutitas con areniscas

Se observaron en la zona media del área del deslizamiento, estas rocas sedimentarias corresponden a la edad Mioceno-Medio, a la formación Santo Domingo y al miembro Yeso, la secuencia está dominada por las lutitas de distintas tonalidades, que van de cremas a grises, inclusive de color café oscuro producto de la oxidación, y de grano muy fino; que alternan cíclicamente con estratos de areniscas de grano fino a grueso, de colores claros amarillentos a grises producto de la presencia de feldespatos. La potencia de las capas va desde 5 centímetros a 0,70 metros, estas se encuentran expuestas a diferentes procesos de erosión y meteorización, y en algunos sectores pueden observarse la presencia de muy finas capas de yeso, pero estas no alcanzan las dimensiones observadas en la zona baja del área en estudio.

El afloramiento de la Fotografía 21, se observa las intercalaciones de lutitas de color café oscuro y las areniscas de color gris claro, de grano fino a grueso, la dirección de estratificación de las lutitas es $135^{\circ}/27NE$, ubicado en las coordenadas 695846mE/9535132mN (Datum WGS84 UTM17S).



Fotografía 21. Afloramiento de lutitas con capas de areniscas.
Fuente: El Autor, 2020.

6.3.2. Formación San Francisco

6.3.2.1. Areniscas con microconglomerados

Se localizan en la zona superior del área del deslizamiento, corresponden a la formación San Francisco, la cual se encuentra sobreyaciendo de forma discordante a la formación Santo Domingo, se observan conglomerados con clastos de cuarcitas, esquistos y filitas, los mismos que se encuentran dentro de una matriz limo-arcillosa, se presentan en estratificación ondulada y cruzada con las areniscas de grano medio a grueso, capas y láminas de gravas con cantos metamórficos, gravas con guijarros metamórficos, en menor cantidad limolitas. El tamaño de los clastos en los conglomerados varía desde 2 a 10 cm de diámetro, algunos clastos son redondeados y otros con alguna angulosidad que indica la poca transportación. Las areniscas y conglomerados se encuentran muy bien consolidados producto de la erosión y las lluvias, por lo que se encuentran formando en su mayoría escarpes en el área, como se observa en la Fotografía 22, ubicado en las siguientes coordenadas 696009mE/9535225mN (Datum WGS84 UTM17S).



Fotografía 22. Afloramiento de areniscas amarillentas con microconglomerados.

Fuente: El Autor, 2020.

6.4. Geología Estructural

En el sector de estudio se recolectaron los datos estructurales de las diferentes unidades litológicas, por lo que se evidenció que los estratos tienen un rumbo de preferencia hacia el NE con un buzamiento de 27 y 37°, y por otro lado en la litología correspondiente a las lutitas se pudo identificar la presencia de estructuras sedimentarias como micropliegues.

En la Fotografía 23, se puede observar el afloramiento, donde se presentan las lutitas de color crema a café oscuro, además de la presencia de material orgánico en la parte superior del afloramiento, en los estratos de lutitas se encuentran finas capas de yeso de 1 a 3 cm. Y también reconocer la presencia de un micropliegue de lutitas alteradas, posiblemente de origen por esfuerzos de compresión sobre la roca que no llegan a romperlas. Las medidas estructurales de los flancos son 31°, 22NE y 270°, 30SW, en la ubicación con las siguientes coordenadas 695865mE/9535075mN (Datum WGS84 UTM17S).



Fotografía 23. Micropliegue en afloramiento de lutitas crema a amarillentas (Fm. Santo Domingo).
Fuente: El Autor, 2020.

6.5. Caracterización Geotécnica

El estudio geotécnico tiene por objetivo obtener todos los parámetros para modelar los procesos de inestabilidad y diseñar obras de mitigación y remediación, así como también la prevención de riesgos naturales. Por lo que dentro de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), se presentan las actividades que comprenden el reconocimiento de campo, la investigación del subsuelo, los análisis y recomendaciones de ingeniería necesarios para el diseño y construcción de las obras en contacto con el suelo, de tal forma que se garantice un comportamiento adecuado de las estructuras de las obras, que preserve la vida humana, así como también evite la afectación o daño a construcciones vecinas (NEC, 2018).

6.5.1. Métodos Indirectos

6.5.1.1. Sondeos Eléctricos Verticales (S.E.V)

En el sector de estudio se realizaron 3 sondeos eléctricos verticales, distribuidos en las zonas alta, media y baja del movimiento de ladera y siguiendo el eje preestablecido, con la finalidad de realizar una correlación entre ellos para obtener un perfil geoelectrico integro. En la Figura 35 y en la Tabla 21, se representan la ubicación y coordenadas de los ejes centrales de los SEV's, así como su abertura.

En la fase de interpretación se hizo uso del software IPI2Win, lo cual nos permitió obtener las gráficas de resistividades, sus potencias y su profundidad total.

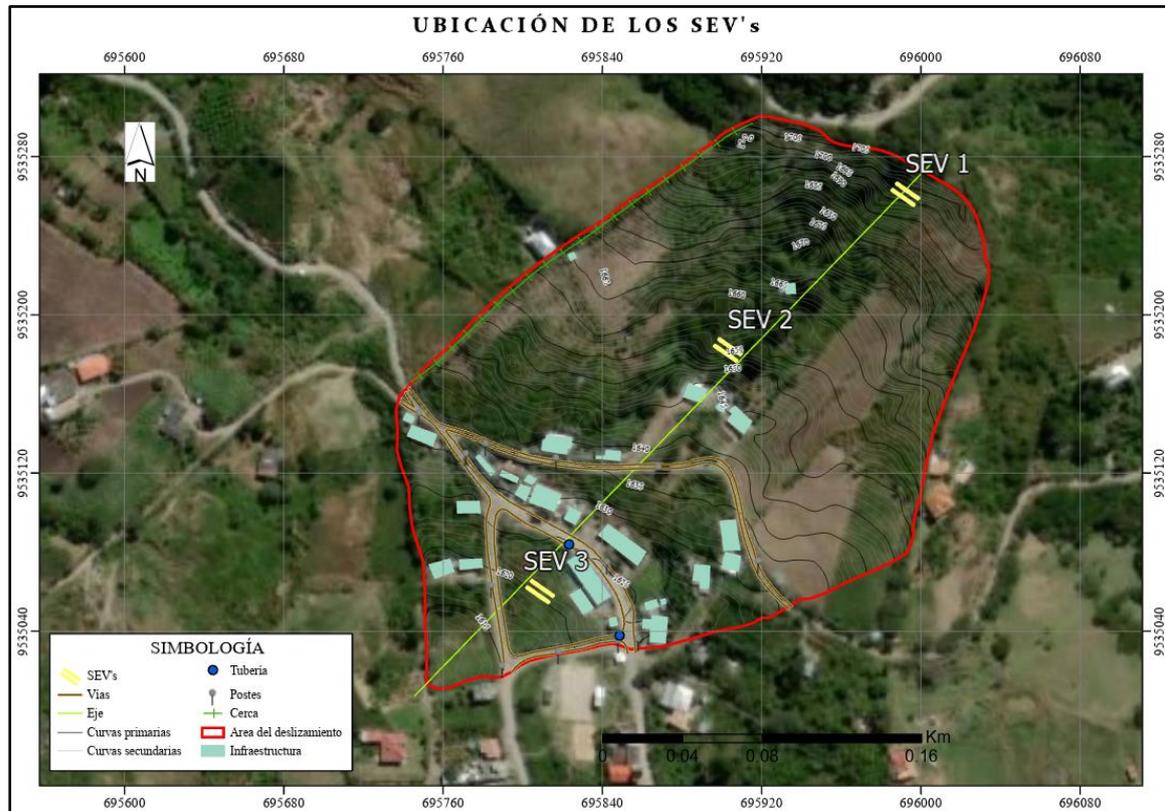


Figura 35. Ubicación de los sondeos eléctricos verticales en el deslizamiento en estudio.
Fuente: El Autor, 2020.

Tabla 21. Ubicación geográfica de las líneas SEV's.

Línea SEV	Eje Central			Abertura AB/2
	Norte (Y)	Este (X)	Cota (Z)	
Línea 1	9535288	695948	1709	70m
Línea 2	9535182	695903	1656	70m
Línea 3	9535065	695821	1628	70m

Fuente: El Autor, 2020.

SEV 1

- Descripción general y resistividades obtenidas

Esta línea se realizó en la zona alta del movimiento de ladera, en una dirección NW-SE, donde se llegó hasta una abertura máxima de AB/2 de 70 m, a una profundidad estimada de 47 m, y se efectuó 20 mediciones de campo. En la Tabla 22, se indican los datos que se obtuvieron.

A través del programa IPI2Win se generó 5 capas, con un error de corrección de 2.48%, obteniendo así la curva de resistividad aparente, la cual se observa en la Figura 36.

Tabla 22. Datos obtenidos en el campo - SEV 1.

AB/2	MN/2 (m)	K (m)	$\Delta v/i$	Resistividad ($\Omega.m$)
1	0.5	2.36	16	37.44
1.5	0.5	6.28	5	33.11
2	0.5	11.78	2.8	32.99
2.5	0.5	18.85	1.55	29.22
2.5	1	8.25	3.75	30.93
3	0.5	27.5	1.09	29.96
3	1	12.6	2.45	30.79
5	1	37.7	0.864	32.57
7	1	75.4	0.45	33.93
10	1	155.5	0.27742	43.14
10	2.5	58.9	0.63877	37.63
15	1	351.9	0.11442	40.26
15	2.5	137.4	0.26047	35.80
20	2.5	247.4	0.132	32.66
20	10	47.1	0.631	29.74
30	2.5	561.6	0.045	25.27
30	10	125.7	0.19142	24.05
40	10	235.6	0.064286	15.15
50	10	377.0	0.030186	11.38
70	10	754.0	0.012	9.05

Fuente: El Autor, 2020.

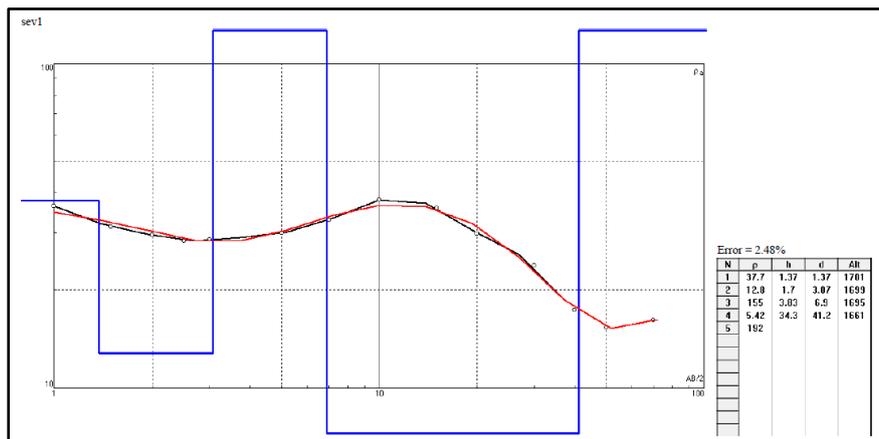


Figura 36. Curvas de resistividad y error admisible - SEV1.

Fuente: El Autor, 2020.

- Análisis del perfil geoelectrico

En función de la Figura 37, se establece que existen cuatro capas, la primera capa pertenece a arcillas de baja y alta plasticidad con una potencia de 3.07 m, con una resistividad de 12.8-37.7 Ω m; seguida por una segunda capa de arcillas con arena con una potencia de 3.83 m, obteniendo una resistividad de 155 Ω m; la tercera capa en cambio está conformada de arcillas húmedas con una potencia de 34.2 m, y con una resistividad de 5.42 Ω m y en la cuarta capa se encontró arcillas con arena con una potencia infinita, y una resistividad de 192 Ω m.

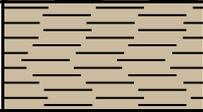
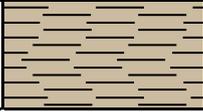
Complejo geoelectrico y/o capa	Resistividad (Ω .m)	Potencia (m)	Descripción	Perfil estratigráfico
A	12.8- 37.7	3.07	Arcillas de baja y alta plasticidad	
B	155	3.83	Arcillas con arena	
C	5.42	34.2	Arcillas húmedas	
D	192	∞	Arcillas con arena	

Figura 37. Perfil geoelectrico - SEV 1.
Fuente: El Autor, 2020.

SEV 2

- Descripción general y resistividades obtenidas

Esta línea se realizó en la zona media del movimiento de ladera, en una dirección NW-SE, donde se llegó hasta una abertura máxima AB/2 de 70 m, a una profundidad estimada de 47 m y se efectuaron 20 mediciones de campo. En la Tabla 23, se muestran los datos obtenidos.

A través del programa IPI2Win se generó 5 capas, con un error de corrección de 3.04%, obteniendo así la curva de resistividad aparente, la cual se observa en la Figura 38.

Tabla 23. Datos obtenidos en campo - SEV 2.

AB/2	MN/2 (m)	K (m)	$\Delta v/i$	Resistividad ($\Omega.m$)
1	0.5	2.36	11	24.90
1.5	0.5	6.28	2.83	17.78
2	0.5	11.78	1.56	18.38
2.5	0.5	18.85	0.88713	16.72
2.5	1	8.25	2.26	18.64
3	0.5	27.5	0.62796	17.26
3	1	12.6	1.56	19.60
5	1	37.7	0.56205	21.19
7	1	75.4	0.2411	18.18
10	1	155.5	0.10108	15.72
10	2.5	58.9	0.30263	17.83
15	1	351.9	0.032	11.26
15	2.5	137.4	0.093938	12.91
20	2.5	247.4	0.037334	9.24
20	10	47.1	0.21656	10.21
30	2.5	561.6	0.015	8.42
30	10	125.7	0.062284	7.83
40	10	235.6	0.027078	6.38
50	10	377.0	0.01539	5.80
70	10	754.0	0.0081	6.11

Fuente: El Autor, 2020.

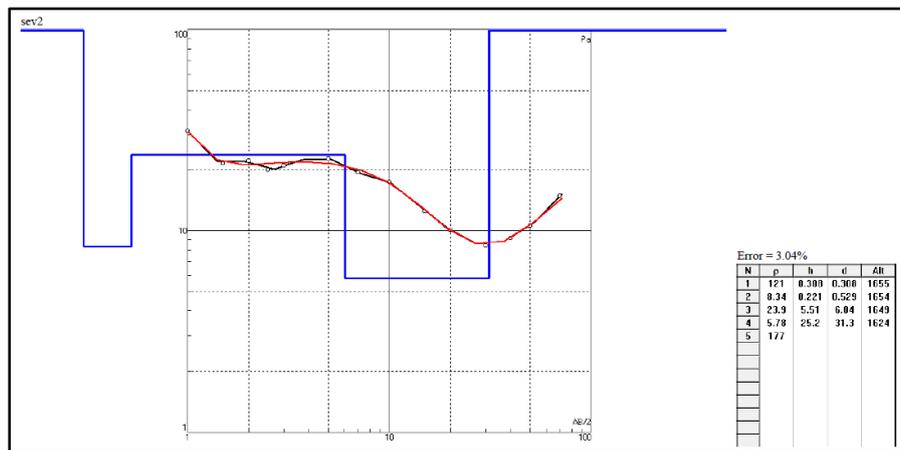


Figura 38. Curvas de resistividad y error admisible - SEV 2.

Fuente: El Autor, 2020.

- Análisis del corte eléctrico

Conforme a la Figura 39, se determina que existen tres capas, la primera capa corresponde a arcillas con arena con una potencia de 0.308 m, y una resistividad de 121 Ωm ; la segunda capa compuesta de arcillas húmedas con una potencia de 30.77 m, y una resistividad de 5.78-23.9 Ωm y por último la tercera capa que pertenece a arcillas con arena con una potencia infinita, y una resistividad de 177 Ωm .

Complejo geoelectrico y/o capa	Resistividad ($\Omega\text{.m}$)	Potencia (m)	Descripción	Perfil estratigráfico
B	121	0.308	Arcillas con arena	
C	5.78 - 23.9	30.77	Arcillas húmedas	
D	177	∞	Arcillas con arena	

Figura 39. Perfil geoelectrico - SEV 2.

Fuente: El Autor, 2020.

SEV 3

- Descripción general y resistividades obtenidas

Esta línea en cambio se realizó en la parte baja del movimiento de ladera, en una dirección NW-SE, donde se llegó así mismo a una abertura máxima AB/2 de 70 m, a una profundidad estimada de 47 m y se efectuaron 20 mediciones de campo. En la Tabla 24, se observan los datos obtenidos.

A través del programa IPI2Win se generó 4 capas, con un error de corrección de 3.28%, obteniendo así la curva de resistividad aparente, la cual se observa en la Figura 40.

Tabla 24. Datos obtenidos en campo - SEV 3.

AB/2	MN/2 (m)	K (m)	$\Delta v/i$	Resistividad ($\Omega.m$)
1	0.5	2.36	4	8.88
1.5	0.5	6.28	0.73232	4.60
2	0.5	11.78	0.32593	3.84
2.5	0.5	18.85	0.16822	3.17
2.5	1	8.25	0.44056	3.63
3	0.5	27.5	0.1116	3.07
3	1	12.6	0.27939	3.51
5	1	37.7	0.075597	2.85
7	1	75.4	0.034365	2.59
10	1	155.5	0.018096	2.81
10	2.5	58.9	0.05266	3.10
15	1	351.9	0.0089257	3.14
15	2.5	137.4	0.02419	3.32
20	2.5	247.4	0.015622	3.86
20	10	47.1	0.066816	3.15
30	2.5	561.6	0.0104	5.84
30	10	125.7	0.046955	5.90
40	10	235.6	0.041	9.66
50	10	377.0	0.028761	10.84
70	10	754.0	0.01058	7.98

Fuente: El Autor, 2020.

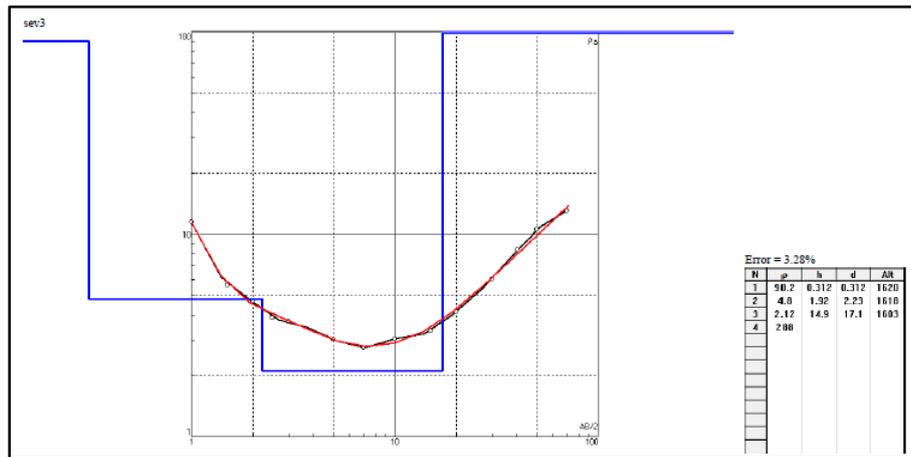


Figura 40. Curvas de resistividad y error admisible - SEV 3.

Fuente: El Autor, 2020.

- Análisis del corte eléctrico

En la Figura 41, se constata que existen tres capas, la primera capa de arcillas con arena con una potencia de 0.3 m, y una resistividad de 90.2 Ωm; la segunda capa la compone las arcillas húmedas con una potencia de 17.1 m, y una resistividad de 2.12-4.8 Ωm, en la última capa se determinó areniscas con una potencia infinita y una resistividad 288 Ωm.

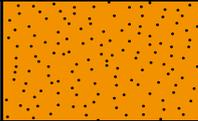
Complejo geoelectrico y/o capa	Resistividad (Ω.m)	Potencia (m)	Descripción	Perfil estratigráfico
B	90.2	0.3	Arcillas con arena	
C	2.12- 4.8	17.1	Arcillas húmedas	
D	288	∞	Areniscas	

Figura 41. Perfil geoelectrico - SEV 3.
Fuente: El Autor, 2020.

Corte Geoelectrico

Una vez realizado el análisis individual de cada uno de los 3 SEV's, se tiene también la interrelación de estos, cuyos valores son interpretados y plasmados en el corte geoelectrico para correlacionar la continuidad de litologías que existen en las diferentes líneas SEV's. Se realizó un corte geoelectrico que se presenta a continuación en la Figura 42.

Del corte geoelectrico obtenido se evidencia una disposición de geomateriales, de arcillas de baja y alta plasticidad en la primera capa en la parte superior del deslizamiento con una potencia 3,07 m, seguidas arcillas con arena con una potencia promedio de 1,5 m, luego tenemos arcillas húmedas con una potencia promedio de 27.4 m, y en la parte inferior tenemos las areniscas con una potencia indefinida.

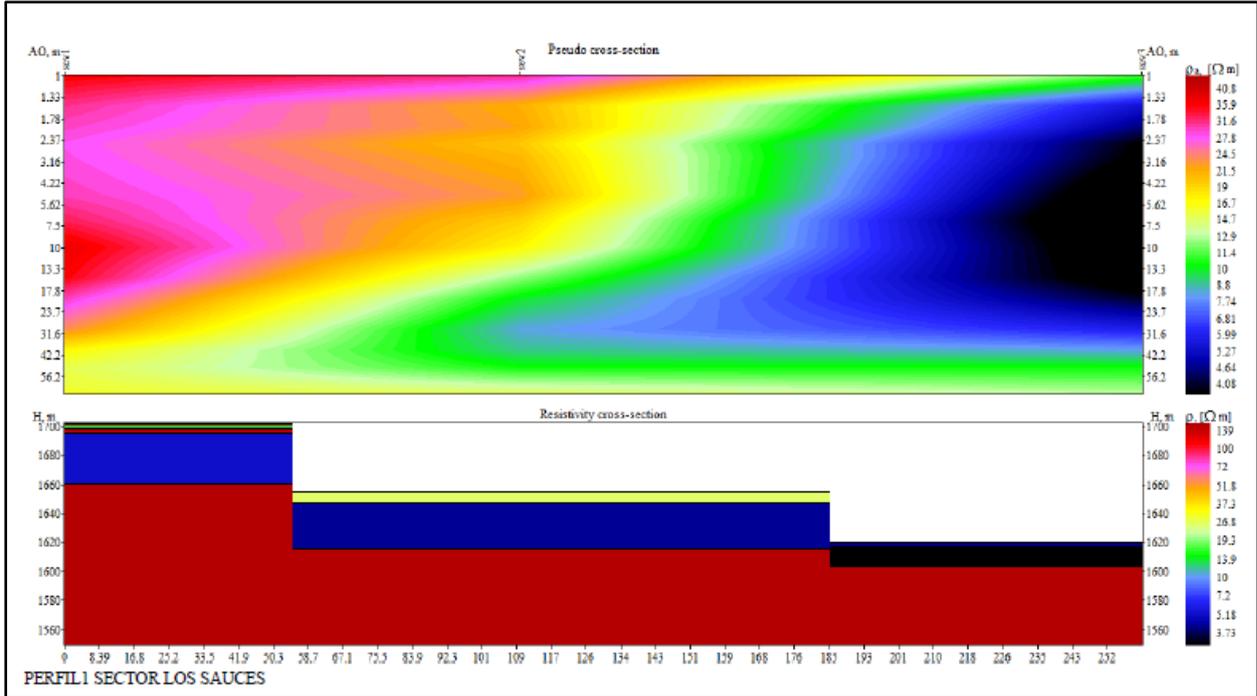


Figura 42. Corte geoeléctrico (SEV 1 - SEV 2 - SEV 3).
Fuente: El Autor, 2020.

