



1859



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

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

Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental Y Ordenamiento Territorial

Estudio geológico – geotécnico previo a la construcción del relleno sanitario en el sector La Sangui, cantón Celica, provincia de Loja.

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del título de Ingeniera en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial.

AUTORA:

Evelyn Elizabeth Aguilar Velazquez

DIRECTOR:

Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo Mg. Sc

Loja – Ecuador

2023

Certificación

Loja, 06 de septiembre de 2023

Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo Mg. Sc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Estudio geológico – geotécnico previo a la construcción del relleno sanitario en el sector La Sangui, cantón Celica, provincia de Loja**, previo a la obtención del título de **Ingeniera en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**, de la autoría del estudiante **Evelyn Elizabeth Aguilar Velazquez**, , con **cédula de identidad Nro. 1105633281** , una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.

Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo Mg. Sc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Evelyn Elizabeth Aguilar Velazquez**, declaro ser autora del presente Trabajo de Titulación y eximo a la Universidad Nacional de Loja y sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente, acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula de identidad: 1105633281

Fecha: 13 de diciembre de 2023

Correo electrónico: evelin.aguilar@unl.edu.ec

Teléfono: 0939168308

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

Yo, **Evelyn Elizabeth Aguilar Velazquez**, declaro ser autora del Trabajo de Titulación denominado: **Estudio geológico – geotécnico previo a la construcción del relleno sanitario en el sector La Sangui, cantón Celica, provincia de Loja**, como requisito para optar al título de: **Ingeniera en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

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

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

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los trece días del mes de diciembre del dos mil veintitrés.

Firma:



Autora: Evelyn Elizabeth Aguilar Velazquez

Cédula de Identidad: 1105633281

Dirección: Loja (Cdla Julio Ordoñez)

Correo electrónico: evelin.aguilar@unl.edu.ec

Teléfono: 0939168308

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo, Mg. Sc.

Dedicatoria

El presente trabajo de investigación está dedicado a Dios porque gracias a él he podido seguir adelante a pesar de las adversidades que se presentaron en el camino.

A mis padres Luis y María por su inagotable apoyo día a día, con su constante amor y fortaleza me impulsaron a cumplir mis metas e hicieron de mí una mejor persona.

A mis perritas Blanquita y Negrita quienes me acompañaron cada día y noche de desvelo.

Evelyn Elizabeth Aguilar Velázquez

Agradecimiento

Mi profundo agradecimiento a Dios por darme la fortaleza, fuerza y constancia para lograr cada objetivo que me propuesto en mi vida.

A mis Padres por el esfuerzo efectuado para que logre tan importante propósito de vida, por enseñarme a nunca rendirme y seguir luchando siempre.

A mi familia por el apoyo para lograr este triunfo tan anhelado, a mis amigos con quien compartí este camino llamado superación, por su aliento, compañía y palabras de apoyo.

Al Ing. Stalin Iván Puglla Mg. Sc. Director de mi Trabajo de Titulación, por haberme guiado y encaminado en el desarrollo del proyecto.

A los docentes de la carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, por haberme formado profesionalmente a lo largo de todos estos años de crecimiento profesional.

Finalmente, a la Universidad Nacional de Loja por brindarme la valiosa oportunidad de formación profesional.

Evelyn Elizabeth Aguilar Velázquez

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas	xii
Índice de figuras	xi
Índice de anexos	xv
1. Título	1
2. Resumen	2
Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco Teórico	6
4.1. Topografía	6
4.1.1. Levantamiento Topográfico	6
4.1.2. Levantamiento Topográfico con cinta métrica.....	6
4.1.3. Levantamiento Topográfico con estación total	7
4.1.4. Levantamiento Topográfico con dron	7
4.2. Geología	8
4.2.1. Geología Estructural.....	9
4.2.1.1. Estructura Primaria.....	9
4.2.1.2. Estructura Secundaria.....	9

4.3. Estudios Geológicos	11
4.3.1. Mapeo Geológico	11
4.4. Hidrología.....	12
4.5. Métodos de Exploración.....	12
4.6. Geofísica.....	14
4.6.1. Sísmica de Refracción	15
4.6.2. Alcances y limitaciones del ensayo.....	15
4.6.3. Propagación y trayectoria de Ondas	16
4.6.4. Ley de refracción.....	16
4.6.5. Equipo de medición.....	17
4.6.6. Fuentes de generación de ondas	18
4.8. Mecánica de suelos.....	21
4.8.1. Resistencia de los suelos	22
4.8.2. Clasificación de Suelos	22
4.9. Ensayos De Laboratorio Para Muestras De Suelo	29
4.9.1. Contenido De Humedad	29
4.9.2. Analisis Granulométrico	29
4.9.3. Límites de Atterberg.....	30
4.9.4. Índice de plasticidad.....	29
4.10. Parámetros Ingenieriles	30
4.10.1. Capacidad Portante del Suelo según Terzaghi	30
4.10.2. Capacidad portante del suelo según Tezcan.....	32
4.10.3. Asentamientos	32
Análisis de asentamientos en suelo	33
Asentamientos en cimentaciones	34
4.10.4. Angulo de corte	35

5. Metodología.....	36
5.1. Descripción General del área de estudio	36
5.1.1. Ubicación del área de estudio.....	36
5.1.2. Acceso	37
5.2. Componente Biofísico.....	38
5.2.1. Climatología y metereologia	38
5.2.1.1. Clima	39
5.2.1.2. Temperatura	39
5.2.1.3. Pluviometría	40
5.3. Materiales y Equipos.....	41
5.4. Metodología	42
5.4.1. Metodología del primer objetivo.....	43
5.4.2. Metodología para el segundo objetivo	48
5.4.3. Metodología para el tercer objetivo	53
6. Resultados	58
6.1. Características Geológicas	58
6.1.1. Topografía.....	58
6.1.2. Pendientes.....	60
6.1.3. Geología Local	62
6.2. Propiedades físico mecánicas de los materiales.....	74
6.2.1. Ensayo de Penetración Estándar SPT.....	74
6.2.2. Sísmica de Refracción.....	79
6.2.3. Corte directo.....	83
6.3. Parámetros Ingenieriles	84
6.3.1. Capacidad Portante.....	84

6.3.2. Asentamientos	85
6.3.3. Angulo de corte	87
7. Discusión	88
8. Conclusiones	95
9. Recomendaciones	97
10. Bibliografía	98
11. Anexos	101

Índice de tablas:

Tabla 1. Estructuras primarias y secundarias.	10
Tabla 2. Métodos de exploración directa	13
Tabla 3. Métodos indirectos de exploración	14
Tabla 4. Alcances y limitaciones del método de refracción sísmica.....	15
Tabla 5. Coordenadas de ubicación de la zona de estudio UTM WGS-84 Zona 17S.....	36
Tabla 6. Coordenadas Geográficas Estación M148 Celica	38
Tabla 7. Coordenadas UTM Estación M148 Celica.....	38
Tabla 8. Temperatura del cantón Celica, año 2006.....	39
Tabla 9. Precipitación Cantón Celica.....	40
Tabla 10. Materiales Empleados	41
Tabla 11. Puntos de ubicación del área de estudio.....	44
Tabla 12. Clasificación de pendientes según DEMEK, 1972	45
Tabla 13. Ensayos en laboratorio realizados a las muestras obtenidas de SPT.....	49
Tabla 14. Consistencia relativa	54
Tabla 15. Comportamiento de suelos en función del IL	54
Tabla 16. Numero de actividad aplicada a los suelos plásticos.....	55
Tabla 17. Criterios para determinar el cambio de volumen	55
Tabla 18. Criterios para determinar el cambio de volumen	55
Tabla 19. Criterios para determinar el potencial expansivo.....	55
Tabla 20. Factores de seguridad para suelos y rocas.....	56
Tabla 21. Clasificación de pendientes	60
Tabla 22. Ubicación de afloramientos encontrados en el área de estudio.....	62
Tabla 23. Ubicación de calicatas	67
Tabla 24. Perfil estratigráfico - calicata 1	68
Tabla 25. Perfil estratigráfico - calicata 2	69
Tabla 26. Coordenadas de ubicación de los SPT	74
Tabla 27. Clasificación y descripción del primer SPT	75
Tabla 28. Clasificación y descripción del segundo SPT	76
Tabla 29. Resumen de ensayos SPT.....	78
Tabla 30. Ubicación de líneas sísmicas.....	79
Tabla 31. Velocidades de onda Vp, espesores y analisis litologico de la linea sismica 1 (Ls-120).....	81

Tabla 32. Parámetros obtenidos para la línea sísmica 1 (Ls-120m).....	81
Tabla 33. Velocidades de onda Vp, espesores y análisis litológico de la línea sísmica 2 (Ls- 80)	83
Tabla 34. Parámetros obtenidos para la línea sísmica 2 (Ls-80m).....	83
Tabla 35. Resumen de los resultados de corte directo.	84
Tabla 36. Capacidad portante en base al SPT según Meyerhof. (1963)	84
Tabla 37. Resultado Consistencia relativa	84
Tabla 38. Resultado de índice de liquidez.....	84
Tabla 39	85
Tabla 40. Capacidad portante líneas sísmicas - Meyerhof.....	85
Tabla 41. Capacidad portante línea sísmica 1 y 2- Tezcan	85
Tabla 42. Módulo de elasticidad	86
Tabla 43. Asentamientos obtenidos con los datos de líneas sísmicas	86
Tabla 44. Angulo de corte para excavaciones en obras de relleno sanitario.....	87

Índice de figuras:

Figura 1. Modelo de dos capas, la inferior de mayor velocidad	16
Figura 2. Propagación de las ondas en un medio de dos capas.....	17
Figura 3. Esquema general del equipo de refracción sísmica	17
Figura 4. Toma muestras. puntazas y elementos del ensayo SPT.....	20
Figura 5. Gráfica de la distribución de los suelos de acuerdo al límite líquido LL, e índice plástico IP, desarrollado por Casagrande.....	22
Figura 6. Línea A, en la carta de plasticidad, que separa arcillas y limos (y suelo orgánico)	23
Figura 7. Línea B en la Carta de plasticidad, que separa los suelos finos de alta y baja (o mediana) plasticidad.....	23
Figura 8. Carta o gráfica clásica de plasticidad.....	25
Figura 9. Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)	26
Figura 10. Diagrama de flujo para la clasificación de suelos orgánicos de grano fino (50% o más pasa el tamiz No. 200)	27
Figura 11. Diagrama de flujo para la clasificación de suelos de grano grueso (más del 50% retenido en el tamiz No. 200)	27
Figura 12. Clasificación de suelos y agregados	28
Figura 13. Modelo de falla según Terzaghi	31