6.5.2. Métodos Directos

6.5.2.1. Ensayo de Penetración Estándar (S.P.T)

Desarrollado bajo la normativa ASTM D-1586 y según la metodología descrita anteriormente, se realizaron 3 ensayos de penetración estándar (SPT), los cuales están ubicados siguiendo al eje central del movimiento de ladera, en la zona alta, media y baja, con la finalidad de realizar una correlación e interpretación final integra. En la Figura 43, se muestra la ubicación de los ensayos de campo y en la Tabla 25 la ubicación exacta y profundidad alcanzada de cada sondeo realizado por cada SPT.



Figura 43. Ubicación de los SPT's en el deslizamiento en estudio.

Fuente: El Autor, 2020.

Tabla 25. Ubicación geográfica de los SPT's.

N° de Sondeo	Coordenadas			Observaciones	
	Norte (Y)	Este (X)	Cota (Y)	Profundidad	Nivel Freático
Sondeo 1	9535288	695948	1709	6m	No observado
Sondeo 2	9535182	695903	1656	6m	No observado
Sondeo 3	9535065	695821	1628	6m	No observado

Fuente: El Autor, 2020.

Los ensayos de campo y el análisis de muestras en el laboratorio, fueron realizados por el laboratorio de mecánica de suelos ESTSUELCON CIA. LTDA. Los resultados obtenidos (Ver Anexo 3), y con los mismos se realizó el cálculo de otros parámetros geotécnicos.

SPT #1

En la Figura 44, se observan los resultados obtenidos.

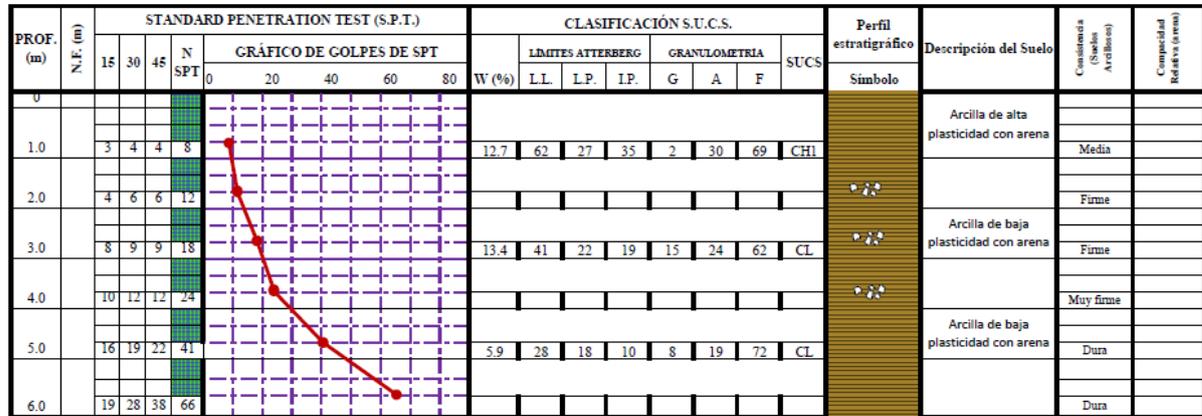


Figura 44. Clasificación y descripción - SPT 1.
Fuente: ESTSUELCON CIA. LTDA, 2020.

La primera capa corresponde a arcilla de alta plasticidad con arena con un N_{SPT} de 8 golpes, con una carga admisible de 0.9 Kg/cm^2 de consistencia media, con un contenido de humedad de 12.7%, y con una cohesión de 28 KN/m^2 .

La segunda capa corresponde a arcilla de alta plasticidad con arena con un N_{SPT} de 12 golpes, con una carga admisible de 1.2 Kg/cm^2 de consistencia firme, con un contenido de humedad de 12.7%, y con una cohesión de 42 KN/m^2 .

La tercera capa corresponde a arcilla de baja plasticidad con arena con un N_{SPT} de 18 golpes, con una carga admisible de 1.7 Kg/cm^2 de consistencia firme, con un contenido de humedad de 13.4%, y con una cohesión de 59.5 KN/m^2 .

La cuarta capa corresponde a arcilla de baja plasticidad con arena con un N_{SPT} de 24 golpes, con una carga admisible de 2.3 Kg/cm^2 de consistencia muy firme, con un contenido de humedad de 13.4%, y con una cohesión de 80.5 KN/m^2 .

La quinta capa corresponde a arcilla de baja plasticidad con arena con un N_{SPT} de 41 golpes, con una carga admisible de 4.2 Kg/cm^2 de consistencia dura, con un contenido de humedad de 5.9%, y con una cohesión de 129.5 KN/m^2 .

La sexta capa corresponde a arcilla de baja plasticidad con arena con un N_{SPT} de 66 golpes, con una carga admisible de 6.3 Kg/cm^2 de consistencia dura, con un contenido de humedad de 5.9%, y con una cohesión de 129.5 KN/m^2 .

SPT #2

En la Figura 45, se observan los resultados obtenidos.

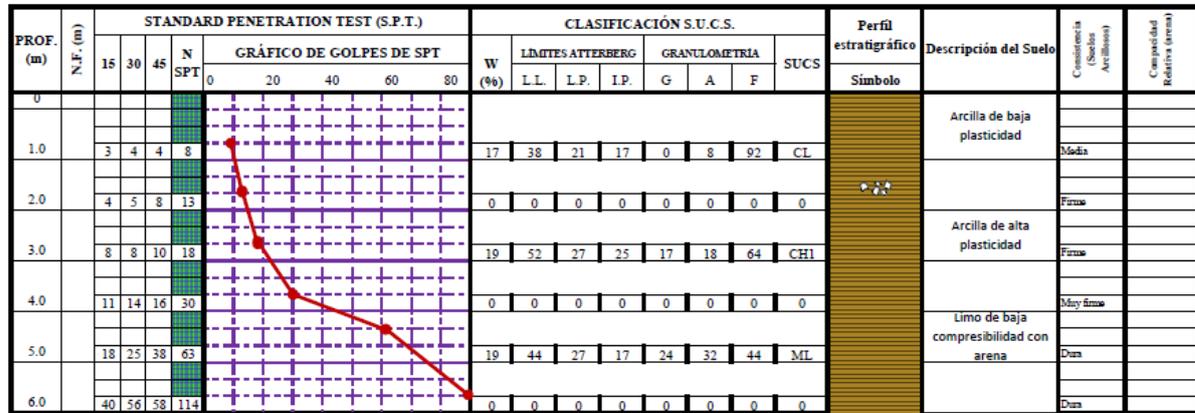


Figura 45. Clasificación y descripción - SPT 2.
Fuente: ESTSUELCON CIA. LTDA, 2020.

La primera capa corresponde a arcilla de baja plasticidad con un N_{SPT} de 8 golpes, con una carga admisible de 0.9 Kg/cm^2 de consistencia media, con un contenido de humedad de 17.1%, y con una cohesión de 28 KN/m^2 .

La segunda capa corresponde a arcilla de baja plasticidad con un N_{SPT} de 13 golpes, con una carga admisible de 1.5 Kg/cm^2 de consistencia firme, con un contenido de humedad de 17.1%, y con una cohesión de 45.5 KN/m^2 .

La tercera capa corresponde a arcilla de alta plasticidad con un N_{SPT} de 18 golpes, con una carga admisible de 1.8 Kg/cm^2 de consistencia firme, con un contenido de humedad de 19.36%, y con una cohesión de 56 KN/m^2 .

La cuarta capa corresponde a arcilla de alta plasticidad con un N_{SPT} de 30 golpes, con una carga admisible de 3.2 Kg/cm^2 de consistencia muy firme, con un contenido de humedad de 19.36%, y con una cohesión de 98 KN/m^2 .

La quinta capa corresponde a limo de baja compresibilidad con arena con un N_{SPT} de 63 golpes, con una carga admisible de 6.2 Kg/cm^2 de consistencia dura, con un contenido de humedad de 19.07%, y con una cohesión de 192.5 KN/m^2 .

La sexta capa corresponde a limo de baja compresibilidad con arena con un N_{SPT} de 114 golpes, con una carga admisible de 10.6 Kg/cm^2 de consistencia dura, con un contenido de humedad de 19.07%, y con una cohesión de 325.5 KN/m^2 .

SPT #3

En la Figura 46, se observan los resultados obtenidos.

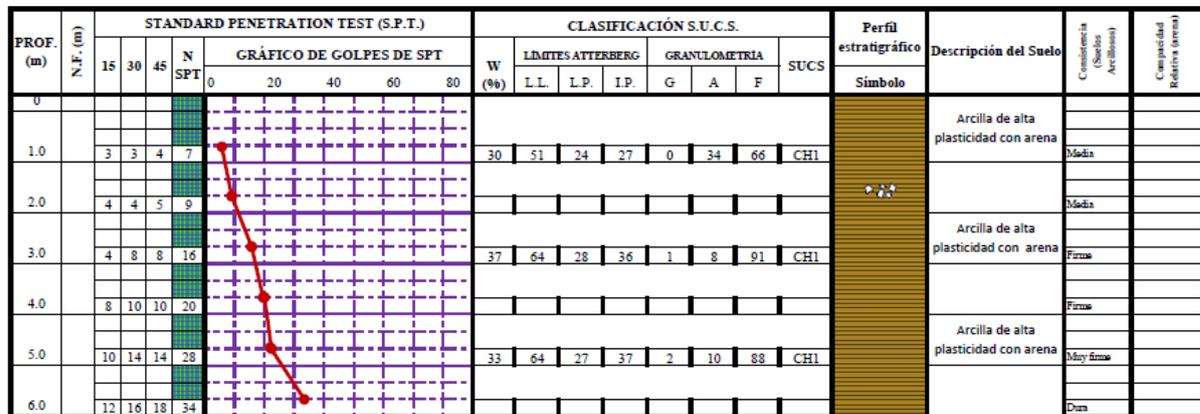


Figura 46. Clasificación y descripción - SPT 3.
Fuente: ESTSUELCON CIA. LTDA, 2020.

La primera capa corresponde a arcilla de alta plasticidad con arena con un N_{SPT} de 7 golpes, con una carga admisible de 0.8 Kg/cm² de consistencia media, con un contenido de humedad de 30.47%, y con una cohesión de 24.5 KN/m².

La segunda capa corresponde a arcilla de alta plasticidad con arena con un N_{SPT} de 9 golpes, con una carga admisible de 1.1 Kg/cm² de consistencia media, con un contenido de humedad de 30.47%, y con una cohesión de 31.5 KN/m².

La tercera capa corresponde a arcilla de alta plasticidad con arena con un N_{SPT} de 16 golpes, con una carga admisible de 1.7 Kg/cm² de consistencia firme, con un contenido de humedad de 36.61%, y con una cohesión de 52.5 KN/m².

La cuarta capa corresponde a arcilla de alta plasticidad con arena con un N_{SPT} de 20 golpes, con una carga admisible de 2.2 Kg/cm² de consistencia firme, con un contenido de humedad de 36.61%, y con una cohesión de 66.5 KN/m².

La quinta capa corresponde a arcilla de alta plasticidad con arena con un N_{SPT} de 28 golpes, con una carga admisible de 2.8 Kg/cm² de consistencia muy firme, con un contenido de humedad de 33.35%, y con una cohesión de 87.5 KN/m².

La sexta capa corresponde a arcilla de alta plasticidad con arena con un N_{SPT} de 34 golpes, con una carga admisible de 3.2 Kg/cm² de consistencia dura, con un contenido de humedad de 33.35%, y con una cohesión de 98 KN/m².

POZO	PROF.	C.H.	LL.	L.P.	I.P.	GRAVA	ARENA	FINOS	CLASIFICACIÓN		GOLPES N			N	NS	qu	qultnet	qadmnet	c
	(m)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	SUCS	AASHTO	15 cm	30 cm	45 cm	golpes	golpes	Kg/cm2	Kg/cm2	kg/cm2	KN/m2
1	1										3	4	4	8	8	1.09	2.8	0.9	28
	2	12.65	62	27	35	1.57	29.83	68.6	CH1	A-7-6	4	6	6	12	12	1.64	3.68	1.2	42
	3										8	9	9	18	17	2.21	4.97	1.7	59.5
	4	13.41	41	22	19	14.71	23.68	61.61	CL	A-7-6	10	12	12	24	23	3.06	6.89	2.3	80.5
	5										16	19	22	41	37	4.87	12.52	4.2	129.5
	6	5.9	28	18	10	8.37	19.48	72.15	CL	A-4	19	28	38	66	55	7.36	18.91	6.3	192.5
2	1										3	4	4	8	8	1.06	2.73	0.9	28
	2	17.01	38	51	17	0.48	7.8	91.72	CL	A-6	4	5	8	13	13	1.73	4.43	1.5	45.5
	3										8	8	10	18	16	2.15	5.53	1.8	56
	4	19.36	52	27	25	17.27	18.33	64.4	CH1	A-7-6	11	14	16	30	28	3.73	9.58	3.2	98
	5										18	25	38	63	55	7.29	18.74	6.2	192.5
	6	19.07	44	27	17	24.24	31.96	43.8	ML	A-7-6	40	56	58	114	93	12.38	31.82	10.6	325.5
3	1										3	3	4	7	7	0.95	2.45	0.8	24.5
	2	30.47	51	24	27	0	33.9	66.1	CH1	A-7-6	4	4	5	9	9	1.23	3.15	1.1	31.5
	3										4	8	8	16	15	1.96	5.05	1.7	52.5
	4	36.61	64	28	36	0.86	7.74	91.4	CH1	A-7-6	8	10	10	20	19	2.55	6.56	2.2	66.5
	5										10	14	14	28	25	3.33	8.55	2.8	87.5
	6	33.35	64	27	37	2.18	10.09	87.73	CH1	A-7-6	12	16	18	34	28	3.79	9.74	3.2	98

Figura 47. Resumen de datos de campo, de laboratorio y resistencias obtenidas.

Fuente: ESTSUELCON CIA. LTDA, 2020.

Con base en los resultados obtenidos, se realizan las correlaciones con tablas estandarizadas y los cálculos tales como el comportamiento geotécnico de las arcillas, cargas (qa; qu) y contenido de humedad.

Correlación de Resultados

Comportamiento geotécnico de los suelos (arcillas)

- Consistencia Relativa

Permite determinar la firmeza y la solides del suelo.

$$CR = \frac{LL - Wn}{IP} \quad (20)$$

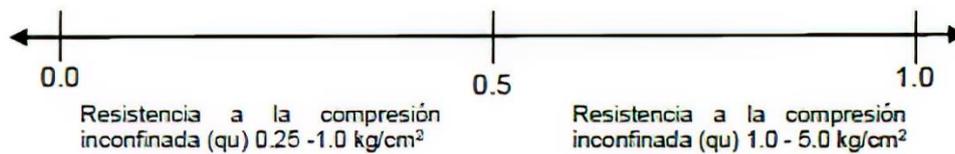


Tabla 26. Consistencia relativa.

Intervalos	Descripción del suelo
0.00 - 0.25	Suelo muy blando
0.25 - 0.50	Suelo blando
0.50 - 0.75	Suelo consistencia media
0.75 - 1.00	Suelo consistencia rígida

Fuente: Gonzales de Vallejo Luis I, (2002).

Tabla 27. Resultados de consistencia relativa (CR).

N° SPT	Consistencia relativa	Interpretación
1	1.54	Se determina que son suelos de consistencia rígida y tienen una resistencia a la compresión inconfiada (qu) de 1.0 - 5.0 kg/cm2.
2	1.33	Se determina que son suelos de consistencia rígida y tienen una resistencia a la compresión inconfiada (qu) de 1.0 - 5.0 kg/cm2.
3	0.78	Se determina que son suelos de consistencia rígida y tienen una resistencia a la compresión inconfiada (qu) de 1.0 - 5.0 kg/cm2.

Fuente: El Autor, 2020.

- **Índice de Liquidez (IL)**

Este permite valorar el comportamiento plástico de los depósitos (suelos) y así tener idea de la historia de esfuerzos a la que están sometidos.

$$IL = \frac{Wn - LP}{IP} \quad (21)$$

Tabla 28. Resultado de índice de liquidez (IL).

N° SPT	Índice de Liquidez	Interpretación
1	0.54	Se determina que son suelos preconsolidados, han sufrido presiones efectivas (T') y acción de erosión. Se trata de arcillas plásticas y expansivas. Al tratarse de arcillas preconsolidadas o sobreconsolidadas el valor de su cohesión será mayor a cero (c' >0).
2	0.33	Se determina que son suelos preconsolidados, han sufrido presiones efectivas (T') y acción de erosión. Se trata de arcillas plásticas y expansivas. Al tratarse de arcillas preconsolidadas o sobreconsolidadas el valor de su cohesión será mayor a cero (c' >0).
3	0.21	Se determina que son suelos preconsolidados, han sufrido presiones efectivas (T') y acción de erosión. Se trata de arcillas plásticas y expansivas. Al tratarse de arcillas preconsolidadas o sobreconsolidadas el valor de su cohesión será mayor a cero (c' >0).

Fuente: El Autor, 2020.

Tabla 30. Resultados del comportamiento "A".

N° SPT	Comportamiento de arcillas (A)	Interpretación
1	0.32	Se determina que son suelos inactivos, también estos suelos entran dentro del grupo la caolinita con un bajo potencial cambio de volumen, y se establece que este tipo de arcilla está ligeramente sobreconsolidada.
2	0.29	Se determina que son suelos inactivos, también estos suelos entran dentro del grupo la caolinita con un bajo potencial cambio de volumen, y se establece que este tipo de arcilla está ligeramente sobreconsolidada.
3	0.41	Se determina que son suelos inactivos, también estos suelos entran dentro del grupo la caolinita con un bajo potencial cambio de volumen, y se establece que este tipo de arcilla está ligeramente sobreconsolidada.

Fuente: El Autor, 2020.

Tabla 31. Criterios para determinar el cambio de volumen.

Cambios de volumen de las arcillas (Δv)	Límites de contracción (LC)	IP
Bajo	> 12	0 – 15
Moderado	10 - 12	15 – 30
Alto	0 - 10	> 30

Fuente: Holtz & Gibbs, (1956).

Tabla 32. Criterios para determinar el potencial expansivo.

Potencial expansivo	Potencial (%)	LL (%)	IP (%)
Bajo	< 0.5	< 50	< 25
Moderado	0.5 – 1.5	50 – 60	25 – 35
Alto	≥ 1.5	> 60	> 35

Fuente: Holtz & Gibbs, (1956).

De acuerdo a las tablas, en el SPT 1 que corresponde a las caolinitas, estas tienen un cambio de volumen moderado y un potencial expansivo bajo.

En el SPT 2, que corresponde a las caolinitas, estas tienen un cambio de volumen moderado y un potencial expansivo bajo.

En el SPT 3, que corresponde a las caolinitas, estas tienen un cambio de volumen alto y un potencial expansivo moderado.

- **Cargas (qa; qu)**

La carga última neta (qu-neta) aumenta o disminuye en proporción a la variación de la carga admisible neta por lo que el análisis estará basado en las cargas admisibles netas (qa-neta).

La relación de las cargas admisibles netas (qa-neta) con la profundidad, se exponen a continuación:

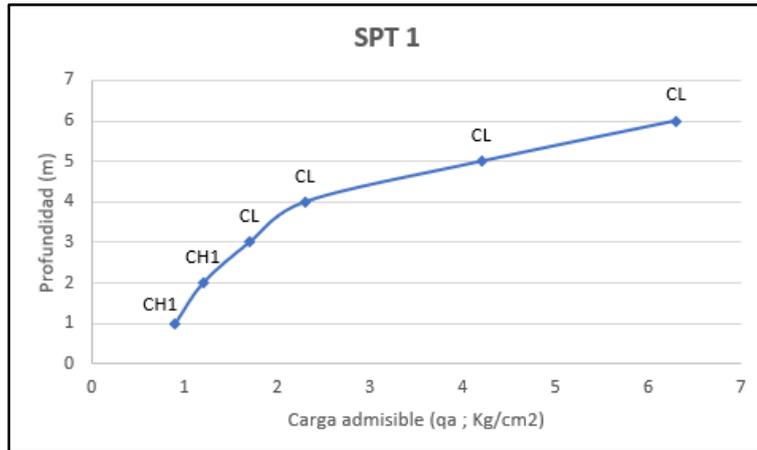


Figura 49. Profundidad vs Carga admisible neta - SPT 1.
Fuente: El Autor, 2020.

De acuerdo a la Figura 49, en el SPT 1 se evidencia un incremento de la carga proporcional a medida que se aumenta la profundidad, los valores menores representan a las capas de arcilla plástica con arena con una carga admisible de hasta 1.2 Kg/cm², y en los dos últimos metros aumenta la carga por lo que el material de estas capas corresponde a arcillas de baja plasticidad con arena, con una carga admisible de hasta 6.3 Kg/cm².

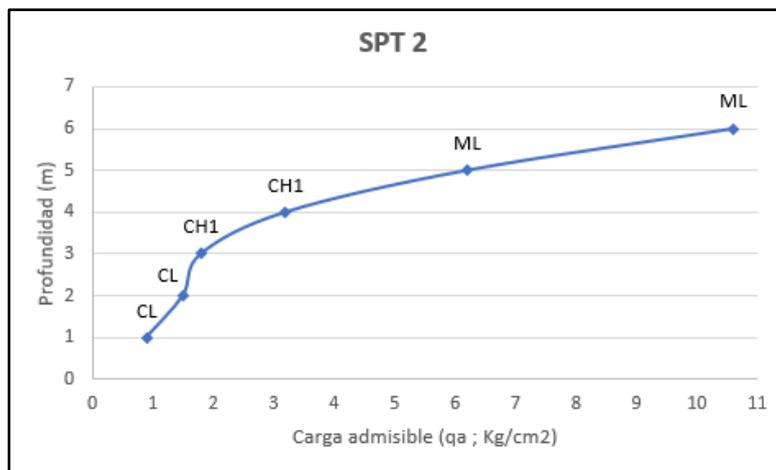


Figura 50. Profundidad vs Carga admisible neta - SPT 2.
Fuente: El Autor, 2020.

Según la Figura 50, en el SPT 2 también se observa un incremento de la carga proporcional a la profundidad, siendo los tres primeros metros de cargas muy similares por lo que el material representa a las arcillas de baja plasticidad con una carga admisible de hasta 3.2 Kg/cm², y en los dos últimos metros la carga aumenta debido a la presencia de limos de baja compresibilidad con arena, siendo suelos con más firmeza, con una carga admisible de hasta 10.6 Kg/cm².