Figura 14. Ubicación de la zona de estudio	37
Figura 15. Acceso a la zona de estudio	38
Figura 16. Ubicación de la estación meteorológica INAMHI M148 Celica.....	38
Figura 17. Temperatura del cantón Celica	39
Figura 18. Precipitación Cantón Celica.	41
Figura 19. Flujograma de actividades de actividades	43
Figura 20. Desarrollo de levantamiento topográfico del área de estudio.....	43
Figura 21. Geología Regional del área de estudio	46
Figura 22. Levantamiento geológico.....	47
Figura 23. Imagen izquierda calicata nro. 3 - imagen derecha calicata nro. 1	48
Figura 24. Procedimiento de realización de SPT 1	49
Figura 25. Variaciones de η_H , η_B , η_S y η_R	50
Figura 26. Equipo Sísmica PASI GEA24 para refracción sísmica	51
Figura 27. Topografía del sector La Sanguí.....	59
Figura 28. Pendientes del área de estudio	61
Figura 29. Ubicación de afloramientos	62
Figura 30. Afloramiento Nro. 1, grietas de desecación – limo - arcillas	63
Figura 31. Material limo, arcilloso - Afloramiento Nro.1.....	63
Figura 32. Afloramiento Nro. 1.....	64
Figura 33. Afloramiento Nro. 2.....	64
Figura 34. Afloramiento Nro. 3.....	65
Figura 35. Afloramiento Nro. 4.....	65
Figura 36. Afloramiento 5 andesitas basálticas y arena fina.....	66
Figura 37. Ubicación de calicatas	67
Figura 38. Calicata Nro. 1	68
Figura 39. Calicata Nro. 2	69
Figura 40. Mapa de Geología Local del área de estudio.....	72
Figura 41. Corte geológico A - A'	73
Figura 42. Ubicación de ensayos SPT.....	74
Figura 43. Perfil estratigráfico del Spt 1	75
Figura 44. Perfil estratigráfico del Spt 2	76
Figura 45. Clasificación y descripción del tercer SPT	77
Figura 46. Perfil estratigráfico del Spt 3	77
Figura 47. Ubicación de líneas sísmicas	79

Figura 48. Sismograma de la línea sísmica 1 (L = 120) a) Disparo 1 (junto a geófono 1); b) Disparo 2 (geófono 12- 13); c) Disparo 3(junto a geófono 24).....	80
Figura 49. Domocrona línea sísmica 1 (Ls-120m).....	80
Figura 50. Perfil sísmico de la línea sísmica 1 (Ls-120m).....	81
Figura 51. Sismograma de la línea sísmica 1 (L = 120) a) Disparo 1 (junto a geófono 1); b) Disparo 2 (geófono 12- 13); c) Disparo 3(junto a geófono 24).....	82
Figura 52. Domocronas línea sísmica 2 (Ls - 80m)	82
Figura 53. Perfil sísmico de la línea sísmica 2 (Ls-80m).....	82
Figura 54. Capacidad admisible en profundidad de 1m SPT 1,2,3.....	91
Figura 55. Capacidad admisible en profundidad de 2m SPT 1,2,3.....	91
Figura 56. Capacidad admisible en profundidad de 3m SPT 1,2,3.....	92

Índice de anexos:

Anexo 1. Mapa topográfico	101
Anexo 2. Mapa de pendientes	101
Anexo 3. Fichas de descripción de afloramientos.....	102
Anexo 4. Ficha de descripción de calicatas	107
Anexo 5. Ficha técnica para descripción microscópica de muestras	109
Anexo 6. Mapa geológico y perfil	110
Anexo 7. Resultados SPT laboratorio	111
Anexo 8. Ensayo de corte directo	115
Anexo 9. Certificación de traducción del resumen	118

1. Título

Estudio Geológico – Geotécnico previo a la construcción del relleno sanitario en el Sector La Sangui, Cantón Celica, Provincia de Loja

2. Resumen

El presente Trabajo de Titulación denominado: Estudio geológico – geotécnico previo a la construcción del relleno sanitario en el sector la Sangui, cantón Celica, provincia de Loja, se basó en un detallado análisis técnico llevado a cabo en un área de 3,54 hectáreas, el estudio abarco diversos aspectos clave para garantizar la viabilidad y seguridad de la construcción de la obra civil que es de gran importancia para el cantón.

En la investigación inicial se efectuó el levantamiento topográfico del área, que proporciono una representación precisa de la superficie. Además, se llevó a cabo el analisis de las pendientes del terreno, que en su mayoría eran de tipo fuertemente inclinadas con 48,30%, de la misma forma se realizó la caracterización geológica en donde se determinó que el área de estudio se encuentra sobre la unidad Celica, corroborando en campo la presencia de andesitas basálticas material característico de la unidad.

Para poder determinar las características físico – mecánicas de los materiales, se efectuaron varios ensayos *In situ*, tales como: tres SPT (Standard Penetration Test), dos líneas de sísmica de refracción y una calicata para efectuar ensayo de consolidación y corte directo. Cabe recalcar que la ejecución de estos ensayos se realizó con la debida aplicación de normativas vigentes, esto con la finalidad de evitar errores en resultados y obtener una mayor precisión de los datos.

Con la informacion recolectada en campo, se efectuó el análisis en gabinete obteniendo datos importantes como: capacidad portante a partir de los ensayos SPT mediante el uso de la ecuación de Meyerhof y Terzaghi, índice de liquidez, consistencia relativa, comportamiento de arcillas en base a el límite líquido, limite plástico, índice de plasticidad, contenido de humedad de las muestras analizadas en laboratorio de cada SPT; capacidad portante a partir de línea sísmica por medio del uso de la fórmula de Terzaghi y Tezcan; cálculo de asentamientos y ángulo de corte.

Es por ello que el proyecto investigativo representa un estudio exhaustivo que combina información geológica y geotécnica precisa para respaldar la construcción adecuada del relleno sanitario. Los resultados y conclusiones obtenidos a través de las pruebas y análisis realizados tienen un impacto directo en la planificación y ejecución del proyecto, asegurando la sostenibilidad, estabilidad y funcionalidad a largo plazo de la infraestructura.

Palabras claves: *geológico, geotécnico, ensayos In situ, capacidad portante, asentamientos, ángulo de corte.*

2.1. Abstract

The present research project, titled “Estudio geológico – geotécnico previo a la construcción del relleno sanitario en el sector la Sangui, cantón Celica, provincia de Loja” was based on a detailed technical analysis conducted in an area of 3.54 hectares. The study covered various essential aspects to ensure the feasibility and safety of the construction of the civil work, which is of great importance to the canton.

A topographic survey of the region was completed as part of the original inquiry, giving a precise depiction of the surface. A slope analysis of the topography was carried out, and the results showed that 48.30% of the ground was steeply inclined. Similar to this, geological characterization was carried out, verifying in the field the existence of basaltic andesites, a characteristic material of the Celica unit, and indicating that the study region is located on this unit.

To ascertain the materials' physical-mechanical properties, various in situ tests were performed, including three Standard Penetration Tests (SPT), two lines of seismic refraction, and a test pit for consolidation and direct shear testing. It is worth noting that the execution of these tests was carried out in accordance with applicable regulations to avoid errors in results and obtain greater data precision.

With the field-collected information, a desk analysis was conducted, obtaining essential data such as bearing capacity from SPT tests using the Meyerhof and Terzaghi equations, liquidity index, relative consistency, clay behavior based on the liquid limit, plastic limit, plasticity index, and moisture content of the laboratory-analyzed samples from each SPT. Bearing capacity from seismic lines was calculated using the Terzaghi and Tezcan formula, settlement calculations, and shear angle.

Therefore, the research project represents a comprehensive study that combines precise geological and geotechnical information to support the proper construction of the sanitary landfill. The results and conclusions obtained through the tests and analyses have a direct impact on the planning and execution of the project, ensuring the sustainability, stability, and long-term functionality of the infrastructure.

Keywords: *geological, geotechnical, in situ tests, bearing capacity, settlements, shear angle.*

3. Introducción

La Norma Ecuatoriana de la Construcción, define que un estudio geotécnico se basa en el desarrollo de las actividades necesarias para aproximarse a las características geológicas - geotécnicas de una zona, con el fin de establecer las condiciones que limitan su aprovechamiento, los problemas potenciales que puedan presentarse, criterios y parámetros generales.

A través de un enfoque multidisciplinario que involucra conceptos geológicos – geotécnicos, se pretende analizar la idoneidad del terreno en términos de su capacidad para soportar las cargas previstas de la infraestructura, su estabilidad a largo plazo y sus propiedades físico - mecánicas. Además, de considerar las normativas y regulaciones vigentes en materia para garantizar que el proyecto cumpla con los estándares requeridos.

La trascendencia de este estudio se extiende más allá del ámbito académico, ya que sus hallazgos y recomendaciones tendrán un impacto directo en la toma de decisiones informadas en la planificación y ejecución del relleno sanitario en el Sector La Sangui. Anticipando que los resultados contribuirán no solo al avance del conocimiento en las disciplinas de geología y geotecnia, sino también al desarrollo sostenible al proporcionar lineamientos para futuros proyectos similares en diferentes lugares.

De esta forma el presente proyecto de investigación tiene como principal objetivo indagar las condiciones geológicas y propiedades físico – mecánicas de los materiales presentes en el área de estudio, con la finalidad de establecer las condiciones actuales en las que se encuentra el terreno.

Objetivos

Objetivo General

- Desarrollar el estudio geológico – geotécnico previo a la construcción del relleno sanitario en el sector “La Sangui”, Cantón Celica, Provincia de Loja.

Objetivos Específicos

- Determinar las características geológicas comprendidas en la zona de estudio.
- Definir las propiedades físico – mecánicas de los materiales del área de construcción del relleno sanitario.
- Analizar los parámetros ingenieriles del estudio geológico – geotécnico necesarios en la construcción del relleno sanitario del sector “La Sangui” en el Cantón Celica.