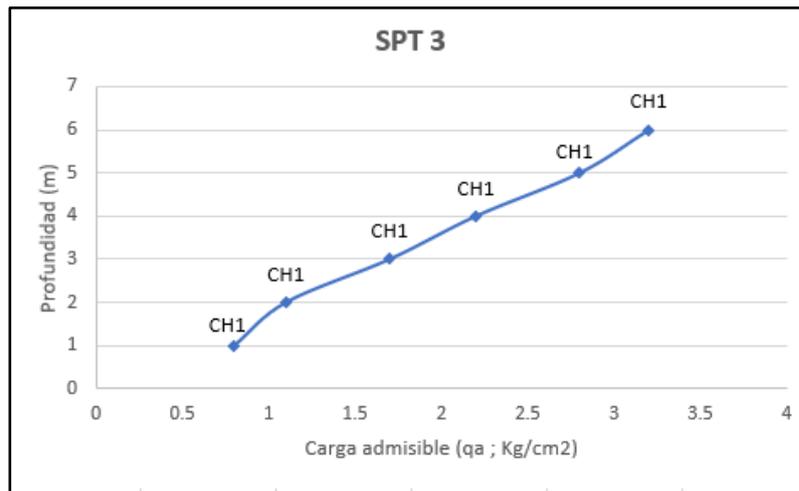


Figura 51. Profundidad vs Carga admisible neta - SPT 3.

Fuente: El Autor, 2020.

En la Figura 51, podemos observar así mismo un incremento de la carga en proporción a la profundidad, los valores de los seis metros representan a las arcillas de alta plasticidad con arena, por lo que tienen baja carga de hasta máximo 3.2 Kg/cm², debido a que en este sondeo las arcillas tienen más humedad que en los dos anteriores sondeos.

En resumen, se expone que suelos del SPT 1 soportan mayor carga en los dos últimos metros, en cambio para el SPT 2 la carga aumenta a los 3 primeros metros, y para el SPT 3 la carga disminuye en relación a los dos anteriores en sus seis metros de profundidad, con un valor máximo de hasta 3.2 Kg/cm².

- **Contenido de Humedad en SPT's**

El contenido de humedad a partir del ensayo SPT y de los ensayos de laboratorio permitieron determinar la cantidad de agua en las diferentes zonas del deslizamiento, determinando la profundidad hasta donde la humedad es localizada.

En la Figura 52, el contenido de humedad a los tres metros tiene un promedio de 13% y conforme llega a los cinco metros baja la humedad, en este sector donde se realizó el SPT,

es en la zona alta del deslizamiento donde se evidencia poca humedad, debido al material arcillo-arenoso, de permeabilidad baja.

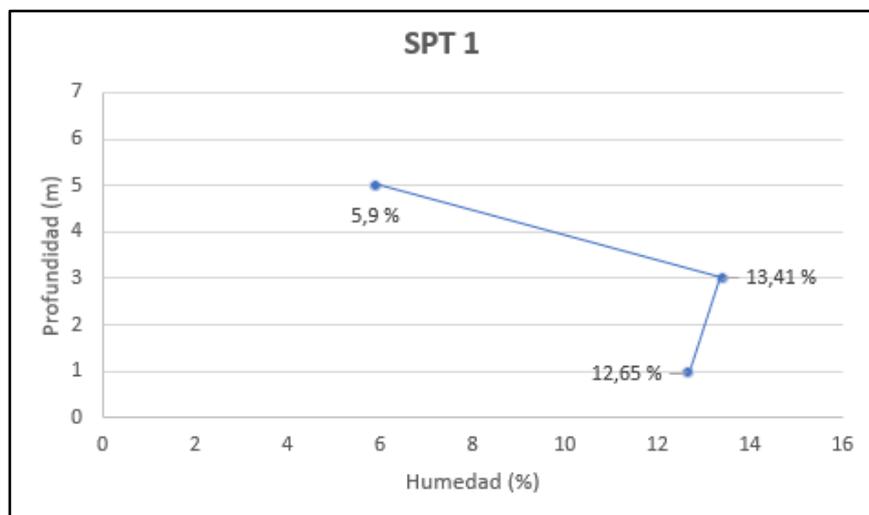


Figura 52. Profundidad vs humedad - SPT 1.
Fuente: El Autor, 2020.

En la Figura 53, el contenido de humedad tiene un promedio de 18% en los seis metros de profundidad, en este sector donde se realizó el SPT, es la zona media del deslizamiento donde se encuentran los cultivos y se presenta la zona de riego, donde se evidencia el aumento de la humedad, debido al predominio del material arcilloso.

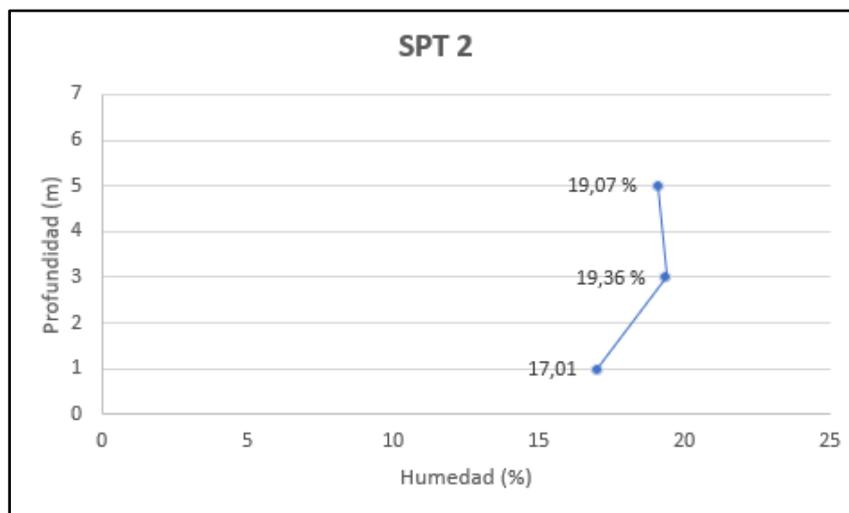


Figura 53. Profundidad vs humedad - SPT 2.
Fuente: El Autor, 2020.

En la Figura 54, el contenido de humedad tiene un promedio de 33% en los seis metros de profundidad, el sector donde se realizó el SPT consiste en la zona baja del deslizamiento, donde se evidencia las fisuras de la construcción de una escuela, debido a las infiltraciones del agua de las partes altas del deslizamiento, debido al predominio de material arcilloso.

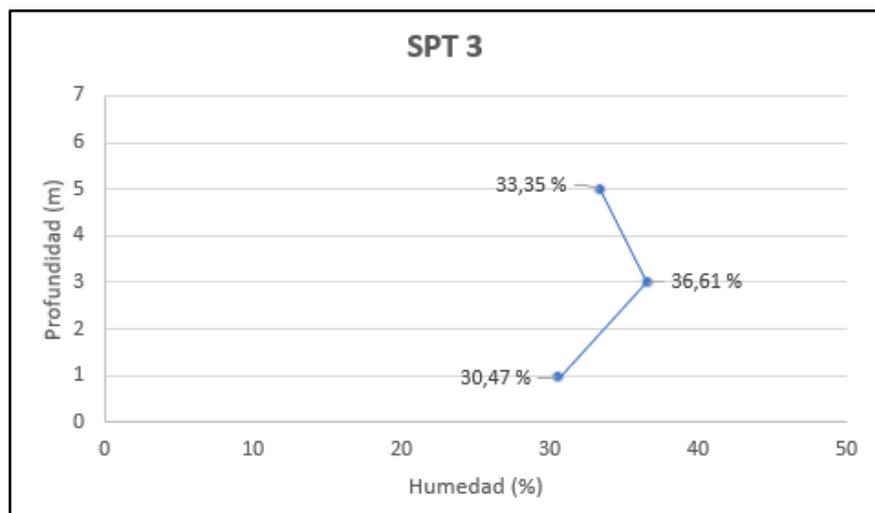


Figura 54. Profundidad vs humedad - SPT 3.
Fuente: El Autor, 2020.

Los porcentajes de humedad son mayores en la zona media y baja del deslizamiento, debido a la infiltración del agua en el suelo, sin embargo los SPT dan valores altos a partir del tercer metro lo que sugiere que el agua tiende a moverse por gravedad hacia la parte baja del deslizamiento.

6.5.2.2. Muestras Inalteradas

En el presente estudio se procedió a la realización de 2 calicatas, ubicadas en las zonas antes estudiadas, y cabe recalcar que no pudo realizar una tercera calicata en la zona alta del movimiento de ladera, debido a que se caracteriza por la presencia de material arenoso suelto.

La apertura de las calicatas nos permitió recoger dos muestras inalteradas, de acuerdo a la Norma ASTM D-3080-11, las cuales nos permitieron realizar posteriormente el ensayo de corte directo.

En la Figura 55, se muestra la ubicación de dichas calicatas en el sector de estudio, y en la Tabla 33 sus coordenadas y dimensiones.

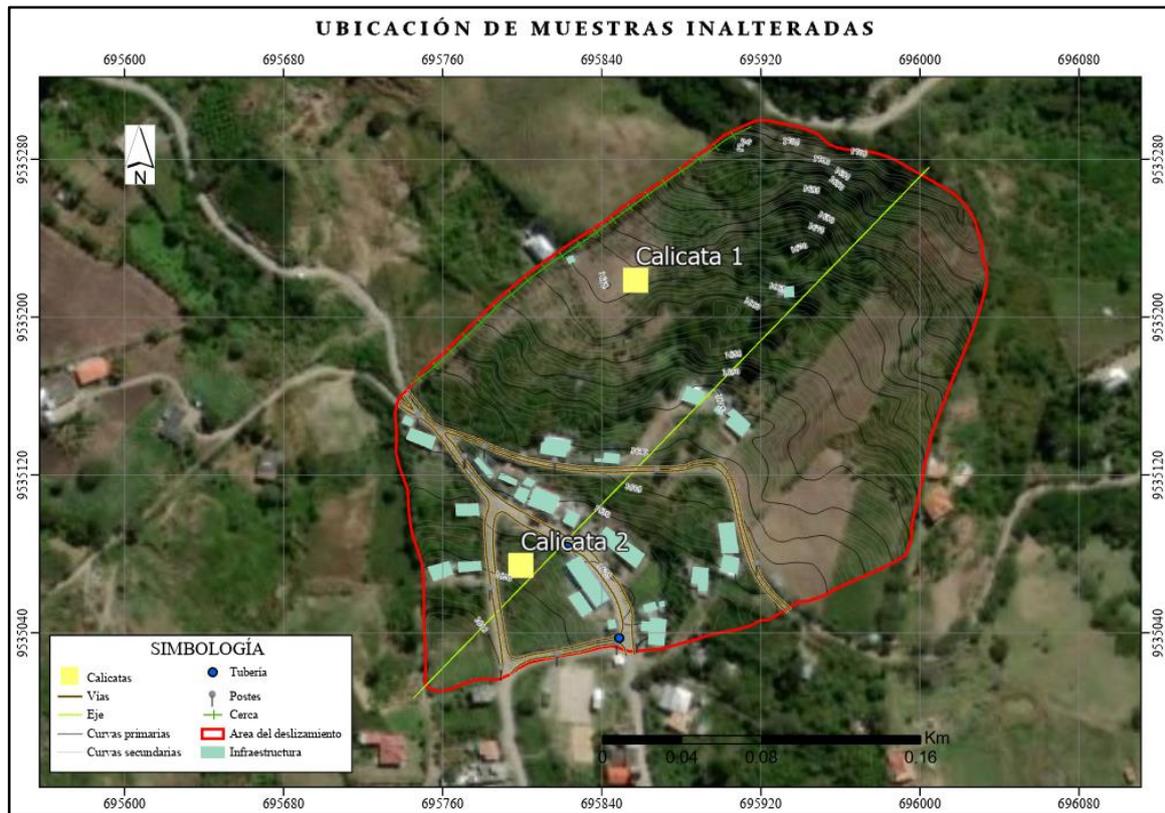


Figura 55. Ubicación de muestras inalteradas en el deslizamiento en estudio.

Fuente: El Autor, 2020.

Tabla 33. Ubicación geográfica de las muestras inalteradas.

N° de Calicatas	Coordenadas			Dimensiones		
	Norte (Y)	Este (X)	Cota (Y)	Ancho	Longitud	Profundidad
Calicata 1	9535254	695869	1668	1.30m	1.30m	1.30m
Calicata 2	9535174	695768	1623	1.30m	1.30m	1.30m

Fuente: El Autor, 2020.

Muestra inalterada 1

Esta muestra inalterada se la obtuvo en la zona media del movimiento de ladera en la parte izquierda, en las coordenadas 9535254mN/695869mE, la misma que se recolectó a una profundidad de 1,30 m, esta muestra litológicamente se encuentra en la Fm. Santo Domingo. Los resultados obtenidos se indican en la Tabla 34. Para ver a detalle los resultados de los ensayos de corte directo Ver Anexo 5.

Tabla 34. Resultados de los ensayos de corte directo - MI 1.

Corte Directo				
Ensayo	Esfuerzo Normal (σ)	Esfuerzo Cortante (τ)	Cohesión (c)	Angulo de Fricción (ϕ)
1	0.428	0.254	0.219 kg/cm ²	7.8°
2	0.856	0.375		
3	1.711	0.445		

Fuente: El Autor, 2020.

Muestra inalterada 2

La muestra inalterada se la obtuvo en la zona baja del movimiento de ladera en la parte central, en las coordenadas 9535174mN/695768mE, la misma que se recolectó a una profundidad de 1,30 m, esta muestra litológicamente se encuentra en la Fm. Santo Domingo. Los resultados obtenidos se indican en la Tabla 35. Para ver a detalle los resultados de los ensayos de corte directo Ver Anexo 5.

Tabla 35. Resultado de los ensayos de corte directo - MI 2.

Corte Directo				
Ensayo	Esfuerzo Normal (σ)	Esfuerzo Cortante (τ)	Cohesión (c)	Angulo de Fricción (ϕ)
1	0.428	0.213	0.213 kg/cm ²	1°
2	0.856	0.240		
3	1.711	0.240		

Fuente: El Autor, 2020.

6.6. Análisis Geológico – Geotécnico

6.6.1. Análisis de Estabilidad

Para el análisis de estabilidad se presentan los resultados por el método de equilibrio límite, utilizando los métodos de Bishop, Morgenstern-Price y Spencer.

Adicionalmente se realizó un análisis de sensibilidad paramétrica para conocer la variabilidad que tiene el coeficiente de seguridad en función de los rangos de valores de los parámetros que intervienen en la definición del estado tensional del terreno.

Los parámetros a considerar para el modelamiento del talud, se indican en la Tabla 36, los cuales son obtenidos a partir de los ensayos geotécnicos realizados, en el campo y laboratorio.

Tabla 36. Parámetros geotécnicos para realizar el modelamiento.

Parámetros geotécnicos del deslizamiento				
Litología	Color	Peso específico	Cohesión	Ángulo de fricción
Arcillas con arena de alta y baja plasticidad		17 KN/m ³	21 KN/m ²	8°
Arcillas con arena compactas de baja plasticidad		17.5 KN/m ³	70 KN/m ²	0°
Lutitas		18 KN/m ³	125.5 KN/m ²	0°
Areniscas		18 KN/m ³	0.01 KN/m ²	45°

Fuente: El Autor, 2020.

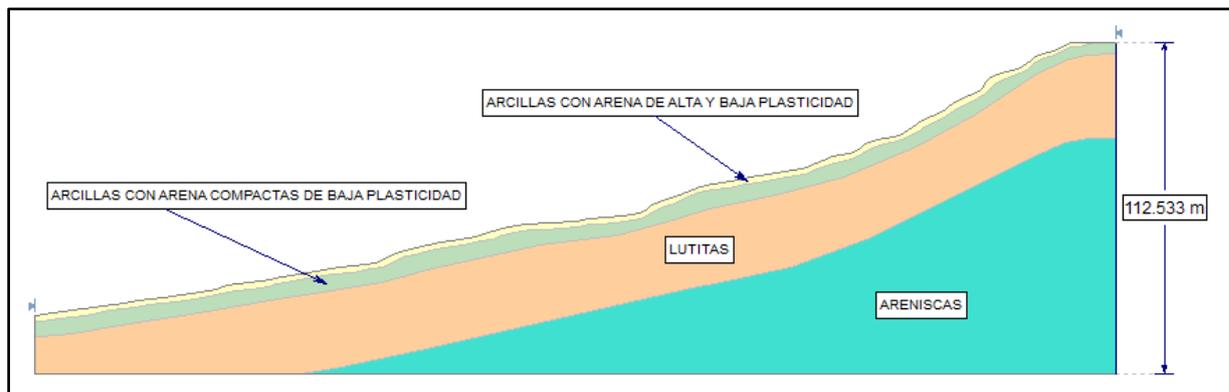


Figura 56. Diseño del deslizamiento para el análisis de estabilidad.

Fuente: El Autor, 2020.

Para realizar el modelado del deslizamiento en estudio, se tomaron los datos obtenidos de los ensayos geotécnicos indirectos (SEV's) y directos (SPT's), y así mismo los resultados obtenidos en el laboratorio, específicamente en el ensayo de corte directo. El análisis de estabilidad se modeló en estado natural como se observa en la Figura 57, y cuando existe un nivel freático alto que oscila entre los 7 a 11 metros como se observa en cambio en la Figura 58, también se realizó el análisis del modelado con una rotura la cual abarca la mayor área del deslizamiento. Los factores de seguridad obtenidos determinarán las recomendaciones a tomar en caso de falla. Los datos de los geomateriales modelados se indican en la Tabla 36, y se encuentran representados en la Figura 56.

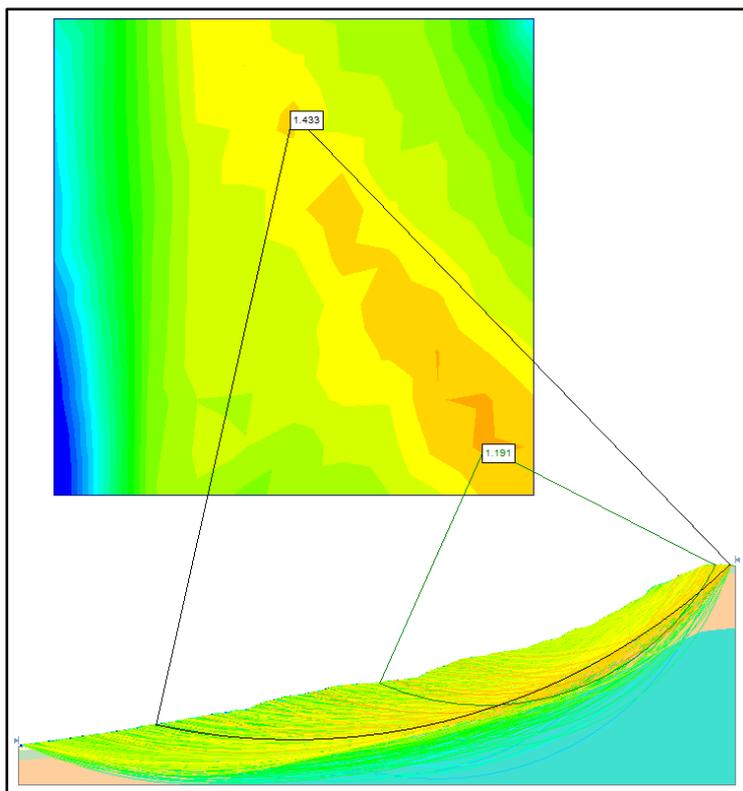


Figura 57. Análisis de estabilidad del deslizamiento en estudio en condición natural.
Fuente: Rocscience Inc., (2019).

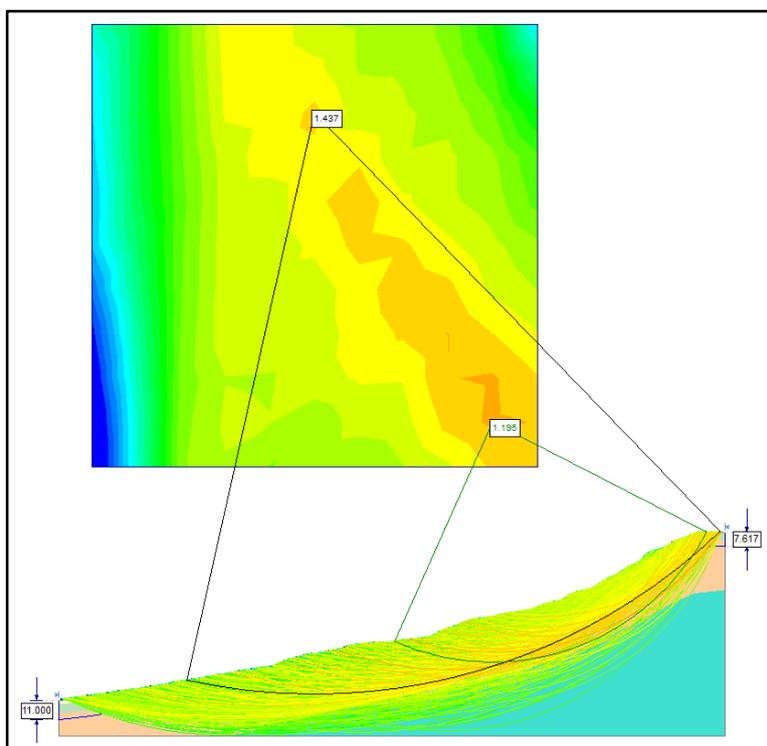


Figura 58. Análisis de estabilidad del deslizamiento en estudio con nivel freático alto.
Fuente: Rocscience Inc., (2019).

El resultado del modelado del deslizamiento en condiciones naturales y de acuerdo al análisis por los métodos de Bishop, Morgenstern-Price y Spencer, se obtiene un factor de seguridad de 1.2 y con el nivel freático alto se obtuvo el mismo resultado, lo que significa que en ambos casos el talud se encuentra dentro de los rangos estables, presentando una zona de rotura muy pequeña y localizada en la parte alta del deslizamiento debido a las pendientes. Y en la segunda rotura se evidencia el incremento del factor de seguridad, debido a que sería un movimiento más antiguo en el cual se acumuló el material removido dando una estabilización en ciertas zonas mayor.

Tabla 37. Resultado del análisis de estabilidad global del deslizamiento en estudio.

Talud	Método de Análisis	Ángulo de talud global	Condición		FS Situación Estática
1	Bishop	20°	Natural	Rotura 1	1.191
				Rotura 2	1.433
			Nivel freático	Rotura 1	1.191
				Rotura 2	1.433
	Morgenstern-Price		Natural	Rotura 1	1.195
				Rotura 2	1.437
			Nivel freático	Rotura 1	1.195
				Rotura 2	1.437
	Spencer		Natural	Rotura 1	1.193
				Rotura 2	1.437
			Nivel freático	Rotura 1	1.193
				Rotura 2	1.437

Fuente: El Autor, 2020.

En la Tabla 37, se indican el resumen de los resultados del factor de seguridad obtenidos para el deslizamiento en las diferentes condiciones anteriormente mencionadas.

6.6.2. Análisis de sensibilidad

Con el cálculo de sensibilidad paramétrica se intenta conocer la variabilidad que tiene el coeficiente de seguridad en función de los rangos de valores de los parámetros que intervienen en la definición del estado tensional del terreno.

El estudio de sensibilidad paramétrica se realizó en torno al valor medio del parámetro de cohesión, de la capa de lutitas, logrando obtener el valor exacto de la cohesión para que el FS sea igual a la unidad, y ahí se produzca la falla, lo cual se indica en la Figura 59. Y así mismo el estudio paramétrico permite adoptar una decisión más fundamentada, basándonos en la información que se posee y sus posibles variaciones o modificaciones.