4. Marco Teórico

4.1. Topografía

Rincón et al., (2018) La topografía se define como la ciencia encargada de establecer la posición relativa de puntos sobre la Tierra y su representación en un plano de la superficie terrestre. En un sentido más amplio, se puede definir como la disciplina que abarca todos los métodos para reunir información de partes físicas de la Tierra, tales como el relieve, los litorales, los cauces de corrientes hídricas, entre otros, usando para ello los métodos clásicos de medición en terreno, la fotogrametría y los Sensores Remotos.

4.1.1. Levantamiento Topográfico

Es una serie de procesos que tienen por finalidad determinar la posición de puntos en el espacio y su representación en un plano, el conjunto de operaciones incluye:

- Selección del método de levantamiento.
- Elección del equipo a utilizar.
- Determinar y ubicar posibles vértices de apoyo.
- Realización de mediciones en terreno.
- Cálculo y procesamiento de datos.
- Elaboración de planos. Rincón et al., (2018)

4.1.2. Levantamiento Topográfico con cinta métrica

Saavedra Frías L, (2015) Consiste en el levantamiento de una poligonal abierta, en la cual se requiere medir sus distancias horizontales y sus direcciones para la orientación de los ejes en la poligonal. De los métodos existentes es el que menos recursos requiere, aunque tiene sus limitaciones en cuanto al tamaño del área a levantar, sin embargo, para pequeñas áreas es factible su aplicación.

En un terreno plano los elementos necesarios son dos o más jalones, un juego de piquetes y una cinta. Los jalones se colocan en los puntos extremos y sirven para mantener el alineamiento, la medida la efectúan dos individuos que se denominan cadenero trasero y cadenero delantero. El primero coloca el cero de la cinta en el punto de partida mientras que el segundo, con el extremo de la cinta que tiene la caja avanza hacia el otro punto, cuando ha recorrido una longitud igual a la de la cinta se detiene. Por medio de señales de mano, el cadenero trasero, observando el jalón situado en el otro extremo, alinea al cadenero delantero y éste pone un piquete sobre la recta. En el momento que están alineados se hace la lectura de la distancia y se registra en la libreta, cuando el terreno es inclinado o irregular es necesario

mantener siempre la cinta horizontal, para proyectar el cero o extremo de la cinta sobre el punto donde debe ir el piquete. (McCormac, 2007)

Cuando no se requiere demasiada precisión basta con un jalón, en vez de plomada, cuidando que éste permanezca vertical. La cinta se debe mantener bien tensa para evitar que forme una catenaria. Cuando el terreno es muy inclinado se mide por partes, tomando tramos tan largos como sea posible, manteniendo la cinta horizontal. Este método de levantamiento a menudo se llama cadenamamiento, debido a que la cadena es el equipo principal que se emplea para la medición. En la actualidad, como resultado de mejoras en las técnicas de fabricación y una consecuente reducción en los precios de compra, la cadena se ha reemplazado por la más precisa cinta de acero. Saavedra Frías L, (2015)

4.1.3. Levantamiento Topográfico con estación total

(McCormac, 2007) La incorporación de microprocesadores y distanciómetros electrónicos en los teodolitos electrónicos, ha dado paso a la construcción de las estaciones totales.

Con la estación total se pueden medir distancias verticales y longitudinales, ángulos verticales y horizontales, y el microprocesador programado puede calcular las coordenadas topográficas (norte, este y elevación), de los puntos visados. Estos equipos poseen también tarjetas magnéticas para almacenar datos, los cuales pueden ser cargados en el computador y utilizados con el programa de aplicación seleccionado. Una de las características importantes en la estación total es que puede medir ángulos horizontales en ambos sentidos y ángulos verticales con el cero en el horizonte. Hoy en día la tecnología en las estaciones totales ha avanzado considerablemente, existen equipos robotizados que pueden realizar las lecturas con controladores, también la exportación o importación de puntos se realiza con una USB, por bluetooth o Wi-fi, así como también se puede realizar levantamientos topográficos con correcciones de la curvatura terrestre. (McCormac, 2007)

4.1.4. Levantamiento Topográfico con dron

Según Carrillo Ramírez J. (2021) Los Drones conocidos también como VANT (Vehículo Aéreo No Tripulado) poseen diversos usos en varias áreas, como: Fotogrametría, Topografía, Meteorología, Geología; entre otras. Cabe resaltar que existen diversos tipos de drones, dependiendo del tipo y peso, es así también estos vehículos llamados aeronaves, que no necesitan tripulación para volar, son capaces de realizar vuelo de manera autónoma de forma controlada y sostenible, son impulsadas por un motor de explosión, sea eléctrico o reacción.

- Primero se debe iniciar realizando una inspección presencial, investigar y recolectar la mayor información posible del terreno para así identificar todas las posibles dificultades que se puedan presentar al momento del levantamiento.
- Segundo se debe marcar todos los puntos de control para facilitar la orientación del modelo de levantamiento topográfico digital del terreno de estudio para generar un sistema de coordenadas que pueda permitir alcanzar su correcta georreferenciación.
- Tercero se debe escoger un día con un clima favorable, dicha información será investigada en páginas de meteorología, con el fin de evitar los días con vientos o lluvias, de igual forma se tiene que tener en cuenta no tener líneas eléctricas u otros objetos que obstruyan el vuelo del dron.
- Cuarto la información se procesa mediante el software ArcGIS o AutoCAD los cuales son los más usuales para la generación de escenarios en 3D, es importante contar con un equipo portátil de excelentes características en cuanto a tarjeta gráfica, procesador y buena memoria RAM la cual dará soporte a los procesamientos de imágenes los cuales deberá cumplir con requisitos como lo son la corrección de las inclinaciones de la fotografía, verificación de la orientación geométrica, establecimientos de coordenadas y puntos, el escalado y nivelación de los modelos generados mediante las fotografías y por último el detallado cartográfico de las altimétricas y planimetrías del terreno de estudio. Como último paso se efectúa la presentación final, en donde se procesa toda la información obtenida y se genera los planos y/o archivos en los formatos que se requieran, estos pueden ser en entornos de CAD, SIG o en su defecto PDF. (McCormac, 2007)

4.2. Geología

Tarbuck E & Lutgens F, (2005) Indican que es aquella ciencia que persigue la comprensión del planeta Tierra, tradicionalmente se ha dividido en dos extensas áreas: la física y la histórica.

La Geología física, analiza los materiales que componen la tierra y busca englobar los diferentes conocimientos que actúan debajo y encima de la superficie terrestre. Mientras que la Geología histórica fundamenta en comprender el origen de la Tierra y su progreso a lo largo del tiempo. Por tanto, pretende establecer un orden cronológico de los múltiples cambios físicos y biológicos que han acontecido en el pasado geológico. (STRAHLER, 1997)

4.2.1. Geología Estructural

Belousov V, (1979) La geología estructural es una parte fundamental de la geotectónica, es decir, de aquella disciplina geológica que analiza las peculiaridades de la estructura y desarrollo de la corteza terrestre, afines con los procesos mecánicos, movimientos y deformaciones a las que se encuentran expuesta.

4.2.1.1. Estructura Primaria

Son aquéllas que se originan simultáneamente a la formación de las rocas como resultado de su depósito o su emplazamiento. Son características singenéticas de las rocas por lo que las características que las distinguen están presentes antes de la deformación. Las estructuras primarias pueden ocurrir en rocas sedimentarias y en rocas ígneas; su existencia es clave para interpretar los procesos de acumulación o depósito y el medio ambiente en que se formaron. (Boggs, 2011)

4.2.1.2. Estructura Secundaria

Arellano et al., (2002) Son aquellas estructuras geológicas que adquieren las rocas, posteriormente a su litificación como respuesta a un estado de esfuerzo y por cambios en la temperatura. Los cambios que experimentan las rocas son irreversibles y se expresan como deformación o metamorfismo.

Las estructuras secundarias se pueden desarrollar tanto en rocas ígneas, como sedimentarias o metamórficas; sus características finales dependen de diversos factores, entre otros, la propia naturaleza de las rocas sujetas al proceso de deformación. Como se puede observar en la tabla 1.

Tabla 1. Estructuras primarias y secundarias.

Estructuras Geológicas			
Estructuras Primarias		Estructuras Secundarias	
Rocas Ígneas	Rocas Sedimentarias	Cualquier tipo de roca	
<i>Intrusivas</i>	<i>Extrusivas</i>	<i>Estratificación:</i>	<i>Pliegues:</i>
		<ul style="list-style-type: none"> • Cruzada • Tabular • Convoluta • Gradada • Lenticular • Flaser 	<ul style="list-style-type: none"> • Anticlinal • Sinclinal • Anticlinorio • Sinclinorio • Monoclinal • Homoclinal
<ul style="list-style-type: none"> • Dique • Manto • Lacolito • Batolito • Facolito • Tronco • Diaclasa 	<i>Derrames o coladas:</i>		<i>Fallas:</i>
	<ul style="list-style-type: none"> • Acordeada • AA • Pahoehoe • En bloque • Pillow lava 		<ul style="list-style-type: none"> • Normal • Horst • Graben • Inversa • Cabalgadura • Sobrecorrimiento • Napa • Klippe • Lateral izquierda y derecha
	<i>Volcanes</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Imbricación • Laminación • Marcas de carga • Huellas de lluvia • Marcas de base • Grietas de desecación 	<ul style="list-style-type: none"> • Fracturas • Foliación
	<ul style="list-style-type: none"> Escudo Estratovolcán Cinerítico Maar Domo Caldera Diaclasa Vesícula Pisolito 		
		<i>Rizaduras:</i>	
		<ul style="list-style-type: none"> • Oscilación • Corriente 	
		<i>Estructuras orgánicas:</i>	
		<ul style="list-style-type: none"> • Estromatolitos • Galerías • Arrecifes 	

Nota. Obtenido de Arellano et al., (2002)

Diaclasa

Refiere a una fractura o grieta en las rocas que no muestra desplazamiento relativo significativo entre los bloques adyacentes. Estas fracturas pueden ser causadas por una variedad de factores geológicos, como el enfriamiento y la contracción de las rocas, la expansión térmica, la liberación de presión, la erosión, etc. (Fernández-Fernández, 2018)

Dique

Es una intrusión tabular de roca ígnea que corta a través de las capas de rocas preexistentes. Los diques pueden tener diferentes formas y tamaños y son el resultado de la solidificación de magma o lava dentro de fracturas preexistentes en la corteza terrestre. (Best, 2002)

Pliegue

Es una estructura tectónica donde las capas de roca han sido dobladas debido a fuerzas compresivas. Los pliegues son comunes en áreas geológicamente activas y son importantes para comprender la deformación de la corteza terrestre. (Fossen, 2016)

Discordancia estratigráfica

Es una superficie que representa un intervalo de tiempo durante el cual se ha producido la erosión o no se ha depositado sedimento en un área determinada, lo que resulta en una interrupción en la secuencia de capas de roca. (Jr., Principles of Sedimentology and Stratigraphy, 2010)

4.3. Estudios Geológicos

Paladines & Soto, (2010) definen que el estudio geológico tiene por objetivo establecer el comportamiento del terreno, como base preliminar a una cimentación, debido a que el terreno es un factor primordial a tener en cuenta en la ejecución de proyectos, ya que los condiciona de forma importante por constituir el medio en el que se sustentarán las obras que en ellos se proyecten.