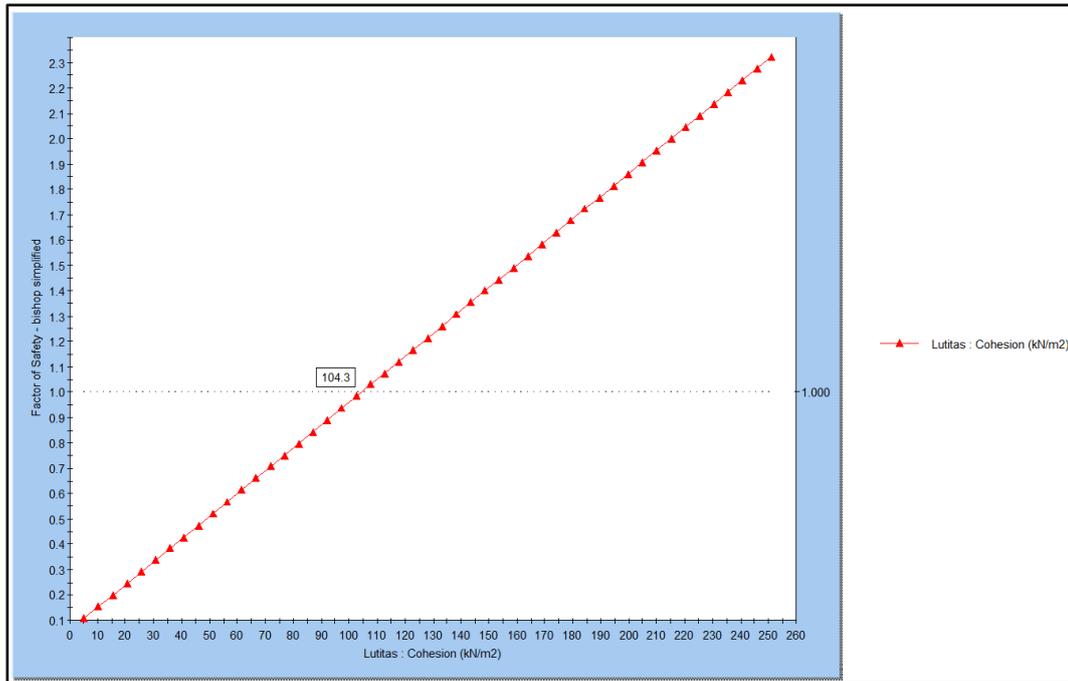


Figura 59. Análisis de sensibilidad del deslizamiento.
Fuente: Rocscience Inc., (2019)

En la Figura 59, podemos observar el resultado del cálculo en los que se relaciona el valor del parámetro de cohesión necesario que es 104.3 KN/m² para que el coeficiente de seguridad sea 1, obtenido según los métodos de cálculo, en este caso el método de Bishop.

6.7. Medidas de Mitigación

El principal objetivo de un estudio de estabilidad de taludes o laderas, es establecer medidas de prevención y control para reducir los niveles de amenaza y riesgo. Por lo que mediante los análisis realizados en este estudio se determina que el principal factor desencadenante de este deslizamiento es el agua superficial y en los factores condicionantes, cabe destacar la litología y la falta de tecnificación en el riego de los cultivos de la zona.

Para analizar la mejor medida se debe considerar también aspectos sociales, económicos y principalmente que sean aplicados a la naturaleza del problema.

Las medidas de mitigación pueden ser estructurales, no estructurales y políticas de estado. Los diseños estructurales generalmente se usan para incrementar fuerzas resistentes.

Los diseños no estructurales como los drenajes superficiales y subterráneos son los más adecuados, ya que son viables y reducen la acción del principal factor desestabilizante de este deslizamiento, que es el agua.

Respecto a las políticas de estado son las medidas que determinarán la máxima mitigación de la zona en estudio.

6.7.1. Drenajes Superficiales

Se llama drenaje superficial a todas las obras civiles que captan el agua que corre por la superficie para conducirla a lugares donde su propia ubicación ya no es considerada como dañina a la estabilización de un talud, por lo que el objetivo principal de los drenajes superficiales es reducir la infiltración y evitar la erosión. A continuación se presentan los diferentes tipos de drenaje que pudieran ser aplicados para esta zona de estudio.

6.7.1.1. Zanjas de coronación y canales colectores

Se recomienda la aplicación de una zanja en la parte alta del deslizamiento, lo cual servirá para interceptar y conducir las aguas lluvias, mediante canales colectores ubicados en el flanco derecho e izquierdo, lo cual evitaría así la infiltración del agua hacia el deslizamiento, asegurando la estabilidad del mismo en caso de filtración de agua por escorrentía. La zanja y los canales deben impermeabilizarse adecuadamente para evitar la reinfiltración de las aguas.

Así mismo se recomienda que además de impermeabilizar, se debe adicionar un correcto mantenimiento, el cual puede ser al menos cada dos años, reparando así las zanjas de coronación para impermeabilizar las fisuras y grietas que se presenten.

La zanja de la corona no debe construirse muy cerca del borde superior del talud para así evitar que se convierta en activadora del deslizamiento en estudio y las dimensiones pueden variar de acuerdo a la topografía del área en estudio y al cálculo previo de caudales colectados, generalmente se recomienda una zanja de mínimo 40 centímetros de ancho y 50 centímetros de profundidad, como se observa en la Figura 60, y se deben localizarlas a lo largo de una curva de nivel para un correcto drenaje.

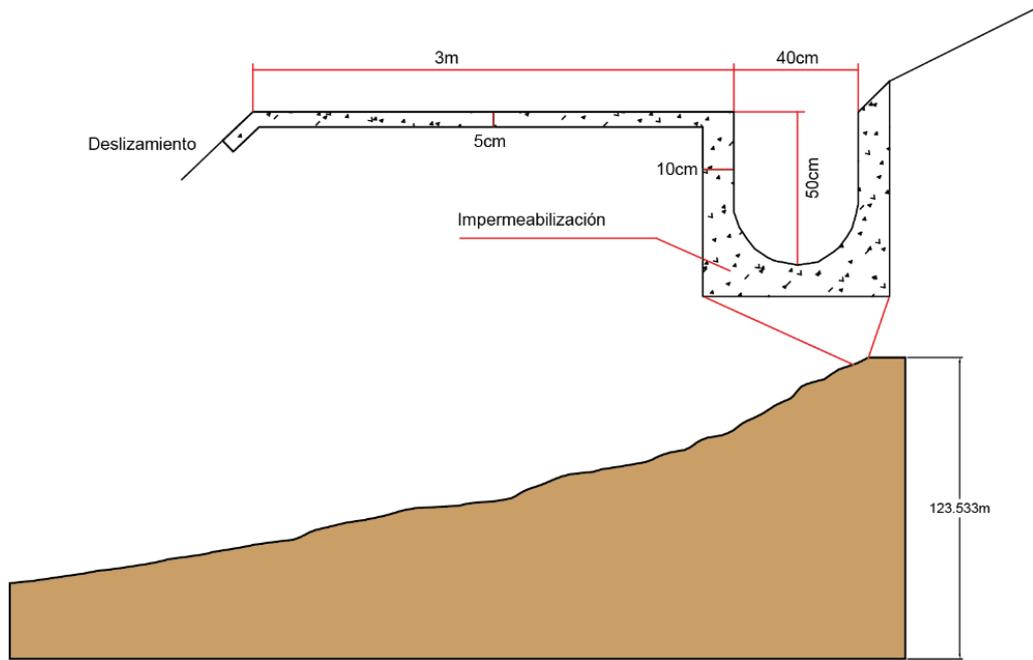


Figura 60. Zanja de coronación para el control de aguas superficiales del deslizamiento.
Fuente: Elaborado por el Autor, 2020.

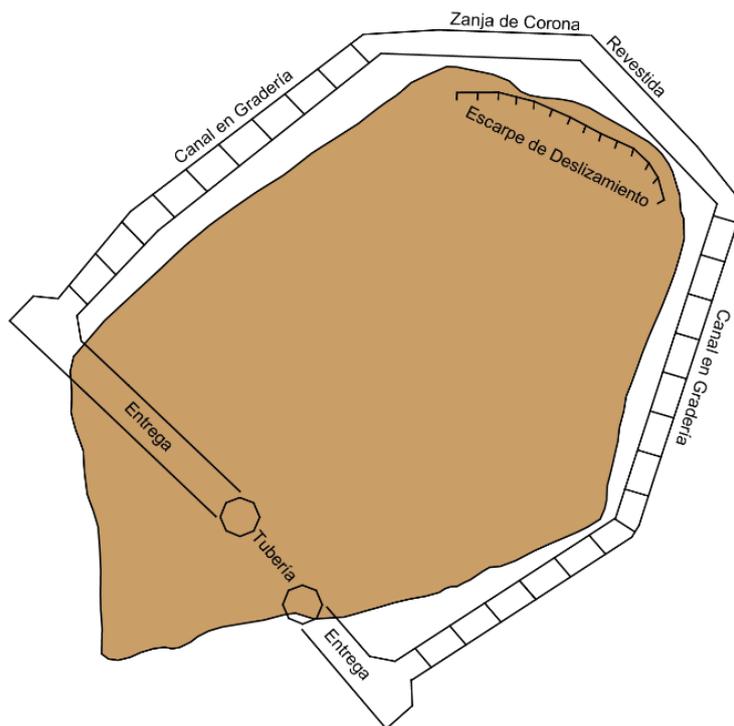


Figura 61. Esquema en planta de canales colectores en el deslizamiento.
Fuente: Elaborado por el Autor, 2020.

Las zanjas de coronación deben conducir a entregas en canales en gradería que conduzca el agua recolectada hasta un sitio seguro. Son estructuras rápidas escalonadas, las cuales están formadas por una serie de gradas o escalones dentro del canal, este canal conduce el agua y al mismo tiempo va disipando energía en cada uno de los escalones. Este sistema de

graderías es eficiente para disipar energía, el flujo en este tipo de canal es turbulento y debe construirse un muro lateral de borde libre suficiente para permitir la salpicadura del flujo.

Ante la inexistencia de datos experimentales, los canales en gradería se diseñan asumiendo una velocidad de 5.0 m/seg, a través de la sección mínima en la cabeza de cada grada. En la Figura 62, se indican algunos detalles constructivos para los canales en gradería.

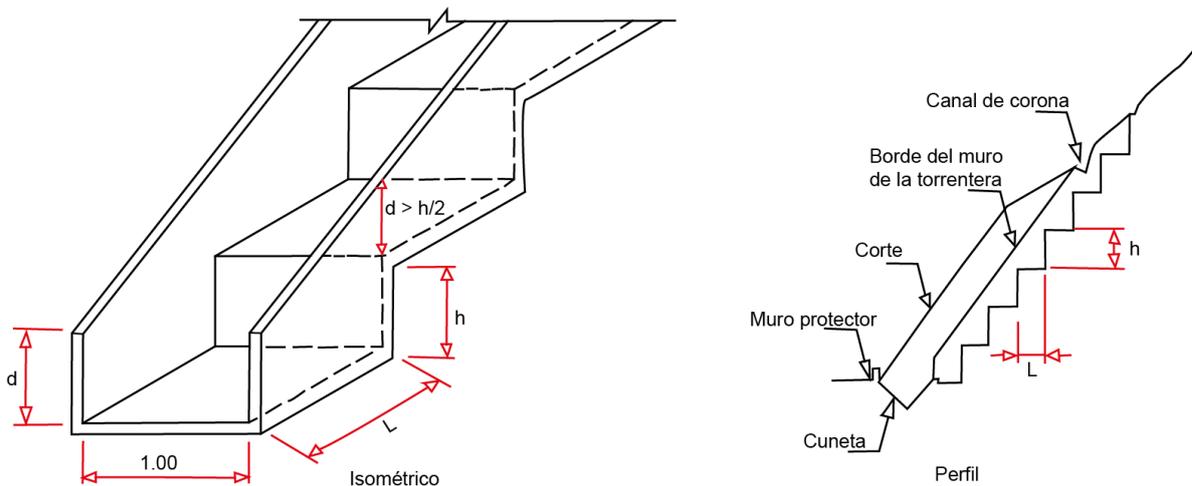


Figura 62. Canal de entrega con gradas de disipación en el deslizamiento.

Fuente: Elaborado por el Autor, 2020.

6.7.2. Drenajes Subterráneos

Los drenajes subterráneos en cambio tienen por objeto disminuir las presiones de poro o impedir que estas aumenten, por lo que la cantidad de agua recolectada por un sistema de subdrenaje va a depender de la permeabilidad de los suelos o rocas y de los gradientes hidráulicos. Así mismo se presentan los tipos de drenajes subterráneos que pueden ser aplicados en la zona de estudio.

6.7.2.1. Drenes horizontales o de penetración

El dren horizontal consiste en una tubería perforada que se coloca a través de una masa de suelo mediante una perforación profunda subhorizontal o ligeramente inclinada, con el cual se busca abatir el nivel freático hasta un nivel que incremente la estabilidad del talud.

El diámetro de las perforaciones es de 3 a 4 pulgadas dentro de las cuales se colocan tuberías perforadas. Los tubos pueden ser de metálicos, de polietileno o PVC, generalmente en diámetros de 2 a 3 pulgadas, los orificios de la tubería se hacen generalmente, en

diámetros de 5 a 1.5 milímetros con una densidad de 15 a 30 agujeros por metro de tubería como se observa en la Figura 63.

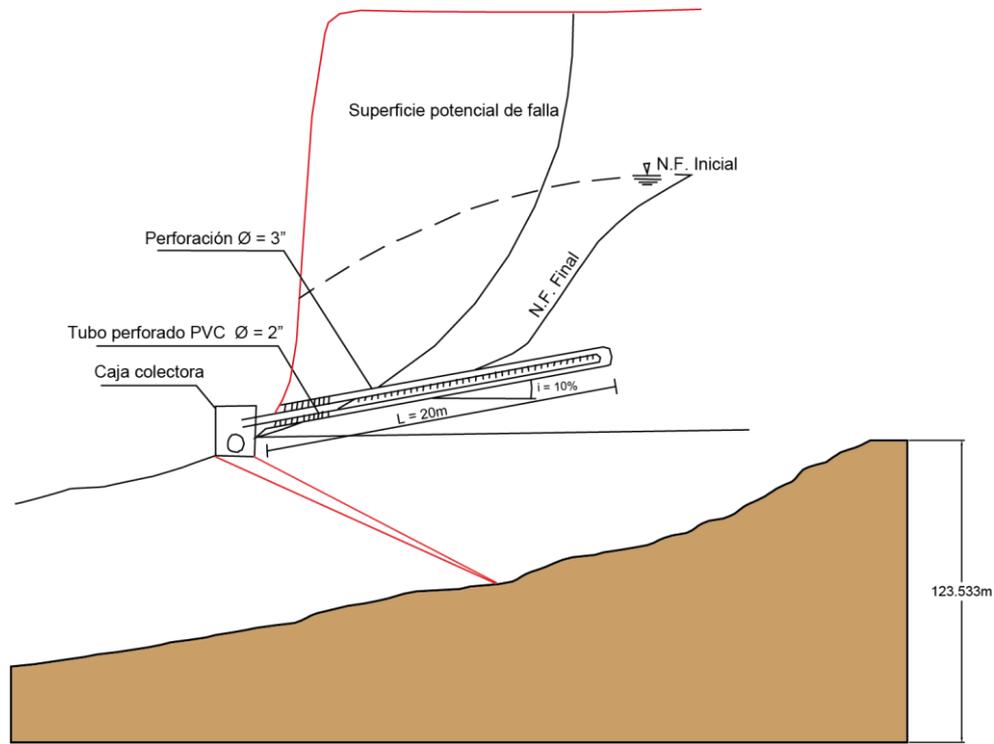


Figura 63. Diseño de un dren horizontal en el deslizamiento.
Fuente: Elaborado por el Autor, 2020.

Las tuberías de los drenes horizontales se pueden perforar con agujeros circulares o también se hacen ranuras en sentido transversal, entre mayor sea la abertura de las ranuras, es más fácil el paso del agua, pero así mismo se pasa la arena y el limo a través de los orificios.

Se recomienda que los anchos de las ranuras sean de 0.01 pulgadas para suelos de partículas muy finas, limos o suelos dispersos. Toda la longitud del tubo debe tener ranuras, con excepción del 1.5 a 5.0 metros más cercanos a la superficie del deslizamiento, esto para prevenir que las raíces de los árboles invadan el interior del tubo y pueda ocurrir erosión en la salida.

6.7.2.2. Pozos verticales de drenaje

Son perforaciones verticales las cuales tratan de aliviar las presiones de los poros cuando los acuíferos están confinados por materiales impermeables como puede ocurrir en nuestro caso de estudio con las intercalaciones de lutitas y areniscas. La función principal de los pozos verticales es la disminución de las presiones de poros en mantos profundos, donde los drenes horizontales no pueden alcanzarse.

Los pozos se perforan mediante un equipo estándar para la construcción de pilas, donde algunas veces se necesitan entibarlos para prevenir el derrumbe de las paredes o la colocación de una pared metálica o tubo vertical.

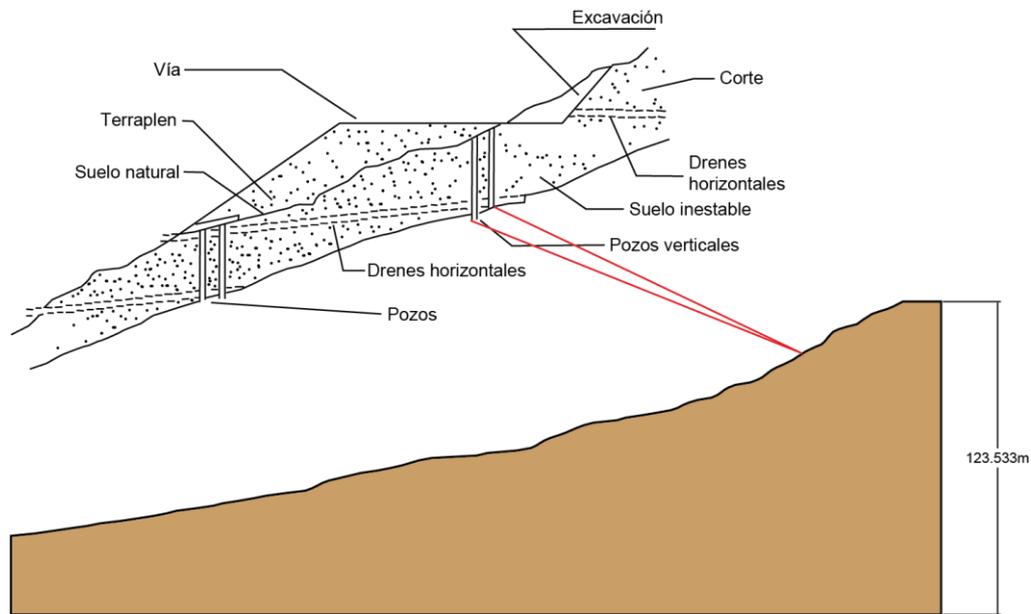


Figura 64. Combinación de pozos verticales y drenes horizontales.
Fuente: Elaborado por el Autor, 2020.

En muchos de los casos los pozos verticales se pueden combinar con los drenes horizontales para captar el agua alrededor de una circunferencia de gran diámetro, como se observa en la Figura 64. Esta técnica consiste en construir un pozo vertical y dentro de este, se colocan en forma radial un grupo de drenes horizontales, los cuales conducen el agua hacia el pozo vertical y pueden ser desaguadas bien sea por gravedad o por bombeo.

Los pozos que drenan por gravedad generalmente son más eficientes y necesitan menos mantenimiento en relación con los que drenan por bombeo. Por esta razón, se recomienda que los pozos verticales no sean demasiado profundos para que permitan el drenaje por gravedad.

El diseño de los pozos verticales generalmente tienen un diámetro externo de 16 a 24 pulgadas, con un tubo perforado de 4 a 8 pulgadas de diámetro en el interior de la perforación, y en algunas ocasiones se usan drenes hasta de dos metros de diámetro, donde el espacio anular entre la perforación y el tubo se llena con material filtro.

Los drenajes y subdrenajes son las técnicas más efectivas para la estabilización de deslizamientos mediante el control de las aguas superficiales y subterráneas y sus efectos, disminuyendo las fuerzas que producen el movimiento y aumentando las fuerzas resistentes.

6.7.3. Políticas de estado

Se recomienda la realización de programas de socialización a la comunidad donde se encuentra el deslizamiento, debido a que es importante la información sobre las amenazas y los efectos de este fenómeno, de tal forma que ellos mismo actúen como sistema de control, evitando así el desarrollo en estas áreas.

También se recomienda la tecnificación del riego en la zona, el cual lo pueden realizar por goteo y/o aspersión, de modo que se prohíba el riego por gravedad el cual se efectúa en el deslizamiento en estudio. Y por último se propone las medidas como la negación a los servicios públicos y el establecimiento de impuesto a personas que realicen obras sin permiso municipal.

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El presente trabajo de investigación se realizó con la finalidad de conocer las propiedades físico – mecánicas de los geomateriales en el deslizamiento en el sector El Sauce – La Granja de la Parroquia Rural Malacatos del Cantón y Provincia de Loja, para identificar el estado actual de movimiento de ladera, y así plantear medidas correctivas y de control del deslizamiento.

Esto debido a que en el sector donde se encuentra localizado el deslizamiento en estudio, existen sectores que están siendo afectados por suelos poco estables, donde se evidencia las deformaciones en ciertos puntos de las vías y en especial en las viviendas, como se observa en el cuarteamiento de las paredes, por lo que es necesario considerar los aspectos topográficos, hidrológicos, hidrogeológicos, geológicos y geotécnicos como base para un estudio detallado. Por lo que esta zona en estudio es propensa a deslizamientos, ya que esto se puede dar por la presencia de rocas de baja cohesión afectadas por la acción antrópica, erosión, infiltración y escorrentía, y de igual manera en muchos sitios no se realizan valoraciones de calidad y resistencia de los materiales sobre los que se ubican las infraestructuras y se construyen las vías, y así mismo se sigue realizando actividades agrícolas, alterando la topografía del terreno lo cual aporta en cierta parte a la inestabilidad del suelo.

Además, la intervención del hombre contribuye la mayor parte en provocar o acelerar estos fenómenos, debido a que en el sector El Sauce – La Granja se realiza actividades sin una adecuada planificación, y sin una metodología técnica para el riego, lo cual vuelve vulnerable al terreno.

Para poder determinar si los suelos son susceptibles a deslizamientos, se realizó un análisis de acuerdo a la litología expuesta en el sector y de acuerdo a la campaña geotécnica (SPT, SEV's y corte directo), lo cual se estableció que el deslizamiento actualmente se encuentra estable, pero existen inconvenientes en los sectores donde se sitúan las infraestructuras, como grietas y fisuras, debido a la litología presente en la zona de estudio de lutitas e intercalaciones de lutitas y areniscas, la cual es favorable a movimientos en masa, según los datos del SPT nos sugieren una litología en su mayoría de arcillas de baja y alta plasticidad con contenido de arena, las cuales se encuentran ligeramente compactas, las mismas que se correlaciona con la geofísica a una profundidad encontrada 27 metros, donde

no se localizó un nivel freático, pero si estratos con humedad principalmente en la parte media y baja del deslizamiento, para el ensayo de corte directo los suelos se encuentran con una cohesión baja, los cuales se asemejan a los resultados obtenidos mediante los SPT, por lo que es necesario la implementación de medidas de prevención, remediación y control geotécnicas mencionadas en el apartado anterior.