Por lo tanto, se debe reunir una serie de particularidades que lo hagan válido como cimiento de la futura obra. Es por ello que la ejecución de una determinada obra depende generalmente de las características del suelo, siendo preferible su ubicación en aquellos que presenten un buen comportamiento geotécnico geológico. Paladines & Soto, (2010)

4.3.1. Mapeo Geológico

Echeveste H, (2017) El mapeo geológico es el proceso encargado de analizar, interpretar y representar aquellas observaciones de la geología ejecutadas en campo, un mapa geológico se genera casi en totalidad en campo y se caracterizan por tener las siguientes cualidades:

- La información recopilada debe ser objetiva, basada en una exploración minuciosa de las rocas y estructuras presentes.

- El lector del mapa debe poder diferenciar claramente entre la información que fue observada en el lugar (datos) y las inferencias que se hicieron de las observaciones geológicas (interpretación).
- Las relaciones geológicas entre unidades, estructuras, entre otras. deben ser permanentes en todo el mapa.
- Los datos se deben mostrar en un nivel de detalle que concierna a la escala del mapa, el mapa no debe contener información que lo torne difícil de entender, ni tampoco debe estar escaso de datos.

Mapeo por afloramientos

Es una técnica dentro la geología para el estudio y la representación cartográfica de las rocas expuestas en la superficie terrestre. Se basa en la observación directa y detallada de las formaciones rocosas visibles en el terreno, como acantilados, cortes de carreteras, barrancos y lechos de ríos. El mapeo por afloramientos permite la reconstrucción histórica geológica de una región además de identificar estructuras geológicas clave para la evaluación y distribución de los recursos naturales (Johnson, 2021).

Calicatas

Las calicatas son excavaciones realizadas en el terreno con el objetivo de obtener información detallada sobre la composición y características geológicas de un área específica. Estas excavaciones suelen tener forma de pozos o zanjas, y se llevan a cabo mediante la remoción de capas de suelo y roca en secuencia. Las calicatas proporcionan una visión directa de la estructura del suelo, la presencia de agua subterránea, la calidad del suelo y otros aspectos relevantes para la planificación y diseño de proyectos de construcción, obras de ingeniería y estudios geotécnicos (López, 2022).

4.4. Hidrología

Villón M, (2004) La hidrología es aquella catedra que analiza el agua, su origen, circulación y distribución en la superficie terrestre, propiedades físico – químicas, y su relación en el medio ambiente, incluidos los seres vivos. Esta ciencia es de gran importancia para el ser humano y ambiente, las aplicaciones prácticas de la hidrología se encuentran en labores como: diseño y operación de estructuras hidráulicas, obras de abastecimiento de agua, tratamiento y disposición de aguas residuales, riego, drenaje, entre otras.

4.5. Métodos de Exploración

Guerrero L, (2018) Son los métodos que se desarrollan para reconocer las características del suelo donde se pretende construir una obra civil o el estudio de su entorno.

Los métodos para determinar las dichas propiedades se clasifican en dos importantes grupos: directos e indirectos.

- **Directos**

Estos métodos se utilizan para conseguir muestras con la finalidad de obtener las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas del suelo. Las muestras conseguidas pueden ser: alteradas o inalteradas, las cuales son necesarias en los diversos tipos de obras de infraestructura donde se requiere obtener parámetros mecánicos mediante pruebas especiales de laboratorio: triaxiales, consolidaciones, etc. Y pruebas índices y comunes de laboratorio.

Tabla 2. *Métodos de exploración directa*

Método de exploración	Descripción
Pozos a cielo abierto	Los pozos se excavan con el fin de tomar muestras de cada estrato, para observar y levantar el perfil estratigráfico de sus estratos, generalmente dichas excavaciones deben tener un área de 1.00 x 1.5m (como mínimo), con separaciones y profundidades variables, los cuales dependen de la zona donde se ubique el sitio en estudio, del material encontrado, de la posición del nivel freático y de la importancia del proyecto.
Pala Posteadora	Se desarrolla como un método manual de exploración, que consiste en insertar un barreno y obtener muestras del tipo alterado, pero representativas en cuanto al contenido de agua
Tubo Shelby	Consiste en un tubo afilado de 7.5 a 10 cm de diámetro que se introducen a presión para obtener muestras relativamente inalteradas de suelos finos blandos o semiduros
Sondeo de penetración estándar	Se obtienen muestras de los suelos y se mide la resistencia al corte con el número de golpes con el que se introduce el penetrómetro una distancia de 30 cm.
Muestreador Denison	Se lo realiza mediante el uso de dos tubos concéntricos, se introduce en el suelo para obtener muestras con ayuda de la irrigación de fluido de perforación que se hace radial entre ambos tubos.

Nota. Obtenido de Guerrero L, (2018)

- **Indirectos**

Con estos métodos de exploración se realizan mediciones indirectamente de propiedades físicas de los suelos.

Tabla 3. *Métodos indirectos de exploración*

Método de exploración	Descripción
Método sísmico	Este método consiste en realizar una explosión en el área a estudiar, mediante el uso de una pequeña cantidad de explosivo y con ello determinar la velocidad de propagación de ondas, según la densidad de los materiales.
Método de resistividad eléctrica	Se realiza introduciendo corriente eléctrica a través del suelo, de esta manera se podrá determinar la resistividad y observar donde se encuentran los estratos de roca en el suelo.
Métodos magnéticos y gravimétricos	Para desarrollar el método magnético se desarrolla usando un dispositivo denominado magnetómetro, obteniendo el componente vertical del campo magnético terrestre en la zona, mientras que los métodos gravimétricos miden la aceleración del campo gravitacional en diversos puntos del área de estudio.

Nota. Obtenido de Guerrero L, (2018)

4.6. Geofísica

Según el Servicio Geológico Mexicano, (2018) La geofísica es una ciencia procedente de la geología que abarca el estudio de las propiedades físicas de la Tierra, refiere aspectos como la investigación de la composición interna del planeta, el flujo de calor derivado del interior de la Tierra, la fuerza de la gravedad que forma el campo gravitacional, la fuerza magnética de atracción, influida por un magneto en el interior de la Tierra el cual produce el campo geomagnético, y la propagación de las ondas sísmicas por medio las rocas de la corteza terrestre.

Para Aceves, (2003) Los objetivos de la prospección geofísica utilizan los contrastes y variaciones de las propiedades físico – mecánicas, como la localización en el subsuelo de estratos de rocas, tobas y suelos, que representen masas resistentes que puedan soportar una obra civil; además de localizar yacimientos de agua, petróleo, gas, vapor y minerales de interés económico para el hombre, así como en el monitoreo de flujo y transporte de contaminantes; mapeo de eventualidades geológicas que expongan un riesgo potencial para las obras civiles.

4.6.1. Sísmica de Refracción

De acuerdo a (Jr. Enrique Encinas Franco, 2016) El ensayo de refracción sísmica es un método de exploración geofísica que permite determinar la estratigrafía del subsuelo en forma indirecta, basándose en el cambio de las propiedades dinámicas de los materiales que lo conforman.

Este método consiste en la medición de los tiempos de viaje de las ondas de compresión (Ondas P) generadas por una fuente de energía impulsiva a unos puntos localizados a distancias predeterminadas a lo largo de un eje sobre la superficie del terreno. El equipo básico consiste de los sensores; la unidad de adquisición, en donde se almacenan los movimientos del terreno detectados por cada sensor; los cables de conexión entre los sensores y la unidad de adquisición; el cable del trigger, que se encarga de marcar el momento de inicio de registro en la unidad de adquisición. (Jr. Enrique Encinas Franco, 2016)

Los registros de cada sensor tienen información de los movimientos del terreno en función del tiempo y son conocidos como sismogramas. Estos son analizados en la refracción sísmica para obtener el tiempo de llegada de las primeras ondas a cada sensor desde el punto de disparo. La aplicación más común de la refracción sísmica es para la determinación de la profundidad, condiciones (meteorización, fracturación) y competencia de la roca en donde se asentarán las estructuras. También es muy útil para detección de fallas geológicas. En el caso de contextos urbanos la refracción resulta útil para la determinación de la profundidad a basamento y el perfil de velocidades de onda P y S; y para la extrapolación lateral de perforaciones puntuales de suelos. El método utiliza la llegada de las primeras ondas a los géofonos, ondas P, pero como también las llegadas de las ondas S, de tal manera que se pueden determinar la relación de Poisson y otros módulos dinámicos. (H. Robert Burger, 2006)

4.6.2. Alcances y limitaciones del ensayo

(Jr. Enrique Encinas Franco, 2016) En términos de la aplicación y el estudio dinámico de los suelos los alcances y limitaciones del método serían los siguientes:

Tabla 4. Alcances y limitaciones del método de refracción sísmica

<i>Alcances</i>	<i>Limitaciones</i>
Detecta variaciones tanto en profundidad como en la horizontal de la velocidad de la onda P y S.	Sólo funciona cuando la velocidad de propagación de las ondas aumenta con la profundidad. En el caso de suelos con capas intermedias de menor velocidad el método arrojaría resultados erróneos
Permite la detección de la profundidad a basamento y de su relieve dependiendo de variables como longitud del tendido, energía de la fuente sísmica, velocidades de los suelos	El Método de Refracción Sísmica está limitado por la disponibilidad de zonas descubiertas con suficiente extensión

La longitud del tendido en superficie está directamente relacionada con el alcance de la exploración en profundidad.