Finalmente, en el análisis de estabilidad mediante el cálculo del factor de seguridad del deslizamiento, se ha determinado que presenta valores estables (FS de 1.2), ya que el análisis de acuerdo al software sugiere una superficie de rotura en la zona con mayor pendiente, debido a que sería un movimiento posterior al que ocurrió previamente el cual provocó daños en las cimentaciones y como consecuencia a esto en la parte inferior se acumuló el material removido dando una estabilización en ciertas zonas, por lo que se da un factor de seguridad sumamente alto (FS de 1.4) y de esta manera reduciendo la probabilidad de un movimiento en masa más grande. Pero que en ciertas condiciones de presencia agua de las lluvias o debido al método de riego del sector el cual es por gravedad, este puede reactivarse por lo que es necesario implementar medidas de estabilización, para el control del deslizamiento y manejo del sistema hidrológico.

8. CONCLUSIONES

- Topográficamente el área de estudio comprende una superficie total de 5,818 Ha, presentando un relieve de terreno irregular, donde las alturas varían desde 1611 a 1708 m.s.n.m, existiendo un desnivel de 97 metros.
- De acuerdo al modelo de pendientes solamente el 0,35% del área del deslizamiento en estudio está dentro de la categoría de terrenos muy escarpados, los cuales se encuentran en la parte alta y en la mayoría del deslizamiento con un 35, 84% son terrenos planos a casi planos.
- El levantamiento geológico permitió definir que el área del deslizamiento en estudio se encuentra dentro de dos formaciones, específicamente sobre la Formación San Francisco, donde predominan los conglomerados con clastos metamórficos, los mismos que se presentan en estratos de areniscas, los cuales se sitúan en la parte alta del deslizamiento y la Formación Santo Domingo que está caracterizada por intercalaciones de lutitas con finas capas de yeso, siendo la formación más predominante en el sector del deslizamiento.
- Se realizaron tres sondeos eléctricos verticales (SEV's), en la parte alta, media y baja del deslizamiento en estudio, en los cuales no se localizó un nivel freático, por lo que se determinó que en los sectores donde se realizaron dichos sondeos los suelos son secos a húmedos. Además, se corroboró los tipos de litologías identificados, de acuerdo a la interpretación de la resistividad eléctrica de los materiales.
- Así mismo se realizaron tres ensayos de penetración estándar (SPT), en la parte alta, media y baja del deslizamiento en estudio, lo cual determino que los suelos están caracterizados principalmente por arcillas de alta y baja plasticidad con arena, por lo cual, de acuerdo al comportamiento de las arcillas, estas tienen un cambio de volumen moderado y con un potencial expansivo bajo. Pero en la parte inferior del deslizamiento la capacidad portante es baja y de consistencia media en los suelos, debido a la presencia de mayor humedad y poca cohesión con relación a la parte alta y media.
- En el ensayo de corte directo, realizado con las muestras que obtuvimos en la parte media y baja del deslizamiento, se determinó una cohesión promedio de 0.216 Kg/cm² la cual es relativamente baja, lo que se estima que los valores en las dos muestras, en cuenta a la cohesión son cercanos a cero debido a que los suelos son arcillo – arenosos.
- En función del análisis de estabilidad, mediante el equilibrio límite el deslizamiento actualmente se encuentra estable, bajo las condiciones normales y con un nivel freático

alto dando un FS de 1.2, y de acuerdo a la superficie de rotura en la parte de mayor pendiente en el deslizamiento, mientras que para una superficie de rotura la cual abarca mayor área del movimiento en masa, el FS aumente a 1.4. Y con el análisis de sensibilidad se pudo evidenciar que con la disminución de la cohesión en la capa de lutitas el deslizamiento probablemente alcanzará un FS igual a 1.

- Finalmente, de acuerdo al estudio realizado se logró determinar que el deslizamiento en estudio, actualmente se encuentra estable, pero es de vital importancia implementar medidas de mitigación, mediante la realización de drenajes superficiales y subterráneos para poder controlar las aguas tanto de las lluvias como del sistema de riego, las cuales se infiltran y pueden llegar a reactivarlo en cierto grado al deslizamiento. Y así mismo mediante las políticas de estado concientizar a la población para que realicen sus prácticas agrícolas de una manera más consiente y técnica.

9. RECOMENDACIONES

- Como medidas de control, investigar el comportamiento del área del deslizamiento, monitoreando mediante hitos topográficos, con el propósito de medir los desplazamientos en el tiempo y correlacionarlos con ocurrencia de sismos y de precipitaciones.
- Realizar un estudio hidrogeológico e hidrológico del sector, para determinar las principales zonas de recarga natural y las direcciones preferentes del flujo de agua subterránea.
- Realizar estudios geotécnicos más detallados y con una malla de investigación en función de las necesidades constructivas del sector.
- Antes de realizar cualquier construcción mejorar y adecuar el terreno, con el objetivo de generar mayor capacidad de carga y prevenir asentamientos, mediante técnicas como densificación, sobrecarga, nivelación, al igual que la inyección de sustancias que incrementen la cohesión.
- Implementar políticas de disuasión, tales como los programas de información pública, de tal manera que la población del sector, tenga información sobre las amenazas del deslizamiento, y el uso de avisos públicos que alerten sobre las amenazas en una determinada área.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, Z. (2013). *Estudio de mecánica de suelos: Exploración geotécnica* (Universidad Nacional de Ingeniería, Ed.). Lima-Perú.
- Arellano Gil, J., De la Llata Romero, R., Carreón Méndez, M. A., Villarreal Morán, J. C., & Morales Barrera, W. V. (2002). *Ejercicios de Geología Estructural* (Primera ed; U. N. A. de M. Facultad de la Ingeniería, Ed.). México, D.F.
- Arias, D., Echeverri, O., & Hoyos, F. (2012). Relaciones Geoeléctricas en la Exploración Geotécnica. *Boletín de Ciencias de La Tierra*.
- Armas Novoa, R., & Horta, E. (2010). *Presas de tierra*. La Habana, Cuba.
- Assis, A. P. (2002). *Métodos estadísticos probabilísticos en geotecnia* (Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de engenharia civil e ambiental, Ed.). Brasil.
- Ayala Carcedo, F. J., Andreu Posse, F. J., & Marqués, M. (1987). *Manual de ingeniería de taludes*. España: Instituto Tecnológico Geominero de España.
- Braja, M. Das. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica* (Cuarta edi). Sacramento, California: Cengage Learning Latin Am.
- Carvajal, J. H. (2008). *Primeras aproximaciones a la estandarización de la geomorfología en Colombia*. Colombia.
- Casanova Matera, L. (2002). *Topografía Plana* (Universidad Nacional de los Andes Facultad de Ingeniería de Vías, Ed.). Merida: Taller de Publicaciones de Ingeniería, ULA.
- Chávez, J. M. (2006). *Geotecnia*. México, D.F.
- CLIRSEN. (2002). *Centro de Levantamiento Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos*. Quito: Proyecto de generación de información georreferenciada para el desarrollo sustentable del sector agropecuario.
- Coulomb, C. A. (1776). *Essai sur une Application des Règles de Maximis et Minimis à quelques Problèmes de Statique, relatifs*. París: Mem. Roy. des Sciences, Vol. 3, 38.
- Cruden, D. M, & Varnes, D. J. (1996). *Landslides, investigation and mitigation (Transportation Research Board, National Research Council, Special Report; 247)*. Washington D.C., USA: National Academies Press.
- Cruden, David Milne. (1991). A simple definition of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 43(1), 27–29. <https://doi.org/10.1007/BF02590167>
- Duque Escobar, G. (2003). *Manual de Geología para Ingenieros* (Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, Ed.). Colombia.
- Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Malacatos. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (Parroquia Malacatos, Cantón Loja, Provincia de Loja)* (Primera Ed).
- González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.

- Gutiérrez Caiza, C. (2014). *Hidrología Básica y Aplicada* (Universidad Politécnica Salesiana, Ed.). Quito: Editorial Universitaria Abya-Yala, Quito-Ecuador.
- Gutiérrez Valdés, M. . (1989). *Estudio geomorfológico y su relación con la conservación de los recursos naturales en el municipio de Xilotepec de Juárez, Estado de Puebla. Estudio morfométrico y morfodinámico* (Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Filosofía y Letras Colegio de Geografía, Ed.). México, D.F.
- Herrera Herbert, J., & Castilla Gómez, J. (2012). *Utilización de Técnicas de Sondeos en Estudios Geotécnicos* (Universidad Politécnica de Madrid Departamento de Explotación de Recursos Minerales y Obras Subterráneas, Ed.). Madrid.
- Holtz, W. G., & Gibbs, H. J. (1956). *Engineering properties of expansive clays*. Transact. Am. Soc. Civil Eng.
- Hutchinson, J. N. (1968). *Morphology and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology* (C. Bonnard, Ed.). Lausanne: Proceedings of the Fifth Symposium on Landslides.
- I.T.G.E. (1986). *Mapa Geotécnico y de Riesgos Geológicos para la Ordenación Urbana de Murcia*. Murcia.
- Lisle, R., Brabham, P. J., & Barnes, J. W. (2011). *Basic Geological Mapping* (Fifth Edit). John Wiley & Sons, Ltd.
- Lomoschitz Mora, A. (1995). *Caracterización geotécnica del terreno, con ejemplos de Gran Canaria y Tenerife* (Universidad de las Palmas de Gran Canaria, Ed.). Curso sobre diseño, cálculo, patología y reparación de las cimentaciones de hormigón.
- López, M., Larrúa, R., & Recarey, C. (2009). *Estimación de la resistencia al cortante longitudinal en losas compuestas con lámina metálica colaborante*. Cuba.
- Maldonado Mendieta, G. A. (2014). *Monitoreo de la calidad de agua del Río Malacatos, tramo comprendido desde los dos Puentes hasta el sector Sauces Norte*. 132.
- Marin, L. (2008). *Mecánica de suelos*. Guayaquil.
- Martínez, T., & Mercado, E. (1992). *Manual de Investigación Urbana*. México, D.F.: Editorial Trillas.
- Mohr, O. (1900). *Welche Umstände Bedingen die Elastizitätsgrenze und den Bruch eines Materiales*. Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure.
- Montes de Oca, M. (1984). *Topografía* (4ta Edició). México, D.F.: Ediciones Alfaomega, S.A. de C.V.
- Muthoni Njue, L. (2010). *Geological Field Mapping. Presented at Short Course V on Exploration for Geothermal Resources, Organized by UNU-GTP, GDC and KenGen, at Lake Bogoria and Lake Naivasha, Kenya*.
- Norma Ecuatoriana de la Contrucción, (NEC). (2018). *Geotécnia y cimentaciones*. Quito: Recuperado, Agosto 2018.
- Olarte Orozco, K. M. (2013). *Estabilidad de Taludes en Suelos Residuales Evaluado en el Corto y Largo Plazo*. Medellín.
- Orellana, E. (1982). *Prospección Geoeléctrica en Corriente Continua* (Segunda ed). Madrid:

Paraninfo Ltd.

- Parella, S., & Martins, F. (2012). *Metodología de la Investigación Cuantitativa*. Caracas: Fondo Editorial de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador.
- Pedraza Gilsanz, J. (1996). *Geomorfología: Principios, Métodos y Aplicaciones*. Madrid: Rueda.
- Peña Monné, J. L. (1997). *Cartografía Geomorfógica Básica y Aplicada*. Logroño: Geoforma Ediciones.
- Ramírez, & Monge, P. & A. (2004). *Mecánica de rocas: fundamentos e ingeniería de taludes*. Madrid: Red DESIR.
- Rebollo, L. F. (2007). *Hidrogeología: Aguas Subterráneas y Medio Ambiente* (Universidad de Alcalá, Ed.). Alcalá.
- Reunión De Ingenieros. (1975). *Mecánica de suelos*. España: Editores técnicos asociados.
- Rivera Mantilla, H. (2005). *Geología General* (Primera ed; Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Ed.). Lima-Perú.
- ROCSCIENCE. (2019). *Slope Stability with Rocscience Software*.
- Schumm, S. A. (1998). *To Interpret the Earth (Ten Ways to Be Wrong)* (Third edit; Cambridge University Press, Ed.).
- Sharpe, C. F. (1938). *Landslides and Related Phenomena: A Study of Mass-Movements of Soil and Rock (Columbia Geomorphic Studies)* (1st Editio; J. Douglas, Ed.). Columbia: Columbia University Press.
- Skempton, A. W., & Hutchinson, J. (1969). *Stability of natural slopes and embankment foundations*.
- Skempton, A. W., & Macdonald, D. H. (1956). The Allowable Settlements of Buildings. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 5(6), 727–768. <https://doi.org/10.1680/ipeds.1956.12202>
- Suárez Díaz, J. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad Taludes en Zonas Tropicales*. Bucaramanga-Colombia: Ingeniería de Suelos Ltda.
- Suárez Díaz, J. (2009). *Deslizamientos. Analisis geotécnico Vol. 1* (Universidad Industrial de Santander UIS, Ed.). Bucaramanga-Colombia.
- Terzaghi, K. (1950). Mechanism of Landslides. In *Application of Geology to Engineering Practice* (pp. 83–123). <https://doi.org/10.1130/Berkey.1950.83>
- Tyrrel, A. P., Lake, L. M., & Parsons, A. W. (1983). *An investigation of the extra costs arising on highway contracts*.
- Valerio Salas, O. (2011). Ensayos triaxiales para suelos. *Métodos y Materiales Año 1, Volumen 1*.
- Varnes, D. J. (1978). *Slope movement types and processes*. Washington DC, 11-33: Special report 176, Landslides, Analysis and control.
- Verstappen, H. T. (1983). *Applied Geomorphology: Geomorphological Surveys for Environmental Development*. Amsterdam et Nueva York: Elsevier Science Ltd.

- Villarroya, F. (2009). *Tipos de acuíferos y parámetros hidrogeológicos*. Madrid: Centro Nacional de Tecnología de Regadíos (CENTER).
- Wyllie, D. C., & Mah, C. W. (2007). *Rock Slope Engineering civil and mining*. Environmental and Engineering Geoscience, 13(4), 369–370.
- Yépez, F. (2010). *Clase de ingeniería sismo resistente (Presentación)*. Quito.

11. ANEXOS

Anexo 1.- Descripción de los principales afloramientos

Anexo 2.- Resultados de SEV's

Anexo 3.- Resultados de ensayo S.P.T

Anexo 4.- Formatos para movimientos en masa

Anexo 5.- Resultados de ensayos de corte directo

Anexo 6.- Mapas del área de estudio

ANEXO 1: DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES AFLORAMIENTOS

Proyecto: "Estudio geológico - geotécnico del deslizamiento, en el sector El Sauce - La Granja"		 	
Afloramiento N°:	1	Fotografía: 	
Coordenadas de ubicación UTM - DATUM WGS84:	X: 695865		
	Y: 9535075		
	Z: 1643		
Datos estructurales:	Rumbo : 125		
	Buzamiento: 37 NE		
Grado de meteorización:	Medio		
Descripción geológica:	Se observan lutitas de color crema a café oscuro, con finas capas de yeso de 1 a 3 centímetros, estas siguen la estratificación de las lutitas y también son perpendiculares a la misma estratificación.		
Formación geológica:	Santo Domingo		
Tipo de afloramiento:	Natural		
Dimensiones:	Longitud: 10 m		
	Altura: 2.50 m		
Sector de referencia:	Ubicado en la parte baja del deslizamiento, atrás de la única escuela que se encuentra en el sitio en estudio.		

Proyecto: "Estudio geológico - geotécnico del deslizamiento, en el sector El Sauce - La Granja"		 	
Afloramiento N°:	2	Fotografía: 	
Coordenadas de ubicación UTM - DATUM WGS84:	X: 695846		
	Y: 9535132		
	Z: 1638		
Datos estructurales:	Rumbo : 135		
	Buzamiento: 27 NE		
Grado de meteorización:	Medio		
Descripción geológica:	Se observan intercalaciones de lutitas y areniscas, las lutitas de color cremas a grises, inclusive de color café oscuro producto de la oxidación, son de grano muy fino y las areniscas de color amarillentos a grises de grano fino a grueso.		
Formación geológica:	Santo Domingo		
Tipo de afloramiento:	Natural		
Dimensiones:	Longitud: 25 m		
	Altura: 2.10 m		
Sector de referencia:	Ubicado en la parte baja del deslizamiento, al noroccidente del mismo.		

Proyecto: "Estudio geológico - geotécnico del deslizamiento, en el sector El Sauce - La Granja"		 Universidad Nacional de Loja
Afloramiento N°:	3	Fotografía: 
Coordenadas de ubicación UTM - DATUM WGS84:	X: 695865	
	Y: 9535075	
	Z: 1643	
Datos estructurales:	Rumbo : 125	
	Buzamiento: 37 NE	
Grado de meteorización:	Medio	
Descripción geológica:	Lutitas de color crema a café oscuro, con finas capas de yeso de 1 a 3 centímetros, estas siguen la estratificación de las lutitas y también son perpendiculares a la misma estratificación	
Formación geológica:	Santo Domingo	
Tipo de afloramiento:	Natural	
Dimensiones:	Longitud: 10 m	
	Altura: 2.50 m	
Sector de referencia:	Ubicado en la parte baja del deslizamiento, atrás de la única escuela que se encuentra en el sitio en estudio.	

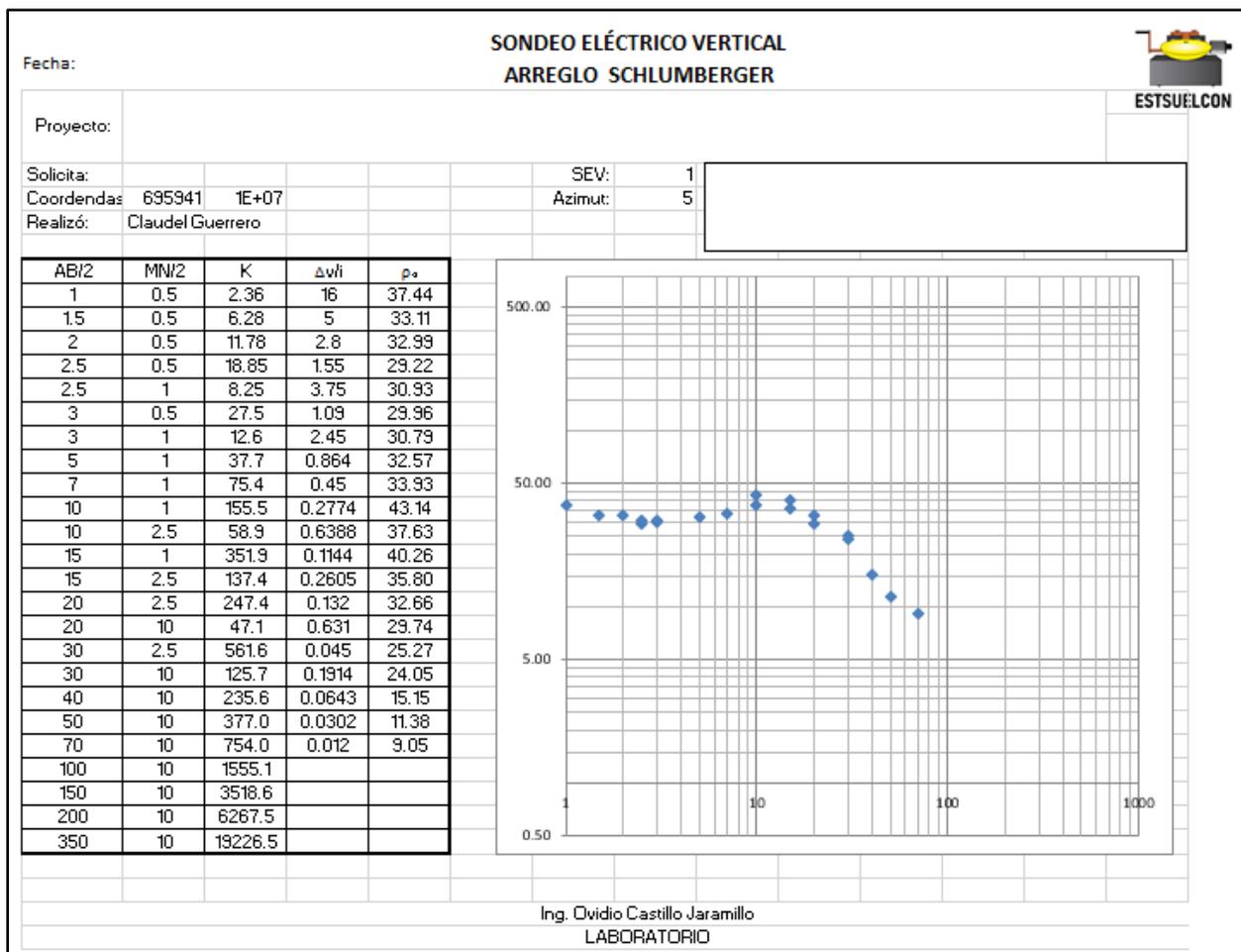
Proyecto: "Estudio geológico - geotécnico del deslizamiento, en el sector El Sauce - La Granja"		 Universidad Nacional de Loja
Afloramiento N°:	4	Fotografía: 
Coordenadas de ubicación UTM - DATUM WGS84:	X: 695962	
	Y: 9534887	
	Z: 1644	
Datos estructurales:	Rumbo : 140	
	Buzamiento: 32 NE	
Grado de meteorización:	Bajo	
Descripción geológica:	Se observan lutitas de color crema a grises, con presencia de finas capas de yeso, estas finas capas siguen la estratificación de las lutitas y en algunos casos son perpendiculares a la misma.	
Formación geológica:	Santo Domingo	
Tipo de afloramiento:	Natural	
Dimensiones:	Longitud: 15 m	
	Altura: 3 m	
Sector de referencia:	Ubicado en la parte izquierda del deslizamiento.	

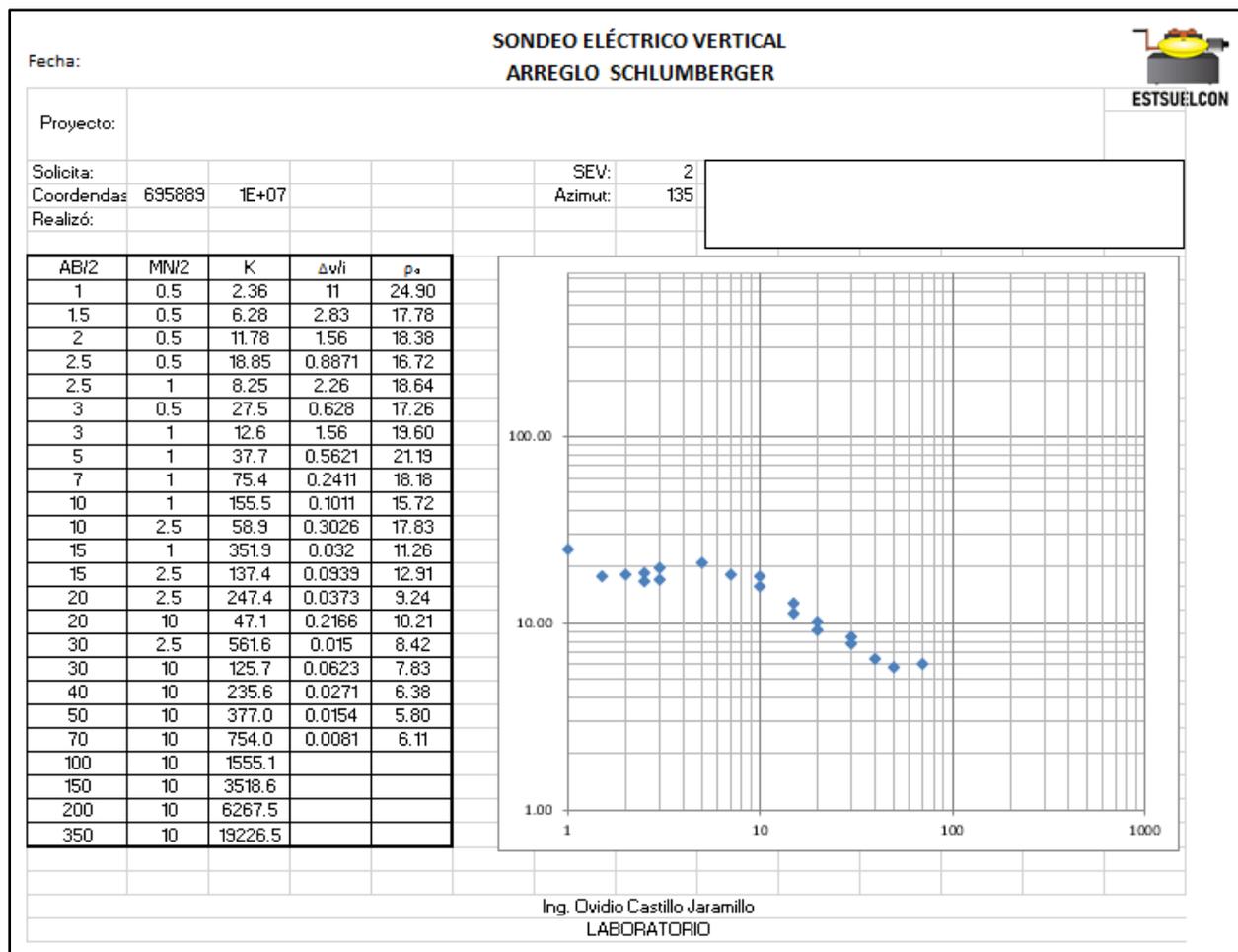
Proyecto: "Estudio geológico - geotécnico del deslizamiento, en el sector El Sauce - La Granja"		
Afloramiento N°:	5	Fotografía: 
Coordenadas de ubicación UTM - DATUM WGS84:	X: 696102	
	Y: 9535370	
	Z: 1668	
Datos estructurales:	Rumbo : 328	
	Buzamiento: 32 NE	
Grado de meteorización:	Medio	
Descripción geológica:	Presenta areniscas de color gris y tambien con tonalidades marrones, con capas de conglomerados de 3 cm de potencia, presencia tambien de materia orgánica.	
Formación geologica:	San Francisco	
Tipo de afloramiento:	Natural	
Dimensiones:	Longitud: 8 m	
	Altura: 1.70 m	
Sector de referencia:	Ubicado en la parte alta del deslizamiento	

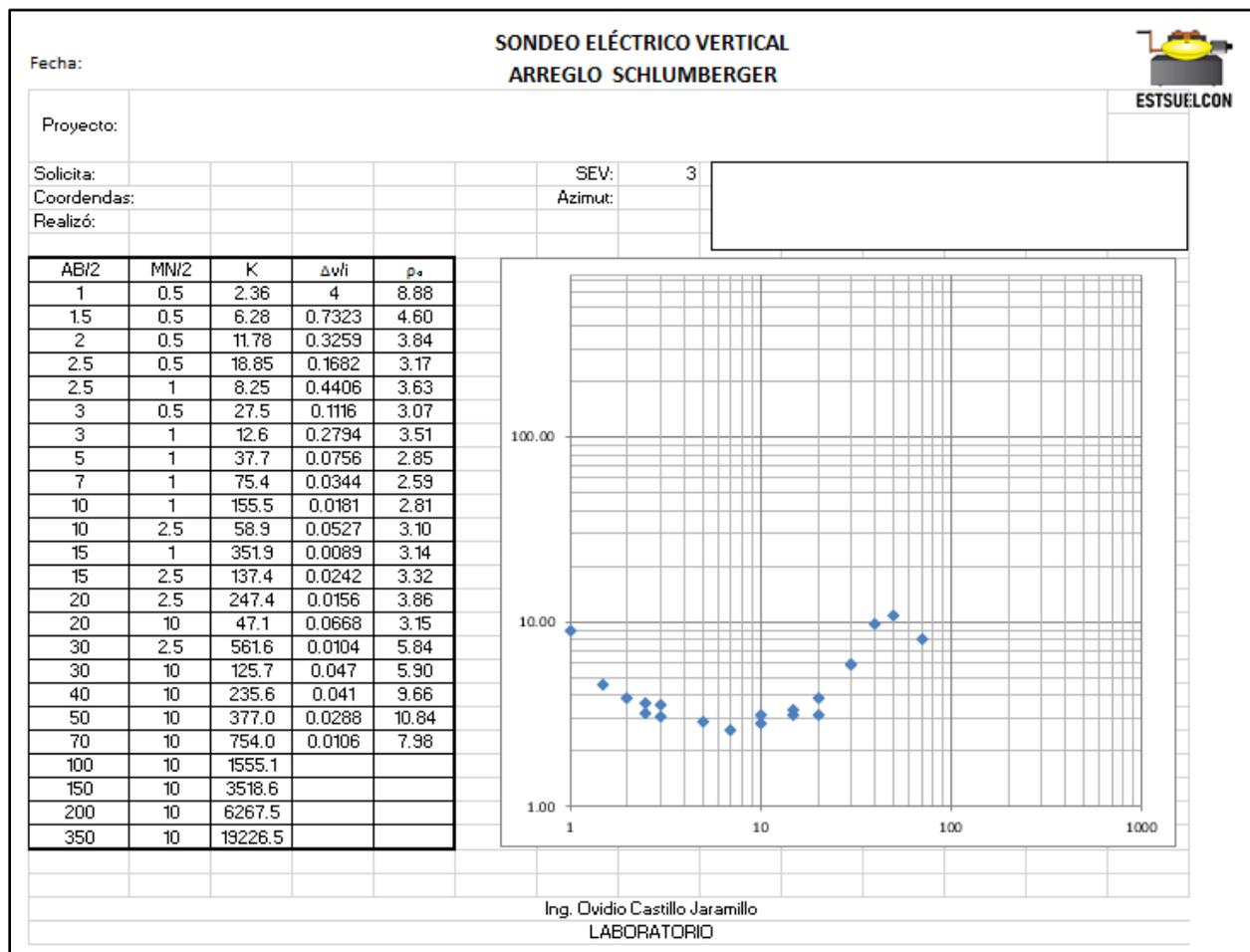
Proyecto: "Estudio geológico - geotécnico del deslizamiento, en el sector El Sauce - La Granja"		
Afloramiento N°:	6	Fotografía: 
Coordenadas de ubicación UTM - DATUM WGS84:	X: 696009	
	Y: 9535225	
	Z: 1700	
Datos estructurales:	Rumbo : -	
	Buzamiento: -	
Grado de meteorización:	Medio	
Descripción geológica:	Se observan microconglomerados con clastos metamorficos, los cuales se encuentran dentro de una matriz limo - arcillosa, se presentan en estratificación con las areniscas de grano medio a grueso.	
Formación geologica:	San Francisco	
Tipo de afloramiento:	Natural	
Dimensiones:	Longitud: 10 m	
	Altura: 2.50 m	
Sector de referencia:	Ubicado en la parte alta del deslizamiento.	

Proyecto: "Estudio geológico - geotécnico del deslizamiento, en el sector El Sauce - La Granja"		
Afloramiento N°:	7	Fotografía: 
Coordenadas de ubicación UTM - DATUM WGS84:	X: 695865	
	Y: 9535075	
	Z: 1643	
Datos estructurales:	Rumbo : 125	
	Buzamiento: 37 NE	
Grado de meteorización:	Medio	
Descripción geológica:	Lutitas de color crema a café oscuro, con finas capas de yeso de 1 a 3 centímetros, estas siguen la estratificación de las lutitas y también son perpendiculares a la misma estratificación	
Formación geológica:	Santo Domingo	
Tipo de afloramiento:	Natural	
Dimensiones:	Longitud: 10 m	
	Altura: 2.50 m	
Sector de referencia:	Ubicado en la parte baja del deslizamiento, atrás de la única escuela que se encuentra en el sitio en estudio.	

ANEXO 2: RESULTADOS DE SEV'S







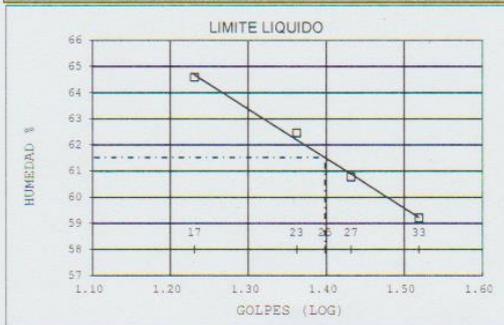
ANEXO 3: RESULTADOS DE ENSAYO S.P.T



ESTSUELCON CIA. LTDA.
ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN
ASTM D2497-AASHTO 3282 - 2487

PROYECTO : "ESTUDIO GEOLOGICO GEOTECNICO, DEL DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR EL SAUCE-LA GRANJA DE LA PARROQUIA MALACATOS, DEL CANTON LOJA Y PROVINCIA DE LOJA"						
OBRA : ESTUDIO GEOTECNICO						
UBICACIÓN : MALACATOS- SAUCE						
OPERADOR : O.V			MUESTRA : 1			
FECHA : MARZO-2020			PROFUNDIDAD 2.00 m			
	GOLPES	W HM. (gr)	W SECO (gr)	W CAPS (gr)	w %	RESULTADO%
1.- CONTENIDO HUMEDAD		71.44	66.32	25.46	12.53	12.65
		77.36	71.54	25.98	12.77	
2.- LIM. LIQUIDO	33	40.91	34.67	24.13	59.20	61.52
	27	39.57	34.01	24.86	60.77	
	23	43.83	38.04	28.77	62.46	
	17	43.08	36.99	27.56	64.58	
3.- LIMITE PLASTICO		31.94	31.00	27.59	27.57	27.29
		31.32	30.35	26.76	27.02	
4.- GRANULOMETRIA	5.- CLASIFICACION.-					
PESO INICIAL DE CALCULO:	145.3 gr		GRAVA= 1.57 %			
			ARENA= 29.83 %			
TAMIZ	PESO R (gr)	% R.A.	% PASA	FINOS= 68.60 %		
1 1/2"	0.00	0.00	100	LL = 62.00 %		
1"	0.00	0.00	100	LP = 27.00 %		
3/4"	0.00	0.00	100	IP = 35.00 %		
1/2"	0.00	0.00	100	cu 23.27		
3/8"	0.00	0.00	100	cc 0.53		
No. 4	2.03	1.57	98	CLASIFICACION:		
No. 10	3.41	4.22	96	SUCS = CH1		
No. 40	8.33	10.68	89	Arcilla de alta plasticidad arenosa		
No. 200	26.73	31.40	69	AASHTO= A-7-6 IG 24		
COLOR : CAFÉ CLARO			Suelos arcillosos			
			Regular a Pobre			



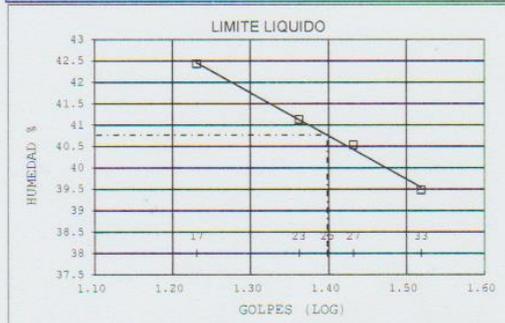


ESTSUELCON CIA. LTDA.
ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN

ASTM D2487-AASHTO 3282 - 2487

PROYECTO : "ESTUDIO GEOLOGICO GEOTECNICO, DEL DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR EL SAUCE-LA GRANJA DE LA PARROQUIA MALACATOS, DEL CANTON LOJA Y PROVINCIA DE LOJA"						
OBRA : ESTUDIO GEOTECNICO						
UBICACIÓN : MALACATOS- SAUCE						
OPERADOR : O.V			MUESTRA :1			
FECHA : MARZO-2020			PROFUNDIDAD 4.00 m			
	GOLPES	W HM.(gr)	W SECO (gr)	W CAPS (gr)	w %	RESULTADOS
1.- CONTENIDO HUMEDAD		85.90	79.22	28.67	13.21	13.41
		72.39	66.82	25.88	13.61	
2.- LIM. LIQUIDO	33	39.65	35.75	25.87	39.47	
	27	43.97	38.77	25.94	40.53	40.76
	23	42.84	38.25	27.09	41.13	
	17	40.88	36.20	25.17	42.43	
3.- LIMITE PLASTICO		31.89	30.68	25.19	22.04	21.89
		33.38	32.41	27.95	21.75	
4.- GRANULOMETRIA	5.- CLASIFICACION.-					
PESO INICIAL DE CALCULO:		203.5 gr		GRAVA= 14.71 %		
				ARENA= 23.68 %		
				FINOS= 61.61 %		
TAMIZ	PESO R (gr)	% R.A.	% PASA	LL = 41.00 %		
1 1/2"	0.00	0.00	100	LP = 22.00 %		
1"	0.00	0.00	100	IP = 19.00 %		
3/4"	0.00	0.00	100	cu = 33.24		
1/2"	18.35	10.23	90	cc = 0.50		
3/8"	4.89	12.95	87	CLASIFICACION:		
No. 4	3.16	14.71	85	SUCS = CL		
No. 10	3.12	16.45	84	Arcilla de baja plasticidad arenosa		
No. 40	7.40	20.57	79	AASHTO= A-7-6 IG 10		
No. 200	31.97	38.39	62	Suelos arcillosos		
COLOR : CAFÉ CLARO			Regular a Pobre			



[Handwritten Signature]
Ing. *[Name]*
LABORATORIO

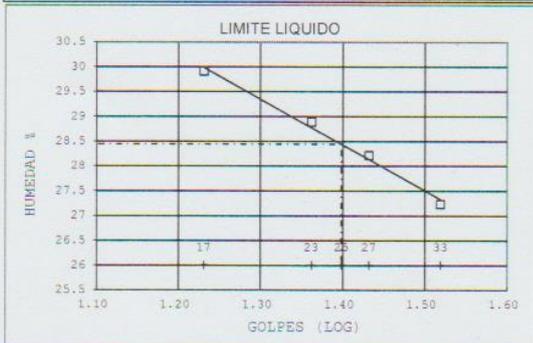


ESTSUELCON CIA. LTDA.
ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORÍA

ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN

ASTM D2487-AASHTO 3282 - 2487

PROYECTO	: "ESTUDIO GEOLOGICO GEOTECNICO, DEL DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR EL SAUCE-LA GRANJA DE LA PARROQUIA MALACATOS, DEL CANTON LOJA Y PROVINCIA DE LOJA"					
OBRA	: ESTUDIO GEOTECNICO					
UBICACIÓN	: MALACATOS- SAUCE					
OPERADOR	: O.V	MUESTRA				: 1
FECHA	: MARZO-2020	PROFUNDIDAD				: 6.00 m
	GOLPES	W HM. (gr)	W SECO (gr)	W CAPS (gr)	w %	RESULTADO%
1.- CONTENIDO HUMEDAD		68.44	66.03	25.29	5.92	5.90
		87.80	84.43	27.23	5.89	
2.- LIM. LIQUIDO	33	48.54	43.99	27.28	27.23	28.45
	27	49.69	45.06	28.65	28.21	
	23	43.25	39.33	25.76	28.89	
	17	46.41	41.98	27.17	29.91	
3.- LIMITE PLASTICO		31.53	30.41	24.04	17.58	17.52
		34.18	33.19	27.52	17.46	
4.- GRANULOMETRIA	5.- CLASIFICACION.-					
PESO INICIAL DE CALCULO:	217.1 gr					
TAMIZ	PESO R (gr)	% R.A.	% PASA	CLASIFICACION:		
1 1/2"	0.00	0.00	100	GRAVA=	8.37 %	
1"	0.00	0.00	100	ARENA=	19.48 %	
3/4"	0.00	0.00	100	FINOS=	72.15 %	
1/2"	8.72	4.25	96	LL =	28.00 %	
3/8"	5.59	6.98	93	LP =	18.00 %	
No. 4	2.86	8.37	92	IP =	10.00 %	
No. 10	3.12	9.90	90	cu	19.93	
No. 40	3.96	11.83	88	cc	0.55	
No. 200	32.85	27.85	72	CLASIFICACION:		
COLOR	: CAFÉ CLARO					
				SUCS =	CL	
				Arcilla de baja plasticidad con arena		
				AASHTO=	A-4	IG 5
				Suelos limosos		
				Regular a Pobre		





ESTSUELCON CIA. LTDA.
ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN
ASTM D2497-AASHTO 3282 - 2487

PROYECTO : "ESTUDIO GEOLOGICO GEOTECNICO, DEL DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR EL SAUCE-LA GRANJA DE LA PARROQUIA MALACATOS, DEL CANTON LOJA Y PROVINCIA DE LOJA"
 OBRA : ESTUDIO GEOTECNICO
 UBICACIÓN : MALACATOS- SAUCE
 OPERADOR : O.V MUESTRA :2
 FECHA : MARZO-2020 PROFUNDIDAD 2.00 m

	GOLPES	W HM. (gr)	W SECO (gr)	W CAPS (gr)	w %	RESULTADO%
1.- CONTENIDO HUMEDAD		66.16 58.08	60.21 53.29	25.20 25.17	17.00 17.03	17.01
2.- LIM. LIQUIDO	33 27 23 17	43.47 41.92 44.12 40.21	38.76 37.85 39.41 35.98	25.94 27.09 27.20 25.28	36.74 37.83 38.57 39.53	38.05
3.- LIMITE PLASTICO		32.29 33.03	31.42 32.00	27.25 27.10	20.86 21.02	20.94

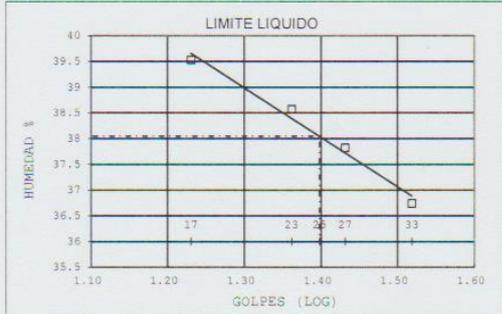
TAMIZ	PESO R (gr)	% R.A.	% PASA
1 1/2"	0.00	0.00	100
1"	0.00	0.00	100
3/4"	0.00	0.00	100
1/2"	0.00	0.00	100
3/8"	0.00	0.00	100
No. 4	0.57	0.48	100
No. 10	1.73	1.92	98
No. 40	3.08	4.50	96
No. 200	4.53	8.28	92

5.- CLASIFICACION,-

GRAVA= 0.48 %
 ARENA= 7.80 %
 FINOS= 91.72 %
 LL = 38.00 %
 LP = 21.00 %
 IP = 17.00 %
 cu 10.52
 cc 0.62

CLASIFICACION:
 SUCS = CL
 Arcilla de baja plasticidad
 AASHTO= A-6 IG 16
 Suelos arcillosos
 Regular a Pobre

PESO INICIAL DE CALCULO: 140.0 gr
 COLOR : CAFÉ





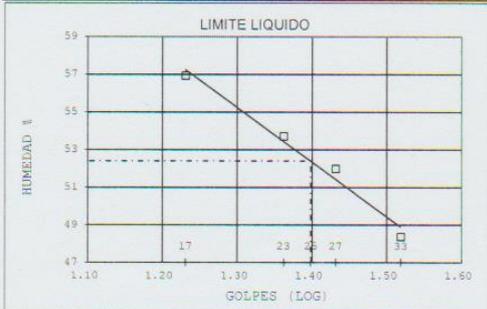
ESTSUELCON CIA. LTDA.

ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN

ASTM D2497-AASHTO 3282 - 2487

PROYECTO : "ESTUDIO GEOLOGICO GEOTECNICO, DEL DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR EL SAUCE-LA GRANJA DE LA PARROQUIA MALACATOS, DEL CANTON LOJA Y PROVINCIA DE LOJA"						
OBRA : ESTUDIO GEOTECNICO						
UBICACIÓN : MALACATOS- SAUCE						
OPERADOR : O.V			MUESTRA :2			
FECHA : MARZO-2020			PROFUNDIDAD 4.00 m			
	GOLPES	W HM. (gr)	W SECO (gr)	W CAPS (gr)	w %	RESULTADOS
1.- CONTENIDO HUMEDAD		69.66	62.25	24.84	19.81	19.36
		64.01	57.93	25.77	18.91	
2.- LIM. LIQUIDO	33	40.52	35.59	25.40	48.38	
	27	41.19	35.67	25.05	51.98	52.39
	23	44.11	38.39	27.74	53.71	
	17	40.91	35.40	25.72	56.92	
3.- LIMITE PLASTICO		33.20	32.01	27.63	27.17	26.59
		31.36	30.20	25.74	26.01	
4.- GRANULOMETRIA			5.- CLASIFICACION.-			
PESO INICIAL DE CALCULO:		157.1 gr		GRAVA= 17.27 %		
				ARENA= 18.33 %		
				FINOS= 64.41 %		
TAMIZ		PESO R (gr)	% R.A.	% PASA	LL = 52.00 %	
1 1/2"		0.00	0.00	100	LP = 27.00 %	
1"		0.00	0.00	100	IP = 25.00 %	
3/4"		0.00	0.00	100	cu 28.55	
1/2"		13.96	10.61	89	cc 0.51	
3/8"		5.01	14.41	86	CLASIFICACION:	
No. 4		3.76	17.27	83	SUCS = CH1	
No. 10		6.50	22.21	78	Silla de alta plasticidad arenosa con gr	
No. 40		9.17	29.17	71	AASHTO= A-7-6 IG 15	
No. 200		8.45	35.59	64	Suelos arcillosos	
COLOR : CAFÉ CLARO				Regular a Pobre		

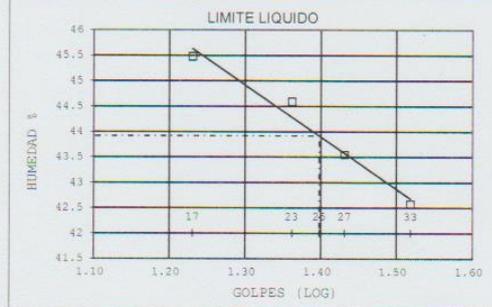




ESTSUELCON CIA. LTDA.
ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN
ASTM D2487-AASHTO 3282 - 2487

PROYECTO : "ESTUDIO GEOLOGICO GEOTECNICO, DEL DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR EL SAUCE-LA GRANJA DE LA PARROQUIA MALACATOS, DEL CANTON LOJA Y PROVINCIA DE LOJA"						
OBRA : ESTUDIO GEOTECNICO						
UBICACIÓN : MALACATOS- SAUCE						
OPERADOR : O.V			MUESTRA : 2			
FECHA : MARZO-2020			PROFUNDIDAD 6.00 m			
	GOLPES	W HM. (gr)	W SECO (gr)	W CAPS (gr)	w %	RESULTADOS
1.- CONTENIDO HUMEDAD		57.28	52.30	25.76	18.76	19.07
		70.71	63.63	27.09	19.38	
2.- LIM. LIQUIDO	33	40.84	36.20	25.30	42.57	43.92
	27	42.63	37.30	25.06	43.55	
	23	39.37	35.04	25.33	44.59	
	17	43.03	38.15	27.42	45.48	
3.- LIMITE PLASTICO		32.80	31.63	27.31	27.08	27.34
		32.84	31.62	27.20	27.60	
4.- GRANULOMETRIA			5.- CLASIFICACION.-			
PESO INICIAL DE CALCULO:		183.4 gr		GRAVA= 24.24 %		
TAMIZ		PESO R (gr)	% R.A.	% PASA	ARENA= 31.96 %	
1 1/2"		0.00	0.00	100	FINOS= 43.81 %	
1"		0.00	0.00	100	LL = 44.00 %	
3/4"		0.00	0.00	100	LP = 27.00 %	
1/2"		10.86	7.05	93	IP = 17.00 %	
3/8"		13.31	15.69	84	cu 339.28	
No. 4		13.16	24.24	76	cc 0.15	
No. 10		15.37	34.22	66	CLASIFICACION:	
No. 40		17.70	45.71	54	SUCS = ML	
No. 200		16.15	56.19	44	Limo arenoso con grava	
COLOR : CAFÉ CLARO				AASHTO= A-7-6 IG 4		
				Suelos arcillosos		
				Regular a Pobre		



[Handwritten Signature]
 Ing. Ricardo Castellano
 LABORATORIO



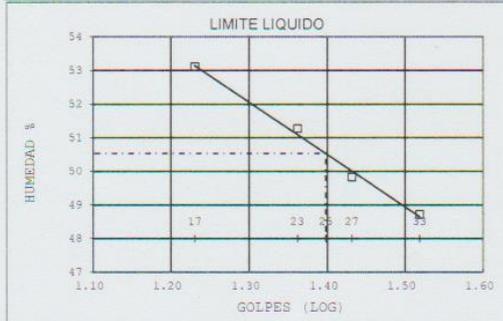


ESTSUELCON CIA. LTDA.
ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN

ASTM D2497-AASHTO 3282 - 2487

PROYECTO : "ESTUDIO GEOLOGICO GEOTECNICO, DEL DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR EL SAUCE-LA GRANJA DE LA PARROQUIA MALACATOS, DEL CANTON LOJA Y PROVINCIA DE LOJA"						
OBRA : ESTUDIO GEOTECNICO						
UBICACIÓN : MALACATOS- SAUCE						
OPERADOR : O.V			MUESTRA : 3			
FECHA : MARZO-2020			PROFUNDIDAD 2.00 m			
	GOLPES	W HM.(gr)	W SECO (gr)	W CAPS (gr)	w %	RESULTADO%
1.- CONTENIDO HUMEDAD		67.32 73.44	58.09 61.83	27.53 24.05	30.20 30.73	30.47
2.- LIM. LIQUIDO	33 27 23 17	43.98 45.02 42.86 41.68	37.90 39.30 37.81 35.96	25.42 27.82 27.96 25.19	48.72 49.83 51.27 53.11	50.54
3.- LIMITE PLASTICO		32.84 32.68	31.83 31.24	27.62 25.33	23.99 24.37	24.18
4.- GRANULOMETRIA	5.- CLASIFICACION.-					
PESO INICIAL DE CALCULO:		179.5 gr		GRAVA= 0.00 % ARENA= 33.90 % FINOS= 66.10 %		
TAMIZ	PESO R (gr)	% R.A.	% PASA	LL = 51.00 % LP = 24.00 % IP = 27.00 % cu = 26.20 cc = 0.52		
1 1/2"	0.00	0.00	100	CLASIFICACION: SUCS = CH1 Arcilla de alta plasticidad arenosa AASHTO= A-7-6 IG 17 Suelos arcillosos Regular a Pobre		
1"	0.00	0.00	100			
3/4"	0.00	0.00	100			
1/2"	0.00	0.00	100			
3/8"	0.00	0.00	100			
No. 4	0.00	0.00	100			
No. 10	0.77	0.56	99			
No. 40	13.72	10.53	89			
No. 200	32.15	33.90	66			
COLOR : CAFÉ						





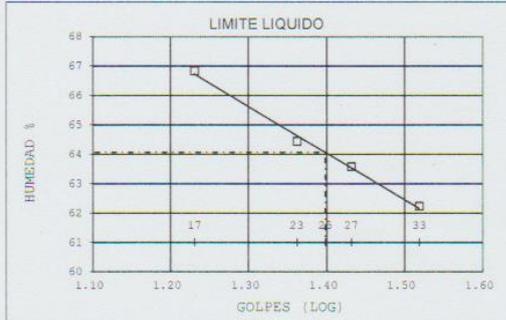
ESTSUELCON CIA. LTDA.

ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN

ASTM D2487-AASHTO 3282 - 2487

PROYECTO : "ESTUDIO GEOLOGICO GEOTECNICO, DEL DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR EL SAUCE-LA GRANJA DE LA PARROQUIA MALACATOS, DEL CANTON LOJA Y PROVINCIA DE LOJA"						
OBRA : ESTUDIO GEOTECNICO						
UBICACIÓN : MALACATOS- SAUCE						
OPERADOR : O.V			MUESTRA : 3			
FECHA : MARZO-2020			PROFUNDIDAD 4.00 m			
	GOLPES	W HM. (gr)	W SECO (gr)	W CAPS (gr)	w %	RESULTADO%
1.- CONTENIDO HUMEDAD		73.16	60.23	24.84	36.23	36.61
		68.51	57.35	27.18	36.99	
2.- LIM. LIQUIDO	33	42.60	36.52	26.75	62.23	64.07
	27	43.16	36.44	25.87	63.58	
	23	41.48	35.14	25.30	64.43	
	17	40.93	35.41	27.15	66.83	
3.- LIMITE PLASTICO		31.85	30.67	26.49	28.23	28.20
		30.95	29.86	25.99	28.17	
4.- GRANULOMETRIA				5.- CLASIFICACION.-		
PESO INICIAL DE CALCULO:		240.0 gr		GRAVA= 0.86 %		
				ARENA= 7.74 %		
				FINOS= 91.40 %		
TAMIZ	PESO R (gr)	% R.A.	% PASA	LL = 64.00 %		
1 1/2"	0.00	0.00	100	LP = 28.00 %		
1"	0.00	0.00	100	IP = 36.00 %		
3/4"	0.00	0.00	100	cu 10.61		
1/2"	0.00	0.00	100	cc 0.62		
3/8"	1.51	0.86	99	CLASIFICACION:		
No. 4	0.00	0.86	99	SUCS = CH1		
No. 10	3.88	3.07	97	Arcilla de alta plasticidad		
No. 40	3.51	5.07	95	AASHTO= A-7-6 IG 38		
No. 200	6.20	8.60	91	Suelos arcillosos		
COLOR : CAFÉ		Regular a Pobre				





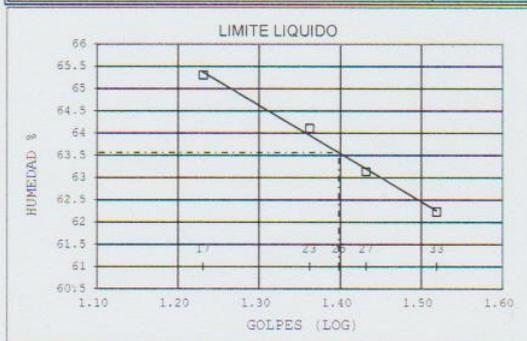
ESTSUELCON CIA. LTDA.

ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN

ASTM D2487-AASHTO 3282 - 2487

PROYECTO	: "ESTUDIO GEOLOGICO GEOTECNICO, DEL DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR EL SAUCE-LA GRANJA DE LA PARROQUIA MALACATOS, DEL CANTON LOJA Y PROVINCIA DE LOJA"					
OBRA	: ESTUDIO GEOTECNICO					
UBICACIÓN	: MALACATOS- SAUCE					
OPERADOR	: O.V			MUESTRA :3		
FECHA	: MARZO-2020			PROFUNDIDAD 6.00 m		
	GOLPES	W HM. (gr)	W SECO (gr)	W CAPS (gr)	w %	RESULTADOS
1.- CONTENIDO HUMEDAD		63.25	54.48	27.94	33.04	33.35
		60.15	51.20	24.60	33.65	
2.- LIM. LIQUIDO	33	40.28	34.76	25.89	62.23	
	27	41.90	35.65	25.75	63.13	63.56
	23	42.29	35.70	25.42	64.11	
	17	38.74	33.15	24.59	65.30	
3.- LIMITE PLASTICO		31.94	31.00	27.59	27.57	27.29
		31.32	30.35	26.76	27.02	
4.- GRANULOMETRIA:	5.- CLASIFICACION.-					
PESO INICIAL DE CALCULO:	284.0 gr		GRAVA= 2.18 %			
TAMIZ	PESO R (gr)	% R.A.	% PASA	ARENA= 10.09 %		
1 1/2"	0.00	0.00	100	FINOS= 87.72 %		
1"	0.00	0.00	100	LL = 64.00 %		
3/4"	0.00	0.00	100	LP = 27.00 %		
1/2"	0.00	0.00	100	IP = 37.00 %		
3/8"	1.70	0.80	99	cu 11.72		
No. 4	2.95	2.18	98	cc 0.61		
No. 10	2.70	3.45	97	CLASIFICACION:		
No. 40	5.66	6.11	94	SUCS = CH1		
No. 200	13.14	12.28	88	Arcilla de alta plasticidad		
COLOR : CAFÉ			AASHTO= A-7-6 IG 37			
			Suelos arcillosos			
			Regular a Pobre			



[Handwritten Signature]
 ESTSUELCON CIA. LTDA.
 LABORATORIO



ESTSUELCON CIA. LTDA.
ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

RESUMEN DE RESULTADOS Y COLUMNA ESTRATIGRÁFICA

PROYECTO: "ESTUDIO GEOLOGICO GEOTECNICO, DEL DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR EL SAUCE-LA GRANJA DE LA PARROQUIA MALACATOS, DEL CANTON LOJA Y PROVINCIA DE LOJA"

OBRA: ESTUDIO GEOTECNICO
SOLICITADO POR: SR. CARLOS BERMEO
REALIZADO POR: ING. OVIDIO CASTILLO J.

POZO: 1

PROF. (m)	STANDARD PENETRATION TEST (S.P.T.)					CLASIFICACIÓN S.U.C.S.							Perfil estratigráfico	Descripción del Suelo	Consistencia (Suelos Arcillosos)	Comacidad Relativa (arena)	
	N.F. (m)	GRÁFICO DE GOLPES DE SPT				W (%)	LIMITES ATTERBERG			GRANULOMETRIA							SUCS
		15	30	45	N SPT		L.L.	L.P.	I.P.	G	A	F					
0																	
1.0	3	4	4	8		12.7	62	27	35	2	30	69	CH1	Arcilla de alta plasticidad con arena	Media		
2.0	4	6	6	12											Firme		
3.0	8	9	9	18		13.4	41	22	19	15	24	62	CL	Arcilla de baja plasticidad con arena	Firme		
4.0	10	12	12	24											Muy firme		
5.0	16	19	22	41		5.9	28	18	10	8	19	72	CL	Arcilla de baja plasticidad con arena	Dura		
6.0	19	28	38	66											Dura		

PERFORAC. TOTAL: 6 m.	LEYENDAS:	Perforación destructiva	Limo	Arena	Bloque
NIVEL FREÁTICO: - m.		Nivel Freático	Arcilla	Grava	

[Handwritten Signature]
Ing. Ovidio Castillo J.
CONSULTOR



ESTSUELCON CIA. LTDA.

ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

RESUMEN DE RESULTADOS Y COLUMNA ESTRATIGRÁFICA

PROYECTO: "ESTUDIO GEOLOGICO GEOTECNICO, DEL DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR EL SAUCE-LA GRANJA DE LA PARROQUIA MALACATOS, DEL CANTON LOJA Y PROVINCIA DE LOJA"

OBRA: ESTUDIO GEOTECNICO
 SOLICITADO POR: SR. CARLOS BERMEO
 REALIZADO POR: ING. OVIDIO CASTILLO J.

POZO: 2

PROF. (m)	STANDARD PENETRATION TEST (S.P.T.)					CLASIFICACIÓN S.U.C.S.							Perfil estratigráfico Símbolo	Descripción del Suelo	Consistencia (Suelos Arcillosos)	Compatibilidad Relativa (arcillas)					
	N.F.	15	30	45	N SPT	GRÁFICO DE GOLPES DE SPT				W (%)	LÍMITES ATTERBERG						GRANULOMETRÍA			SUCS	
						0	20	40	60		80	L.L.					L.P.	I.P.	G		A
0																					
1.0	3	3	4	7							30	51	24	27	0	34	66	CH1	Arcilla de alta plasticidad con arena	Mucha	
2.0	4	4	5	9																Mucha	
3.0	4	8	8	16							37	64	28	36	1	8	91	CH1	Arcilla de alta plasticidad con arena	Firme	
4.0	8	10	10	20																Firme	
5.0	10	14	14	28							33	64	27	37	2	10	88	CH1	Arcilla de alta plasticidad con arena	Muy firme	
6.0	12	16	18	34																Dura	

PERFORAC. TOTAL: 6 m.
 NIVEL FREÁTICO: - m.

LEYENDAS:

- Perforación destructiva
- Limo
- Arena
- Bloque
- Nivel Freático
- Arcilla
- Grava

Ing. Ovidio Castillo J.
 CONSULTOR

Tele-fax: 2540594. Celular: 093883061-0999692335-0980253180 Email: estsuelcon@gmail.com



ESTSUELCON CIA. LTDA.

ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

RESUMEN DE RESULTADOS Y COLUMNA ESTRATIGRÁFICA

PROYECTO: "ESTUDIO GEOLOGICO GEOTECNICO, DEL DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR EL SAUCE-LA GRANJA DE LA PARROQUIA MALACATOS, DEL CANTON LOJA Y PROVINCIA DE LOJA"

OBRA: ESTUDIO GEOTECNICO
 SOLICITADO POR: SR. CARLOS BERMEO
 REALIZADO POR: ING. OVIDIO CASTILLO J.

POZO: 3

PROF. (m)	STANDARD PENETRATION TEST (S.P.T.)				CLASIFICACIÓN S.U.C.S.							Perfil estratigráfico Símbolo	Descripción del Suelo	Consistencia (según Arcillas)	Comacidad Relativa (arena)	
	N.F. (m)	GRÁFICO DE GOLPES DE SPT			W (%)	LÍMITES ATTERBERG			GRANULOMETRÍA							SUCS
		15	30	45		L.L.	L.P.	I.P.	G	A	F					
0																
1.0	3	3	4	7	30	51	24	27	0	34	66	CH1	Arcilla de alta plasticidad con arena	Meda		
2.0	4	4	5	9										Meda		
3.0	4	8	8	16	37	64	28	36	1	8	91	CH1	Arcilla de alta plasticidad con arena	Firme		
4.0	8	10	10	20										Firme		
5.0	10	14	14	28	33	64	27	37	2	10	88	CH1	Arcilla de alta plasticidad con arena	Muy firme		
6.0	12	16	18	34										Dura		

PERFORAC. TOTAL: 6 m.
 NIVEL FREÁTICO: - m.

LEYENDAS:

- Perforación destructiva
- Limo
- Arena
- Bloque
- Nivel Freático
- Arcilla
- Grava

Ing. Ovidio Castillo J.
 CONSULTOR

Tele-fax: 2540594. Celular: 093883061-0999692335-0980253180 Email: estsuelcon@gmail.com



ESTSUELCON CIA. LTDA.
ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

RESUMEN DE DATOS DE CAMPO, DE LABORATORIO Y RESISTENCIAS OBTENIDAS

PROYECTO: "ESTUDIO GEOLOGICO GEOTECNICO, DEL DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR EL SAUCE-LA GRANJA DE LA PARROQUIA MALACATOS, DEL CANTÓN LOJA Y PROVINCIA DE LOJA"
 OBRA: ESTUDIO GEOTÉCNICO
 SOLICITADO POR: SR. CARLOS BERMEO
 REALIZADO POR: ING. OVIDIO CASTILLO J.

POZO	PROF. m.	C. H. %	L. L. %	L. P. %	I. P. %	GRAVA %	ARENA %	FINOS %	CLASIFIC		GOLPES N			N golpes	NS golpes	qu Kg/cm ²	qu _{lneta} Kg/cm ²	qu _{dlneta} Kg/cm ²	c Kg/cm ²	Ø "
									SUCS	AASHTO	15 cm	30 cm	45 cm							
1	1.00										3	4	4	8	8	1.09	2.80	0.9	0.55	
1	2.00	12.65	62	27	35	1.57	29.83	68.60	CH1	A-7-6	4	6	6	12	12	1.64	3.68	1.2	0.82	
1	3.00										8	9	9	18	17	2.21	4.97	1.7	1.10	
1	4.00	13.41	41	22	19	14.71	23.68	61.61	CL	A-7-6	10	12	12	24	23	3.06	6.89	2.3	1.53	
1	5.00										16	19	22	41	37	4.87	12.52	4.2	2.44	
1	6.00	5.90	28	18	10	8.37	19.48	72.15	CL	A-4	19	28	38	66	55	7.36	18.91	6.3	3.68	
2	1.00										3	4	4	8	8	1.06	2.73	0.9	0.53	
2	2.00	17.01	38	21	17	0.48	7.80	91.72	CL	A-6	4	5	8	13	13	1.73	4.43	1.5	0.86	
2	3.00										8	8	10	18	16	2.15	5.53	1.8	1.08	
2	4.00	19.36	52	27	25	17.27	18.33	64.40	CH1	A-7-6	11	14	16	30	28	3.73	9.58	3.2	1.86	
2	5.00										18	25	38	63	55	7.29	18.74	6.2	3.65	
2	6.00	19.07	44	27	17	24.24	31.96	43.80	ML	A-7-6	40	56	58	114	93	12.38	31.82	10.6	6.19	
3	1.00										3	3	4	7	7	0.95	2.45	0.8	0.48	
3	2.00	30.47	51	24	27	0.00	33.90	66.10	CH1	A-7-6	4	4	5	9	9	1.23	3.15	1.1	0.61	
3	3.00										4	8	8	16	15	1.96	5.05	1.7	0.98	
3	4.00	36.61	64	28	36	0.86	7.74	91.40	CH1	A-7-6	8	10	10	20	19	2.55	6.56	2.2	1.28	
3	5.00										10	14	14	28	25	3.33	8.55	2.8	1.66	
3	6.00	33.35	64	27	37	2.18	10.09	87.73	CH1	A-7-6	12	16	18	34	28	3.79	9.74	3.2	1.90	



Tele-fax: 2540594. Celular: 093883061-0999692335-0980253180 Email: estsuelcon@gmail.com

ANEXO 4: FORMATOS PARA MOVIMIENTOS EN MASA

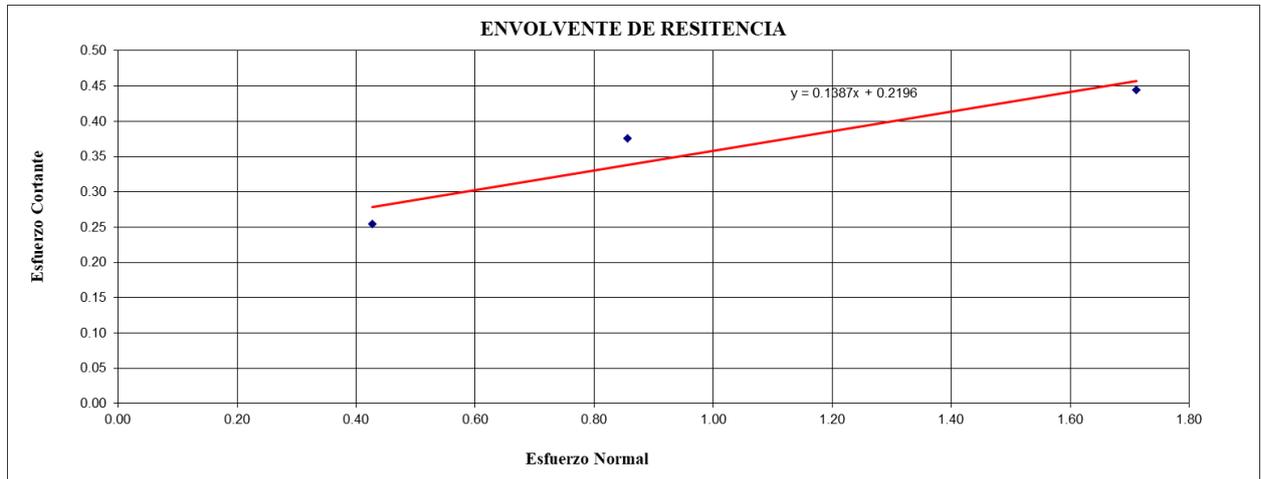
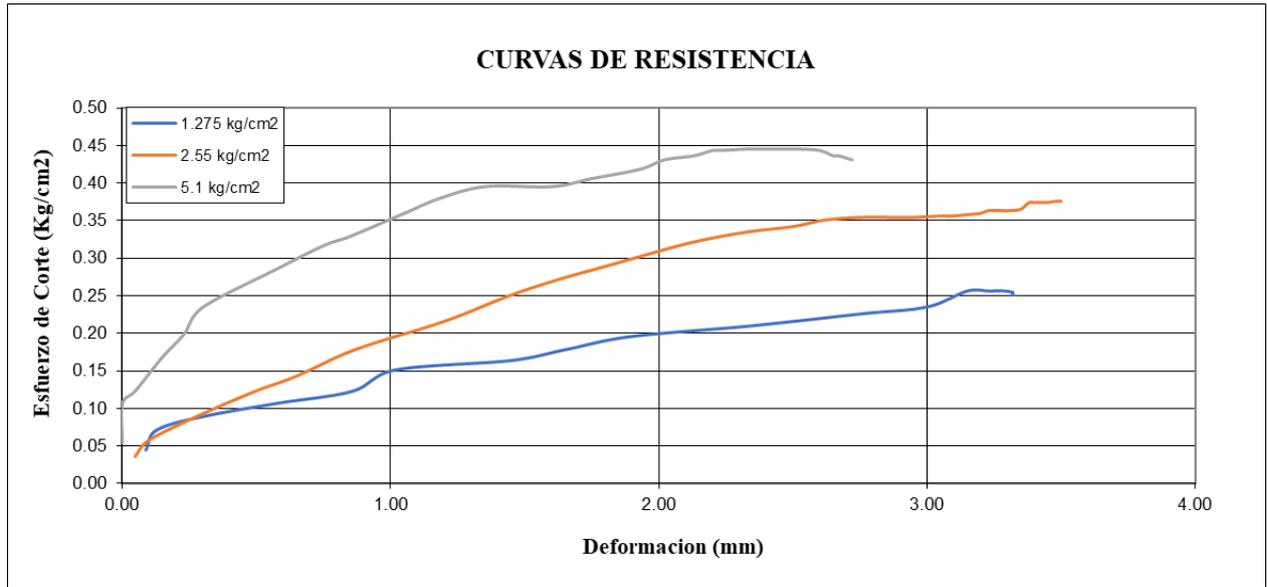
ANEXO 5: RESULTADOS DE ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