Nota. Obtenido de Enrique Encinas Franco, (2016)

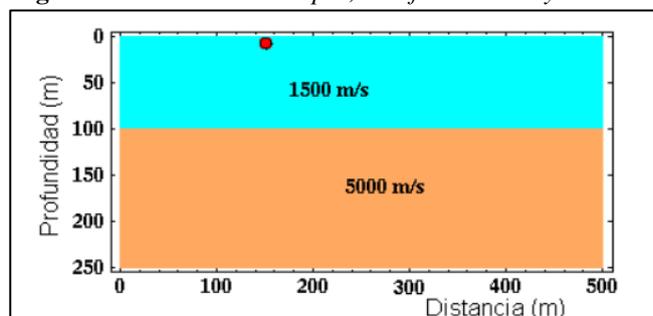
4.6.3. Propagación y trayectoria de Ondas

Jorge Eduardo Oviedo Veas, (2020) Cuando se generan ondas sísmicas, a partir de golpes en el suelo con una porra, o con explosiones de pólvora, éstas incluyen tanto ondas sísmicas internas, - Primarias y Secundarias -, como superficiales ondas - Love y Rayleigh. Las ondas P, también conocidas como ondas longitudinales, son las de mayor interés en la refracción sísmica.

4.6.4. Ley de refracción

(Fowles, 1989) Como consecuencia del Principio de Huygens y/o del principio de Fermat, la Ley de refracción dice que el seno del ángulo incidente es al seno del ángulo de refracción como la velocidad de la onda incidente es a la velocidad de la correspondiente onda refractada. Para explicar la trayectoria de las ondas en el método de la Refracción sísmica, consideremos un medio, con velocidad C_1 , que suprayace un medio semiinfinito, con velocidad C_2 , mayor que C_1 (Figura 1). Una vez se han generado las ondas en el punto de disparo, éstas empiezan a viajar por el medio superior conformando unos frentes de onda en el espacio.

Figura 1. Modelo de dos capas, la inferior de mayor velocidad

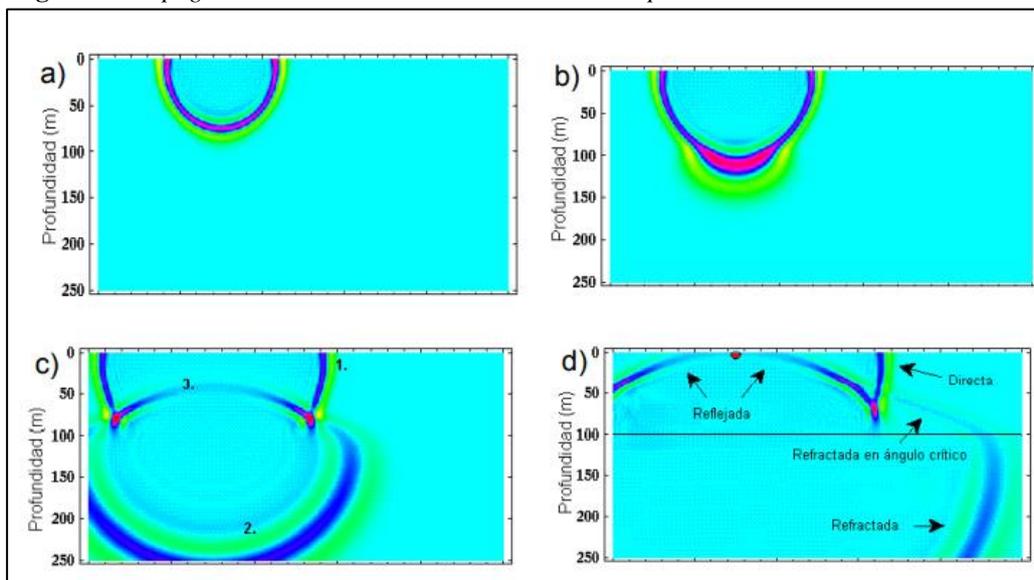


Nota. Obtenido de Boyd, (1999)

(Fowles, 1989) Al hacer un corte vertical por el punto de disparo, el frente de ondas luciría como se ilustra (Figura 2). Dicho frente se conocen como frente de ondas directas. En la parte b) de la Figura 2 el frente de ondas se ha encontrado con el límite de los medios y ocurren las primeras refracciones hacia la capa inferior. En la parte c), ha pasado más tiempo y se pueden observar claramente 3 frentes de onda: 1. de las ondas directas; 2. de las ondas refractadas hacia la capa inferior, y 3. de las reflejadas hacia la capa superior. Al observar en detalle puede identificarse un cuarto frente de ondas. El frente de ondas refractado hacia la capa inferior, no tiene una curvatura constante, de tal manera que corresponde a dos frentes de onda, el que se refracta hacia abajo, y el que se refracta hacia la capa superior.

Como se puede observar, este frente de ondas está más alejado del punto disparo que el frente de ondas directas en la primera capa, por lo que llegará más rápido a los geófonos donde aún no había llegado el frente de ondas directas. En la parte d), de la figura, ha pasado aún más tiempo desde el momento de disparo, y los 4 frentes de onda se diferencian claramente. (Fowles, 1989)

Figura 2. Propagación de las ondas en un medio de dos capas



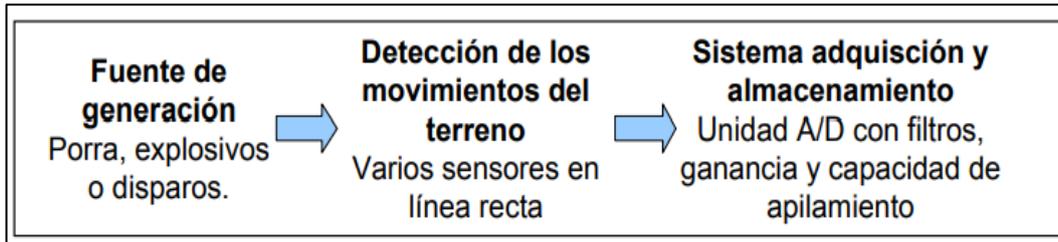
Nota. Obtenido de Boyd, (1999)

4.6.5. Equipo de medición

(Jr. Enrique Encinas Franco, 2016) Los componentes del equipo de medición de refracción sísmica son (Figura 3):

- Fuente de generación de ondas sísmicas.
- Detección de los movimientos del terreno.
- Adquisición y almacenamiento.

Figura 3. Esquema general del equipo de refracción sísmica



Nota. Obtenido de Enrique Encinas Franco, (2016)

4.6.6. Fuentes de generación de ondas

(Shearer, 2009) Las ondas que se utilizan en refracción son generadas por una perturbación artificial instantánea, que se conoce como impulso sísmico. Lo que se busca con éste es generar el tipo de ondas sísmicas (de volumen y superficiales), producidas por un único “evento” de duración “instantánea”, para que no haya superposición de ondas (de diferentes eventos) en los movimientos del terreno detectados por los geófonos.

Para esto se buscan fuentes de generación que se puedan controlar en términos del tiempo de inicio y localización. Existen tres tipos:

- **Fuentes de impacto.** Generalmente martillos o porras. Como la energía transmitida al suelo por este tipo de fuente no es muy grande, se apilan varias decenas de golpes para modelar mejor las llegadas y suprimir el ruido. También se utilizan otros medios mecánicos, por ejemplo, dejando caer un gran peso de una altura de 2 – 3 metros. La energía asociada con cada uno de los golpes depende la energía cinética (E) que relaciona la masa del martillo (m) y la velocidad aplicada al martillo (v), obteniendo

$$E = m \cdot v^2.$$
- **Cargas explosivas.** De mayor energía, son usadas especialmente para prospección petrolera. La explosión puede ocurrir en un tiempo de micro a milisegundos, dependiendo de la naturaleza y cantidad del explosivo y, del material que rodea sitio de explosión.
- **Disparos.** Se utilizan balas o cartuchos de fogeo. La energía es mayor que la generada por martillo.

4.7. Geotecnia

Según el Servicio Geológico Mexicano, (2018) La geotecnia es la rama de la geología que trata de la aplicación de los principios geológicos en la investigación de los materiales naturales como las rocas, que constituyen la corteza terrestre implicados en el diseño, la construcción y la explotación de proyectos de ingeniería civil.

En la geotecnia se integran las técnicas de ingeniería del terreno aplicadas a las cimentaciones, refuerzo, sostenimiento, mejora y excavación del terreno y las citadas

disciplinas de la mecánica del suelo, mecánica de rocas e ingeniería geológica. González de Vallejo et al., (2002)

Estudio geotécnico

El estudio geotécnico es una herramienta esencial para la construcción de infraestructuras. Consiste en la evaluación detallada de las propiedades y comportamiento del suelo y las rocas en un sitio específico. Este tipo de estudio abarca la recolección de varias muestras de suelo, la realización de pruebas de laboratorio y un análisis de datos geotécnicos para comprender las características del terreno, como la resistencia, la compresibilidad, la permeabilidad y la estabilidad. La información obtenida a partir del estudio geotécnico se utiliza para el diseño y la construcción segura de cimientos, excavaciones, estructuras de contención y otros aspectos relacionados con la ingeniería geotécnica (García, 2021).

Estudio geotécnico preliminar

El estudio geotécnico preliminar desempeña un papel fundamental en el desarrollo de proyectos, durante esta etapa, se llevan a cabo investigaciones en campo, como la recolección de muestras de suelo y rocas, la realización de pruebas in situ y el registro de datos topográficos. Además, se realizan análisis en laboratorio para determinar propiedades geotécnicas clave, como la resistencia, la compresibilidad y la permeabilidad. La información obtenida a partir del estudio geotécnico preliminar es esencial para el diseño adecuado de cimentaciones, estructuras de contención y otras soluciones geotécnicas necesarias para garantizar la estabilidad y seguridad (Pérez, 2019).

Métodos de exploración geotécnicos.