ENSAYO 1								
DIAMETRO DEL ANILLO =	6.16	cm						
AREA =	29.8015256	cm ²						
ALTURA DEL ANILLO =	2	cm						
VOLUMEN DEL SUELO =	59.6030512	cm ³						
SUELO+Wmolde =	147.05	gr						
Wmolde =	41.75	gr						
Wsuelo =	105.3	gr						
DENSIDAD DEL SUELO	1.766688079	gr/cm ³						
No	Tiempo para velocidad 1 mm/m	Lectura de deformimetro horizontal	Lectura del deformimetro vertical (+-) (mm)	Deformimetro de carga (mm)	Area corregida	Deformacion (cm)	Fuerza de corte (kgf)	Esfuerzo cortante
	6	0	0.9	2.5	29.8015256	0.09	1.325	0.044460811
	12	10	1.3	4	29.8015256	0.13	2.12	0.071137298
	24	20	3	5	29.8015256	0.3	2.65	0.088921622
	36	40	5.8	6	29.8015256	0.58	3.18	0.106705947
	45	60	8.6	6.9	29.8015256	0.86	3.657	0.122711839
	1	100	10.2	8.5	29.8015256	1.02	4.505	0.151166758
	1.3	150	14.5	9.2	29.8015256	1.45	4.876	0.163615785
	1.45	175	16.5	10	29.8015256	1.65	5.3	0.177843244
	2	200	19	11	29.8015256	1.9	5.83	0.195627569
	2.3	300	23.5	11.8	29.8015256	2.35	6.254	0.209855028
	3	350	27.6	12.7	29.8015256	2.76	6.731	0.22586092
	3.5	400	30	13.2	29.8015256	3	6.996	0.234753083
	4	450	31.5	14.4	29.8015256	3.15	7.632	0.256094272
	5	500	32.3	14.4	29.8015256	3.23	7.632	0.256094272
	5.5	550	32.9	14.4	29.8015256	3.29	7.632	0.256094272
			33.2	14.3	29.8015256	3.32	7.579	0.254315839
			33.2	14.3	29.8015256	3.32	7.579	0.254315839
			33.2	14.3	29.8015256	3.32	7.579	0.254315839
			33.2	14.3	29.8015256	3.32	7.579	0.254315839
			33.2	14.3	29.8015256	3.32	7.579	0.254315839
			33.2	14.3	29.8015256	3.32	7.579	0.254315839
			33.2	14.3	29.8015256	3.32	7.579	0.254315839
			33.2	14.3	29.8015256	3.32	7.579	0.254315839
			33.2	14.2	29.8015256	3.32	7.526	0.252537407
			33.2	14.2	29.8015256	3.32	7.526	0.252537407
			33.2	14.1	29.8015256	3.32	7.473	0.250758975
			33.2	14.1	29.8015256	3.32	7.473	0.250758975
			33.2	14.1	29.8015256	3.32	7.473	0.250758975
			33.2	14.1	29.8015256	3.32	7.473	0.250758975
			33.2	14.1	29.8015256	3.32	7.473	0.250758975
			33.2	14.1	29.8015256	3.32	7.473	0.250758975
			33.2	14.1	29.8015256	3.32	7.473	0.250758975

ENSAYO 2								
DIAMETRO DEL ANILLO =	6.16	cm						
AREA =	29.8015256	cm2						
ALTURA DEL ANILLO =	2	cm						
VOLUMEN DEL SUELO =	59.6030512	cm3						
SUELO+Wmolde =	147.89	gr						
Wmolde =	42.91	gr						
Wsuelo =	104.98	gr						
DENSIDAD DEL SUELO	1.761319226	gr/cm3						
No	Tiempo para velocidad 1 mm/m	Lectura de deformimetro horizontal	Lectura del deformimetro vertical (+-)(mm)	Deformimetro de carga (mm)	Area corregida	Deformacion (cm)	Fuerza de corte (kgf)	Esfuerzo cortante
	6	0	0.5	2	29.8015256	0.05	1.06	0.03556865
	12	10	1	3.2	29.8015256	0.1	1.696	0.05690984
	24	20	2.8	5	29.8015256	0.28	2.65	0.08892162
	36	40	5	6.9	29.8015256	0.5	3.657	0.12271184
	45	60	6.5	8	29.8015256	0.65	4.24	0.1422746
	1	100	8.7	10	29.8015256	0.87	5.3	0.17784324
	1.3	150	12	12.1	29.8015256	1.2	6.413	0.21519033
	1.45	175	14.4	14	29.8015256	1.44	7.42	0.24898054
	2	200	16.2	15.2	29.8015256	1.62	8.056	0.27032173
	2.3	300	18.5	16.5	29.8015256	1.85	8.745	0.29344135
	3	350	21.2	18	29.8015256	2.12	9.54	0.32011784
	3.5	400	23.3	18.8	29.8015256	2.33	9.964	0.3343453
	4	450	25	19.2	29.8015256	2.5	10.176	0.34145903
	5	500	26.2	19.7	29.8015256	2.62	10.441	0.35035119
	5.5	550	27.5	19.9	29.8015256	2.75	10.547	0.35390806
			28.8	19.9	29.8015256	2.88	10.547	0.35390806
			29.5	19.9	29.8015256	2.95	10.547	0.35390806
			30.5	20	29.8015256	3.05	10.6	0.35568649
			31	20	29.8015256	3.1	10.6	0.35568649
			31.5	20.1	29.8015256	3.15	10.653	0.35746492
			32	20.2	29.8015256	3.2	10.706	0.35924335
			32.3	20.4	29.8015256	3.23	10.812	0.36280022
			32.8	20.4	29.8015256	3.28	10.812	0.36280022
			33.1	20.4	29.8015256	3.31	10.812	0.36280022
			33.5	20.5	29.8015256	3.35	10.865	0.36457865
			33.8	21	29.8015256	3.38	11.13	0.37347081
			34	21	29.8015256	3.4	11.13	0.37347081
			34.1	21	29.8015256	3.41	11.13	0.37347081
			34.5	21	29.8015256	3.45	11.13	0.37347081
			34.5	21	29.8015256	3.45	11.13	0.37347081
			34.8	21.1	29.8015256	3.48	11.183	0.37524925
			35	21.1	29.8015256	3.5	11.183	0.37524925

ENSAYO 3								
DIAMETRO DEL ANILLO =		6.16	cm					
AREA =		29.8015256	cm ²					
ALTURA DEL ANILLO =		2	cm					
VOLUMEN DEL SUELO =		59.6030512	cm ³					
SUELO+Wmolde =		144.49	gr					
Wmolde =		42.9	gr					
Wsuelo =		101.59	gr					
DENSIDAD DEL SUELO		1.70444294	gr/cm ³					
No	Tiempo para velocidad 1 mm/m	Lectura de deformimetro horizontal	Lectura del deformimetro vertical (+-)(mm)	Deformimetro de carga (mm)	Area corregida	Deformacion (cm)	Fuerza de corte (kgf)	Esfuerzo cortante
	6	0	0	3.1	29.8015256	0	1.643	0.05513141
	12	10	0	6	29.8015256	0	3.18	0.10670595
	24	20	0.5	7	29.8015256	0.05	3.71	0.12449027
	36	40	1.5	9.5	29.8015256	0.15	5.035	0.16895108
	45	60	2.3	11.2	29.8015256	0.23	5.936	0.19918443
	1	100	3	13.2	29.8015256	0.3	6.996	0.23475308
	1.3	150	5.8	16.1	29.8015256	0.58	8.533	0.28632762
	1.45	175	7.5	17.8	29.8015256	0.75	9.434	0.31656097
	2	200	8.5	18.5	29.8015256	0.85	9.805	0.32901
	2.3	300	10.5	20.2	29.8015256	1.05	10.706	0.35924335
	3	350	11.8	21.3	29.8015256	1.18	11.289	0.37880611
	3.5	400	13.5	22.2	29.8015256	1.35	11.766	0.394812
	4	450	16	22.2	29.8015256	1.6	11.766	0.394812
	5	500	17.5	22.8	29.8015256	1.75	12.084	0.4054826
	5.5	550	19.3	23.5	29.8015256	1.93	12.455	0.41793162
			20.2	24.2	29.8015256	2.02	12.826	0.43038065
			21.3	24.5	29.8015256	2.13	12.985	0.43571595
			22	24.9	29.8015256	2.2	13.197	0.44282968
			22.3	24.9	29.8015256	2.23	13.197	0.44282968
			23.2	25	29.8015256	2.32	13.25	0.44460811
			23.8	25	29.8015256	2.38	13.25	0.44460811
			24.5	25	29.8015256	2.45	13.25	0.44460811
			25	25	29.8015256	2.5	13.25	0.44460811
			25.3	25	29.8015256	2.53	13.25	0.44460811
			26	24.9	29.8015256	2.6	13.197	0.44282968
			26.5	24.5	29.8015256	2.65	12.985	0.43571595
			26.7	24.5	29.8015256	2.67	12.985	0.43571595
			27.2	24.2	29.8015256	2.72	12.826	0.43038065

Peso		Peso x 10	Área corregida	(Pesox10)/Área corregida	Esfuerzo cortante máximo
1.275	kg	12.75	29.8015256	0.427830446	0.254315839
2.55	kg	25.5	29.8015256	0.855660893	0.375249246
5.1	kg	51	29.8015256	1.711321785	0.444608111



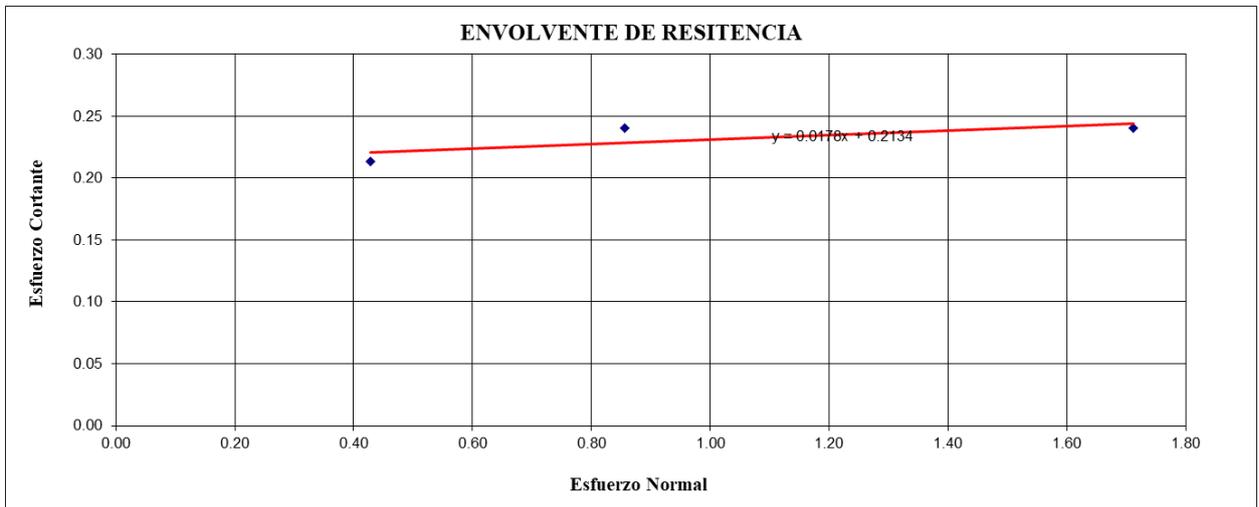
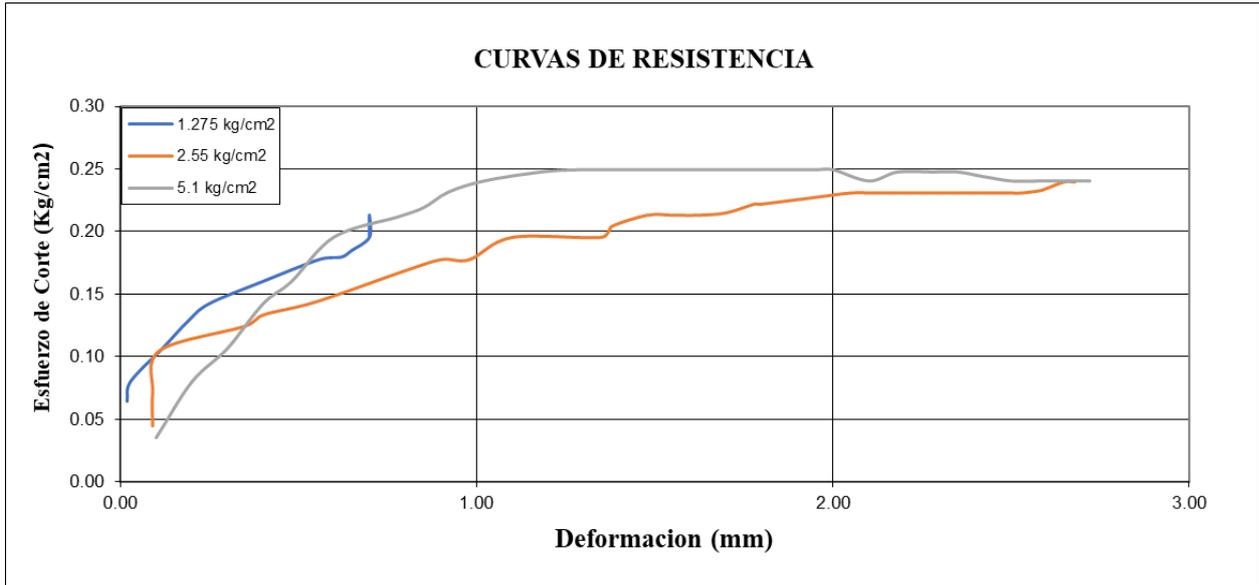
ÁNGULO DE FRICCIÓN	7.896544711
COHESIÓN	0.2196

ESNAYO 1								
DIAMETRO DEL ANILLO =		6.16	cm					
AREA =		29.8015256	cm2					
ALTURA DEL ANILLO =		2	cm					
VOLUMEN DEL SUELO =		59.6030512	cm3					
SUELO+Wmolde =		145.54	gr					
Wmolde =		41.75	gr					
Wsuelo =		103.79	gr					
DENSIDAD DEL SUELO		1.741353805	gr/cm3					
No	Tiempo para velocidad 1 mm/m	Lectura de deformimetro horizontal	Lectura del deformimetro vertical (+-) (mm)	Deformimetro de carga (mm)	Área corregida	Deformacion (cm)	Fuerza de corte (kgf)	Esfuerzo cortante
	6	0	0.2	3.6	29.8015256	0.02	1.908	0.0640236
	12	10	0.3	4.5	29.8015256	0.03	2.385	0.08002946
	24	20	1.2	6	29.8015256	0.12	3.18	0.10670595
	36	40	1.9	7.2	29.8015256	0.19	3.816	0.12804714
	45	60	2.5	8	29.8015256	0.25	4.24	0.1422746
	1	100	4	9	29.8015256	0.4	4.77	0.16005892
	1.3	150	5.6	10	29.8015256	0.56	5.3	0.17784324
	1.45	175	6.2	10.1	29.8015256	0.62	5.353	0.17962168
	2	200	6.5	10.4	29.8015256	0.65	5.512	0.18495697
	2.3	300	7	11	29.8015256	0.7	5.83	0.19562757
	3	350	7	12	29.8015256	0.7	6.36	0.21341189
	3.5	400	7	12	29.8015256	0.7	6.36	0.21341189
	4	450	7	12	29.8015256	0.7	6.36	0.21341189
	5	500	7	12	29.8015256	0.7	6.36	0.21341189
	5.5	550	7	12	29.8015256	0.7	6.36	0.21341189
			7	12	29.8015256	0.7	6.36	0.21341189
			7	12	29.8015256	0.7	6.36	0.21341189
			7	12	29.8015256	0.7	6.36	0.21341189
			7	11.5	29.8015256	0.7	6.095	0.20451973
			7	11.5	29.8015256	0.7	6.095	0.20451973
			7	11.5	29.8015256	0.7	6.095	0.20451973
			7	11	29.8015256	0.7	5.83	0.19562757
			7	11	29.8015256	0.7	5.83	0.19562757
			7	11	29.8015256	0.7	5.83	0.19562757
			7	11	29.8015256	0.7	5.83	0.19562757
			7	11	29.8015256	0.7	5.83	0.19562757
			7	11	29.8015256	0.7	5.83	0.19562757

ENSAYO 2								
DIAMETRO DEL ANILLO =		6.16	cm					
AREA =		29.8015256	cm2					
ALTURA DEL ANILLO =		2	cm					
VOLUMEN DEL SUELO =		59.6030512	cm3					
SUELO+Wmolde =		152.03	gr					
Wmolde =		42.91	gr					
Wsuelo =		109.12	gr					
DENSIDAD DEL SUELO		1.830778757	gr/cm3					
No	Tiempo para velocidad 1 mm/m	Lectura de deformimetro horizontal	Lectura del deformimetro vertical (+-) (mm)	Deformimetro de carga (mm)	Área corregida	Deformacion (cm)	Fuerza de corte (kgf)	Esfuerzo cortante
	6	0	0.9	2.5	29.8015256	0.09	1.325	0.04446081
	12	10	0.9	4	29.8015256	0.09	2.12	0.0711373
	24	20	1.1	5.9	29.8015256	0.11	3.127	0.10492751
	36	40	3.5	7	29.8015256	0.35	3.71	0.12449027
	45	60	4	7.5	29.8015256	0.4	3.975	0.13338243
	1	100	5.5	8.1	29.8015256	0.55	4.293	0.14405303
	1.3	150	8	9.5	29.8015256	0.8	5.035	0.16895108
	1.45	175	9	10	29.8015256	0.9	5.3	0.17784324
	2	200	9.8	10	29.8015256	0.98	5.3	0.17784324
	2.3	300	11	11	29.8015256	1.1	5.83	0.19562757
	3	350	13.5	11	29.8015256	1.35	5.83	0.19562757
	3.5	400	13.8	11.5	29.8015256	1.38	6.095	0.20451973
	4	450	14.8	12	29.8015256	1.48	6.36	0.21341189
	5	500	15.5	12	29.8015256	1.55	6.36	0.21341189
	5.5	550	16.2	12	29.8015256	1.62	6.36	0.21341189
			17	12.1	29.8015256	1.7	6.413	0.21519033
			17.8	12.5	29.8015256	1.78	6.625	0.22230406
			18	12.5	29.8015256	1.8	6.625	0.22230406
			19.5	12.8	29.8015256	1.95	6.784	0.22763935
			20.5	13	29.8015256	2.05	6.89	0.23119622
			21.2	13	29.8015256	2.12	6.89	0.23119622
			22.8	13	29.8015256	2.28	6.89	0.23119622
			23.8	13	29.8015256	2.38	6.89	0.23119622
			23.8	13	29.8015256	2.38	6.89	0.23119622
			24.3	13	29.8015256	2.43	6.89	0.23119622
			24.5	13	29.8015256	2.45	6.89	0.23119622
			25	13	29.8015256	2.5	6.89	0.23119622
			25.3	13	29.8015256	2.53	6.89	0.23119622
			25.8	13.1	29.8015256	2.58	6.943	0.23297465
			26	13.2	29.8015256	2.6	6.996	0.23475308
			26.5	13.5	29.8015256	2.65	7.155	0.24008838
			26.8	13.5	29.8015256	2.68	7.155	0.24008838

ENSAYO 2								
DIAMETRO DEL ANILLO =	6.16	cm						
AREA =	29.8015256	cm ²						
ALTURA DEL ANILLO =	2	cm						
VOLUMEN DEL SUELO =	59.6030512	cm ³						
SUELO+Wmolde =	149.85	gr						
Wmolde =	42.91	gr						
Wsuelo =	106.94	gr						
DENSIDAD DEL SUELO	1.794203448	gr/cm ³						
No	Tiempo para velocidad 1 mm/m	Lectura de deformimetro horizontal	Lectura del deformimetro vertical (+-) (mm)	Deformimetro de carga (mm)	Área corregida	Deformacion (cm)	Fuerza de corte (kgf)	Esfuerzo cortante
	6	0	1	2	29.8015256	0.1	1.06	0.03556865
	12	10	2	4.5	29.8015256	0.2	2.385	0.08002946
	24	20	3	6	29.8015256	0.3	3.18	0.10670595
	36	40	4	8	29.8015256	0.4	4.24	0.1422746
	45	60	4.8	9	29.8015256	0.48	4.77	0.16005892
	1	100	6	11	29.8015256	0.6	5.83	0.19562757
	1.3	150	7.8	11.9	29.8015256	0.78	6.307	0.21163346
	1.45	175	8.5	12.3	29.8015256	0.85	6.519	0.21874719
	2	200	9.2	13	29.8015256	0.92	6.89	0.23119622
	2.3	300	10.2	13.5	29.8015256	1.02	7.155	0.24008838
	3	350	11.8	13.9	29.8015256	1.18	7.367	0.24720211
	3.5	400	12.8	14	29.8015256	1.28	7.42	0.24898054
	4	450	13.8	14	29.8015256	1.38	7.42	0.24898054
	5	500	15	14	29.8015256	1.5	7.42	0.24898054
	5.5	550	15.9	14	29.8015256	1.59	7.42	0.24898054
			17	14	29.8015256	1.7	7.42	0.24898054
			18.1	14	29.8015256	1.81	7.42	0.24898054
			19	14	29.8015256	1.9	7.42	0.24898054
			19.5	14	29.8015256	1.95	7.42	0.24898054
			20	14	29.8015256	2	7.42	0.24898054
			21	14	29.8015256	2.1	7.42	0.24008838
			21.8	13.9	29.8015256	2.18	7.367	0.24720211
			22.8	13.9	29.8015256	2.28	7.367	0.24720211
			23.5	13.9	29.8015256	2.35	7.367	0.24720211
			24.2	13.7	29.8015256	2.42	7.261	0.24364524
			25	13.5	29.8015256	2.5	7.155	0.24008838
			25.8	13.5	29.8015256	2.58	7.155	0.24008838
			26.5	13.5	29.8015256	2.65	7.155	0.24008838
			27.2	13.5	29.8015256	2.72	7.155	0.24008838

Peso		Peso x 10	Área corregida	(Pesox10)/ Área corregida	Esfuerzo cortante máximo
1.275	kg	12.75	29.8015256	0.42783045	0.21341189
2.55	kg	25.5	29.8015256	0.85566089	0.24008838
5.1	kg	51	29.8015256	1.71132179	0.24008838



ÁNGULO DE FRICCIÓN	1.019757184
COHESIÓN	0.2134

ANEXO 6: MAPAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

Anexo 6.1. Mapa topográfico y cortes topográficos del deslizamiento en estudio.

Anexo 6.2. Mapa geológico regional del área de estudio.

Anexo 6.3. Mapa litológico superficial y cortes geológicos del deslizamiento en estudio.

Anexo 6.4. Mapa de pendientes del deslizamiento en estudio.

Anexo 6.5. Mapa geomorfológico del deslizamiento en estudio.

Anexo 6.6. Mapa de flujos superficiales estacionarios del deslizamiento en estudio.