Los métodos de exploración geotécnicos desempeñan un papel fundamental en la obtención de información precisa y detallada acerca de las características del suelo y las rocas en una ubicación específica. Estos métodos comprenden una amplia variedad de técnicas, como perforaciones, sondeos, ensayos de laboratorio y pruebas in situ. Mediante la aplicación de estas técnicas, se pueden determinar propiedades clave del suelo, tales como su capacidad de carga, compresibilidad, permeabilidad y resistencia. Es esencial emplear métodos de exploración apropiados y seguir las normas y estándares establecidos para garantizar la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos (Martínez, 2020).

Ensayo de Penetración Estándar (SPT)

Carmona July, (2014) El ensayo de penetración estándar (SPT), es un ensayo in situ de penetración por medio de golpeteo que define parámetros de diseño geotécnico. Se denomina ensayo estándar, pero este contiene variaciones las cuales se deben correlacionar por diferentes métodos, dependiendo del material extraído del suelo para calcular las correcciones del número

de golpes (N_{corr}) y por tanto el ángulo de fricción equivalente (ϕ_{eqv}). El ensayo de penetración estándar determina la Compacidad y la Capacidad de Soporte del suelo no cohesivo, tomando muestras se pueden hallar múltiples correlaciones como por ejemplo la relación entre el número de golpes N_{Medido} y la compacidad o el ángulo de fricción del suelo y la resistencia a la compresión simple por medio de tablas o ábacos ya existentes.

El ensayo SPT se realiza en el interior de sondeos durante la perforación, consiste básicamente en contar el número de golpes (N) que se necesitan para introducir dentro de un estrato de suelo. A continuación, se representa en la Figura 4 los elementos que forman parte del Ensayo SPT. Carmona July, (2014)

Figura 4. Toma muestras. puntazas y elementos del ensayo SPT



Nota. Obtenido de González de Vallejo, (2002)

González de Vallejo et al., (2002) El procedimiento a seguir consiste en limpiar cuidadosamente la perforación al llegar a la cota deseada para el ensayo, tanto las paredes como el fondo, retirando la batería de perforación e instalando en su lugar un tomamuestras de dimensiones estándar. El tomamuestras consta de tres elementos: zapata, tubo bipartido y cabeza de acoplamiento con el varillaje. La lectura del golpeo del primero y último tramo no se debe tener en cuenta, por la alteración del suelo o derrumbes de las paredes del sondeo en el primer caso, y por posible sobre compactación en el segundo. La suma de los valores de golpeo de los dos tramos centrales de 15 cm es el valor N , denominado también resistencia a la penetración estándar. En ocasiones, dada la alta resistencia del terreno, no se consigue el avance del tomamuestras.

En estos casos, el ensayo se suspende cuando se exceden 100 golpes para avanzar un tramo de 15 cm, y se considera rechazo.

El resultado de los ensayos SPT puede verse afectado por factores como:

- Preparación y calidad del sondeo: limpieza y estabilidad de las paredes de la perforación.

- Longitud del varillaje y diámetro del sondeo: condicionan el peso del elemento a hincar y la fricción con las paredes del sondeo.
- Dispositivo de golpeo: puede ser manual o automático, existiendo diferencias notables entre los resultados de ambos. Deben emplearse dispositivos automáticos, pues garantizan la aplicación de la misma energía de impacto en todos los casos. González de Vallejo et al., (2002)

Código Ecuatoriano de la construcción

La norma ecuatoriana de construcción, en su apartado de geotecnia y cimentaciones hace referencia a los estudios geotécnicos en donde se debe realizar un detallado reconocimiento de campo, investigación adelantada en el sitio específico de la obra, la morfología del terreno, el origen geológico, las características físico-mecánicas y la descripción de los niveles freáticos o aguas subterráneas con una interpretación de su significado para el comportamiento del proyecto analizado. Se debe estudiar el efecto o descartar la presencia de suelos con características especiales como suelos expansivos, dispersivos, colapsables, y los efectos de la presencia de vegetación o de cuerpos de agua cercanos. Además, se debe identificar el espesor, la distribución y los parámetros obtenidos en las pruebas y ensayos de campo y en los de laboratorio. (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014)

4.8. Mecánica de suelos

(Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005) La Mecánica de Suelos es la aplicación de las leyes de la Mecánica y la Hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o descomposición química de las rocas, independientemente de que tengan o no contenido de materia orgánica.

Incluye:

- Teorías sobre el comportamiento de los suelos sujetos a cargas basadas en simplificaciones necesarias dado el estado actual de la técnica.
- Investigación de las propiedades físicas de los suelos reales.
- Aplicación de conocimiento teórico y empírico a los problemas prácticos.
- La estabilidad de taludes de la mecánica clásica se encuentra bajo el criterio de rotura de Mohr Coulomb, donde se determinan los parámetros resistentes del suelo, ángulo de fricción y cohesión.

- Las características de los residuos sólidos son sumamente variables al momento de su disposición, ya que la materia orgánica se descompone, absorbe humedad, etc. (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005)

4.8.1. Resistencia de los suelos

La resistencia de los suelos juega un papel fundamental en el proceso de diseño de estructuras y cimentaciones. Este parámetro es determinante para evaluar la capacidad del suelo de soportar cargas sin sufrir deformaciones excesivas. El estudio de la resistencia de los suelos involucra la realización de pruebas en laboratorio y en campo para analizar sus propiedades mecánicas, como la resistencia a la compresión, al corte y al deslizamiento. Estos datos resultan indispensables para seleccionar los tipos de cimentación adecuados y dimensionar las estructuras, con el objetivo de garantizar su estabilidad y seguridad. Además, la resistencia de los suelos también influye en la planificación y construcción de obras civiles como carreteras, presas y túneles. Contar con un conocimiento preciso de la resistencia de los suelos es esencial para llevar a cabo proyectos de ingeniería exitosos y duraderos (Gómez, 2021).

4.8.2. Clasificación de Suelos

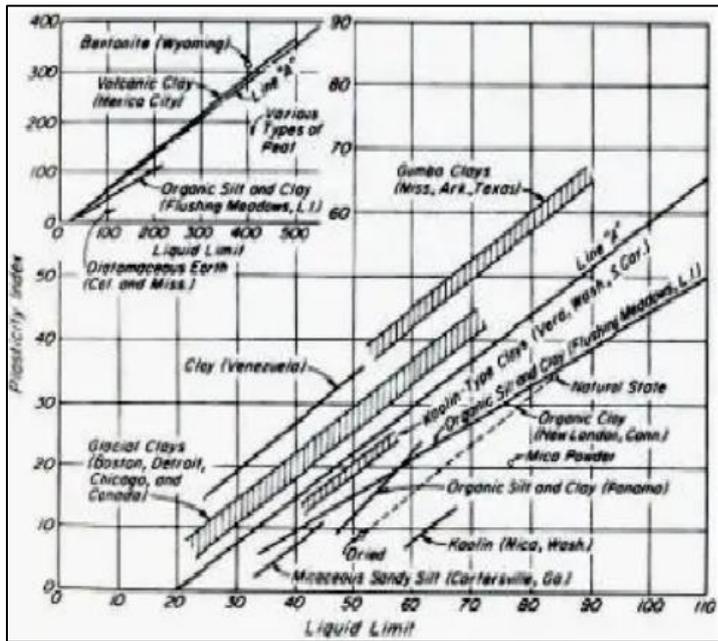
Clasificación SUCS. El sistema unificado de clasificación de suelos, es uno de los importantes aportes de Arthur Casagrande, este sistema fundamentado principalmente divide a los suelos en dos grandes grupos:

FINOS: Suelos en donde más del 50% pasa el tamiz N.º 200.

GRUESOS: Suelos donde más del 50% se retiene en el tamiz N.º 200.

Para subdividir a su vez los suelos finos, una gran cantidad de éstos y en diferentes variedades, se han tratado de ubicarlos en el sistema de coordenadas IP: 9 versus LL. A continuación, se presenta en la Figura 5, la gráfica de suelos de acuerdo al límite líquido. (Peck., 1996)

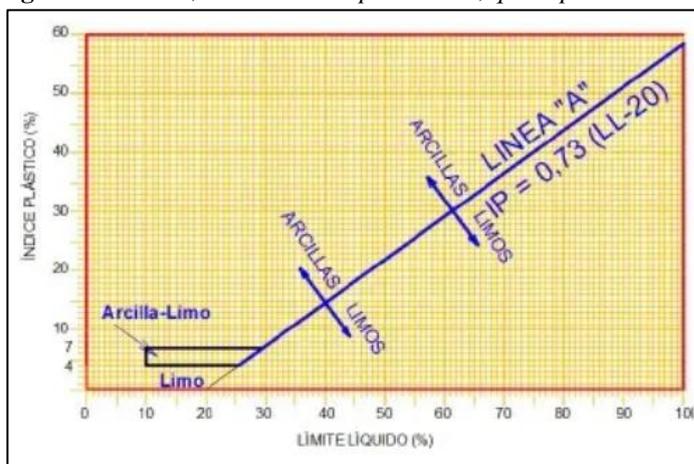
Figura 5. Gráfica de la distribución de los suelos de acuerdo al límite líquido LL, e índice plástico IP, desarrollado por Casagrande



Nota. Obtenido de Rodríguez William, (2019)

(Peck., 1996) Llegando a la conclusión de que los suelos finos se agrupan en alineamientos inclinados conforme a sus propiedades de plasticidad y compresibilidad. Dentro de esta gráfica llamada carta de plasticidad, se traza empíricamente la línea A, que pasa por los puntos de coordenadas (20-0) y (50-22), como se muestra en la Figura 6.

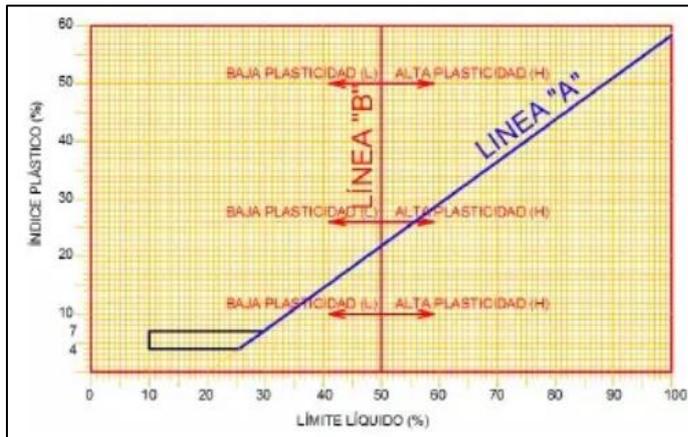
Figura 6. Línea A, en la carta de plasticidad, que separa arcillas y limos (y suelo orgánico)



Nota. Obtenido de Rodríguez William, (2019)

Luego definió la línea B, que divide a los suelos según su plasticidad, siendo 50 % la frontera. Los suelos que tienen más del 50 % de límite líquidos son llamados de alta plasticidad (*H*) y los que tienen menos del 50 %, se llaman de mediana a baja plasticidad (*L*). En la Figura 7 se muestra la línea B en la carta de plasticidad. Rodríguez William, (2019)

Figura 7. Línea B en la Carta de plasticidad, que separa los suelos finos de alta y baja (o mediana) plasticidad



Nota. Obtenido de Rodríguez William, (2019)

La línea vertical B divide la carta de plasticidad en cuatro grandes zonas:

- Suelos Finos de alta plasticidad $LL > 50$
- Suelos Finos de baja plasticidad $LL < 50$

SÍMBOLOS

Se usan los siguientes símbolos:

C = clay = arcilla

M = silt = limo

H = high = alta plasticidad

L = low = baja plasticidad

O = suelo orgánico

CL = arcilla de baja o mediana plasticidad

CH = arcilla de alta plasticidad

ML = limo de baja o mediana plasticidad

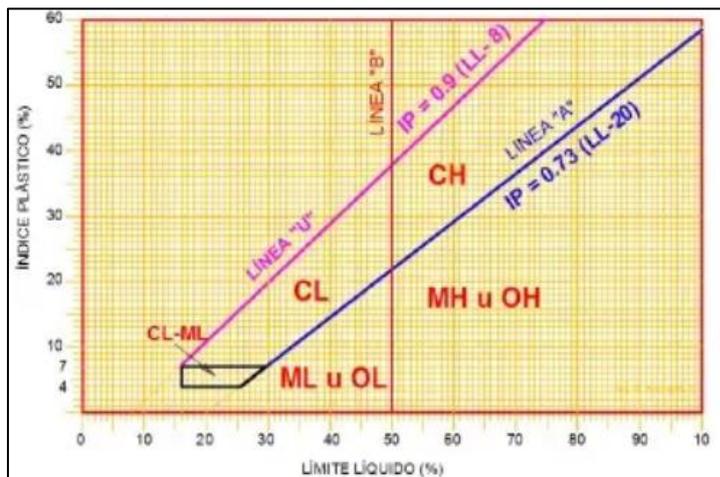
MH = limo de alta plasticidad

OL = limo (arcilla) orgánico de plasticidad baja a mediana

OH = arcilla (limo) orgánica de alta plasticidad

Al combinar ambas líneas, se determinan zonas, donde se ubican los suelos finos: CL, CH, ML y MH. Posteriormente se encontró que las arcillas no se ubicaban encima de la línea U. A continuación, en la Figura 8, se indica la carta de plasticidad. (Peck., 1996)

Figura 8. Carta o gráfica clásica de plasticidad



Nota. Obtenido de Rodríguez William, (2019)

De esta manera queda definida la carta en seis grupos de suelos añadiendo a los anteriores las letras L o H del inglés Low y High (baja y alta plasticidad respectivamente). Casagrande introdujo una variación, en la carta tratando de definir los suelos con índice de plasticidad entre 4 y 7 y eran suelos que constituyeron la frontera entre los CL y ML, y así todos los suelos que caen dentro de la zona rayada se llaman simplemente CL-ML. Rodríguez William, (2019)

Suelos Gruesos. -Los suelos gruesos a su vez se subdividen en dos grupos:

Gravas: más del 50% retiene el tamiz N°4

Arenas: más del 50% pasa el tamiz N°4.

Se las designa con las letras G y S del inglés Gravel y Sand respectivamente.

Tanto las gravas como las arenas pueden ser bien y pobremente graduadas y es así como a los símbolos anteriores se posponen las letras P y W del inglés poorly y well respectivamente. Se tiene de este modo los cuatro principales grupos de suelos gruesos:

- GP= Gravas pobremente graduadas
- GW= Gravas bien graduadas
- SP= Arenas pobremente graduadas
- SW= Arenas bien graduadas

Un suelo es bien graduado cuando los porcentajes que pasan y retienen la serie de tamices son proporcionalmente distribuidos, mientras que un suelo es mal graduado cuando estos porcentajes son mal distribuidos (Ávila Aníbal, 2004)

A su vez los cuatro grupos pueden ser:

GC= gravas arcillosas

GM=gravas limosas

SC=arenas arcillosas

SM=arenas limosas

Con lo cual totalizan ocho grupos de suelos gruesos.

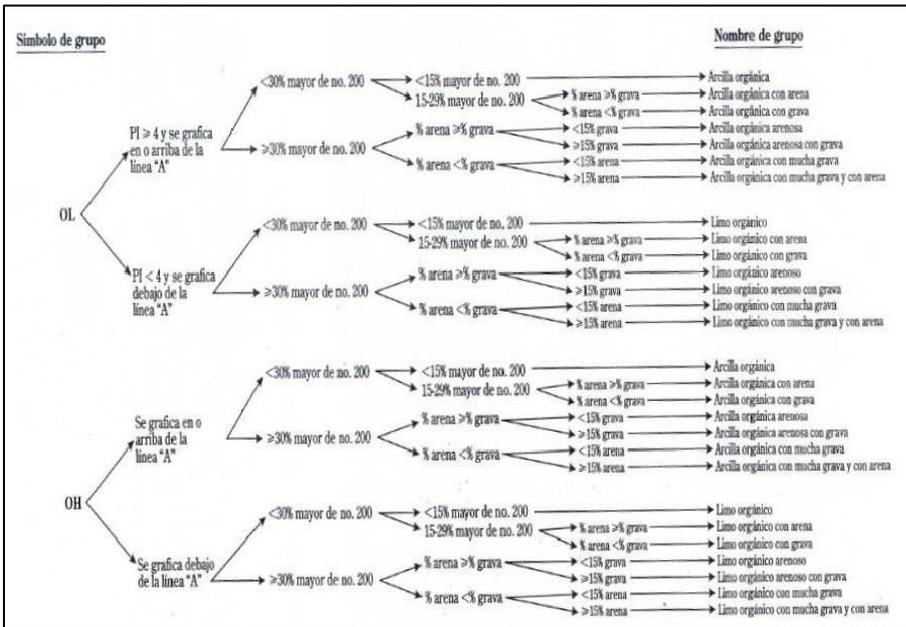
A continuación, en la Figura 9, se indica la clasificación SUCS.

Figura 9. Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)

Divisiones mayores		Simbolo de grupo	Nombres tipicos	Criterios de clasificación para suelos granulares		
Suelos de grano grueso (menos del 50% del material pasa el tamiz No 200)	Gravas	Gravas limpias	GW	Gravas bien gradadas, mezclas gravosas	$Cu = D_{60}/D_{10} > 4$ $Cc = 1 < (D_{30})^2 / D_{10} \times D_{60} < 3$	
			GP	Gravas pobremente gradadas, mezclas grava - arena	No cumplir con los requisitos de gradación para GW	
		Gravas con finos	GM	Gravas limosas, mezclas grava - arena - limo	Limites de Atterberg por debajo de la línea A o $Ip < 4$	A los materiales sobre la línea A con $4 < Ip < 7$ se considera de frontera y se les asigna doble simbolo
			GC	Gravas arcillosas, mezclas grava - arena - arcillosas	Limites de Atterberg por encima de la línea A o $Ip > 7$	
	Arenas	Arenas limpias	SW	Arenas bien gradadas, arenas gravosas	$Cu = D_{60}/D_{10} > 6$ $Cc = 1 < (D_{30})^2 / D_{10} \times D_{60} < 3$	
			SP	Arenas pobremente gradadas, arenas gravosas	No cumplir con los requisitos de gradación para GW	
		Arenas con finos	SM	Arenas limosas, mezclas arena - limo	Limites de Atterberg por debajo de la línea A o $Ip < 4$	Si el material está en la zona sombreada con $4 < Ip < 7$ se considera de frontera y se les asigna doble simbolo
			SC	Arenas arcillosas, mezclas arena - arcilla	Limites de Atterberg por encima de la línea A o $Ip > 7$	
Suelos de grano fino (más del 50% del material pasa el tamiz No 200)	Limos y Arcillas (limite liquido < 50)	ML	Limos orgánicos y arenas muy finas, polvo de roca	1. Determinar el porcentaje de arenas y gravas de la curva de granulometría. 2. Dependiendo del porcentaje de fino (fracción menor que el tamiz No 200) los suelos gruesos se clasifican como sigue: Menos del 5% : GW, GP, SW, SP Más de 12% : GM, GC, SM, SC De 5 a 12% : Casos de frontera que requieren doble simbolo		
		CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas			
		OL	Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad			
	Limos y Arcillas (limite liquido > 50)	MH	Limos orgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o diatomáceos, suelos elásticos			
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas			
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos			
	Suelos altamente orgánicos	Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos			

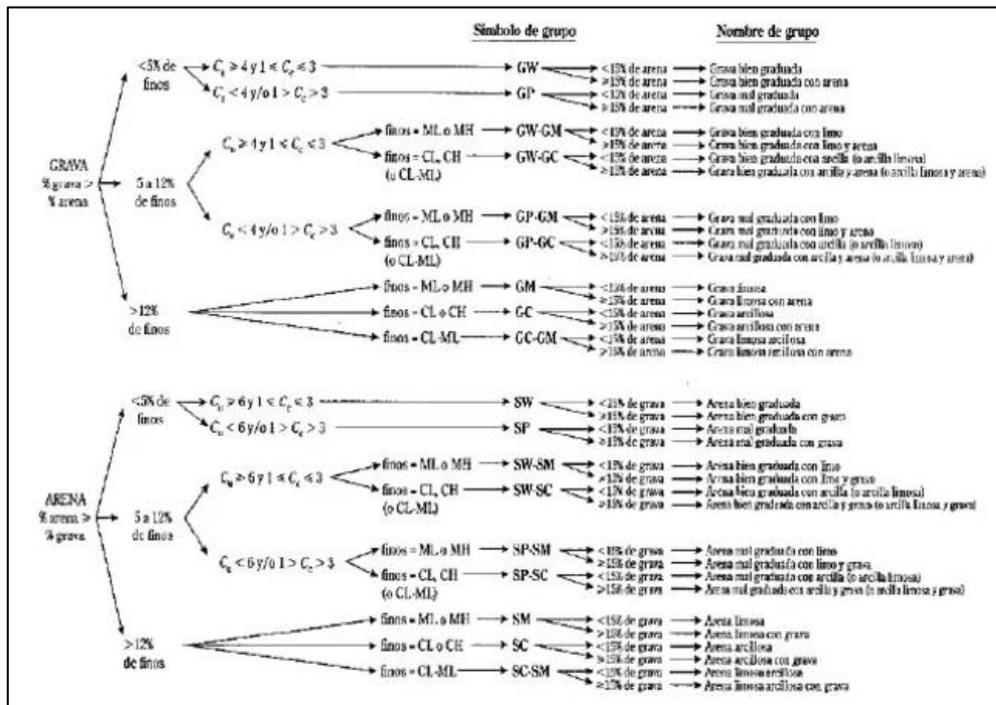
Nota. Obtenida de ASTM, Designation: D2487 – 11, (2013)

Figura 10. Diagrama de flujo para la clasificación de suelos orgánicos de grano fino (50% o más pasa el tamiz No. 200)



Nota. Obtenido de ASTM, Designation: D2487 – 11, (2013)

Figura 11. Diagrama de flujo para la clasificación de suelos de grano grueso (más del 50% retenido en el tamiz No. 200)



Nota. Obtenido de ASTM, Designation: D2487 – 11, (2013)

Sistema De Clasificación AASHTO. fue desarrollado en 1929 por el Public Road Administration System.

De acuerdo con este sistema, el suelo es clasificado en siete grupos principales:

A-1 hasta A-7. Los suelos clasificados bajo los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares de los cuales el 35% o menos de las partículas pasan a través del tamiz N.º 200. Suelos de los cuales más del 35% pasan a través del tamiz Nº200 se clasifican bajo los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. Rodríguez William, (2019)

El sistema de clasificación se basa en los siguientes criterios:

1. Tamaño del grano

- Grava:* fracción que pasa el tamiz de 75mm (3 pulg) y es retenido en el tamiz N°10 (2mm).
- Arena:* fracción que pasas el tamiz N°10 (2mm) y es retenido por el tamiz N°200 (0.075mm).
- Limo y arcilla:* fracción que pasa el tamiz N°200

2. Plasticidad: el termino limoso (silty) es aplicado cuando la fracción de finos del suelo tienen un índice de plasticidad de 10 o menor. El término arcilloso (clayey) es aplicado cuando la fracción de finos tienen un índice de plasticidad de 11 o mayor.

3. Si se encuentra cascajo (cobble) y canto rodado (Boulders) (tamaño mayor a 75mm), estos son excluidos de la porción de la muestra de suelo de la cual se realiza la clasificación. (Peck., 1996)

A continuación, en la Figura 12, se indica la clasificación de suelos y agregados.

Figura 12. Clasificación de suelos y agregados

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)							Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)			
	A-1		A-3 ^A	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado, % que pasa											
No. 10 (2.00mm)	50 máx.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425µm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75µm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Consistencia											
Límite líquido	...		...	B				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		N.P.	B				10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín. ^B
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limoarcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno							Regular a malo			

Nota. Obtenido de ASTM, Designation: D2487 – 11, (2013)

4.9. Ensayos De Laboratorio Para Muestras De Suelo

4.9.1. Contenido De Humedad

Las muestras obtenidas del suelo contienen o retienen agua dentro su estructura, la cantidad de este líquido depende directamente de la estructura de sus partículas. El contenido de agua (humedad) que contiene una muestra de suelo se genera debido al vínculo de la masa de agua que contiene esta muestra porosa del suelo. ZAFECO Geotechnisch Adviesbureau, (2019)

Este método es el más aplicado en la geotecnia, ya que el contenido de humedad de la muestra en estudio será vital para estudiar sus propiedades específicas como la cohesión, consistencia, cambio volumétrico y estabilidades mecánicas.

4.9.2. Analisis Granulométrico

El análisis granulométrico consiste en la separación de las partículas de una determinada muestra de suelo por rangos de tamaños, haciendo uso de mallas o tamices con aberturas normalizadas. Rodríguez William, (2019)

En base a este ensayo de laboratorio se podrán obtener datos por medio de los cuales se puedan determinar las siguientes constantes de los suelos:

- Coeficiente de uniformidad
- Coeficiente de curvatura
- Porcentaje de gravas
- Porcentaje de arenas
- Porcentaje de finos
- Clasificación del suelo según el SUCS
- Curva granulométrica

4.9.3. Índice de plasticidad

(Das., 2014) El índice de plasticidad se refiere a la capacidad de un suelo para cambiar de forma sin romperse durante la deformación. Se asocia con suelos finos, como arcillas y limos, y es un indicador importante para determinar su comportamiento bajo cargas y humedad cambiantes.

El índice de plasticidad (IP) se calcula restando el límite líquido (LL) del límite de plasticidad (LP):

$$IP = LL - LP$$

El valor del índice de plasticidad proporciona información sobre la plasticidad del suelo, los suelos con un índice de plasticidad alto son muy plásticos y pueden experimentar

deformaciones significativas bajo cargas y cambios de humedad. Por otro lado, los suelos con un índice de plasticidad bajo tienen menos plasticidad y son más rígidos. Es importante tener en cuenta que el índice de plasticidad no es una característica intrínseca del suelo, sino que depende de su mineralogía, contenido de humedad y otros factores ambientales. Por lo tanto, es una herramienta útil para la clasificación y caracterización de suelos para fines de ingeniería geotécnica. (Peck., 1996)

4.9.4. Límites de Atterberg

(Das., 2014) Son un conjunto de tres límites utilizados para determinar las propiedades de plasticidad y fluidez de los suelos, son ampliamente aplicados en la geología e ingeniería geotécnica. Los tres límites de Atterberg son:

- **Límite Líquido (LL):** Es el contenido de humedad en el cual un suelo cambia de un estado líquido a un estado plástico y fluye. Se determina mediante el ensayo de la Copa de Casagrande.
- **Límite Plástico (LP):** Es el contenido de humedad en el cual un suelo cambia de un estado plástico a un estado semisólido y puede ser moldeado sin romperse. Se determina mediante el ensayo de la prueba de rodillo.
- **Límite de Contracción (LC) o Límite de Retracción:** Es el contenido de humedad en el cual un suelo cambia de un estado semisólido a un estado sólido y empieza a contraerse, no siempre se considera en todos los sistemas de clasificación de suelos. (Das., 2014)

Estos límites son importantes para comprender el comportamiento y las características de los suelos, especialmente en ingeniería geotécnica, ya que ayudan a determinar su capacidad de soporte, expansión, contracción y otros aspectos que afectan la construcción y las cimentaciones. Es importante destacar que los límites de Atterberg son solo una parte de las propiedades y clasificaciones más amplias de los suelos, y se utilizan en combinación con otras pruebas y ensayos para una evaluación completa del comportamiento del suelo. (Karl Terzaghi, 1996)

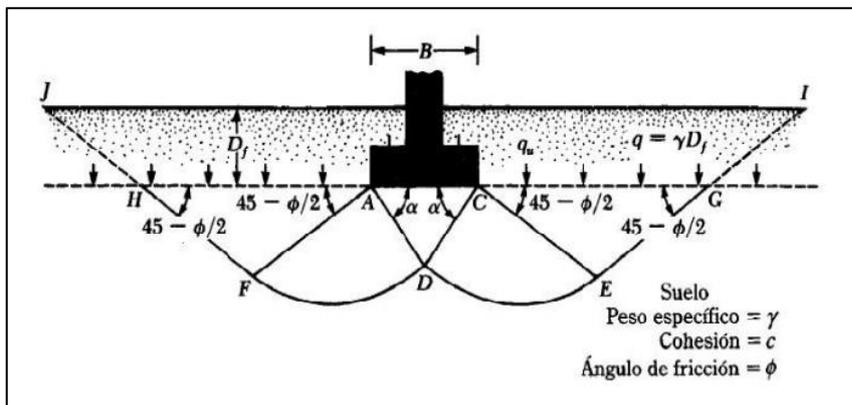
4.10. Parámetros Ingenieriles

4.10.1. Capacidad Portante del Suelo según Terzaghi

La capacidad portante en suelos es una medida fundamental en la geotecnia que indica la capacidad del suelo para soportar cargas sin fallar o sufrir asentamientos excesivos, depende en general de la configuración, resistencia al corte y compresibilidad del terreno de fundación en el sitio. Esta presión, que se acostumbra denominar presión portante permisible, constituye una medida de la capacidad de carga del suelo de soporte de un sitio dado. Se puede determinar

mediante diferentes fórmulas y métodos de cálculo, dependiendo de las características específicas del suelo y las condiciones de carga. (Peck., 1996)

Figura 13. Modelo de falla según Terzaghi



Nota. Obtenido de Terzaghi, (1973)

Una de las fórmulas más conocidas y utilizadas en la ingeniería geotécnica, fue propuesta por el ingeniero geotécnico Karl Terzaghi, uno de los pioneros en el campo de la mecánica de suelos. (Karl Terzaghi, 1996)

Cabe recalcar que las siguientes formulas fueron mejoradas y adaptadas por Meyerhof.

Capacidad portante en suelos cohesivos:

Para cálculo de la capacidad portante en suelos cohesivos bajo una cimentación rectangular:

$$q_{ult} = c * N_c + \gamma * D_f * N_q + 0.5 * \gamma * B * N_\gamma$$

Donde:

- q_{ult} = Capacidad portante última (carga última que puede soportar el suelo por unidad de área).
- c = Cohesión del suelo.
- γ = Peso unitario del suelo.
- D_f = Profundidad de la cimentación (desde la superficie hasta el fondo de la cimentación).
- B = Ancho de la cimentación.

- N_c , N_q , N_γ = Coeficientes de capacidad portante determinados a partir de tablas y gráficos en función del ángulo de fricción interna del suelo (ϕ) y el tipo de cimentación.

Para cálculo de la capacidad portante en suelos cohesivos bajo una cimentación circular:

$$q_{ult} = c * N_c + \gamma * D_f * N_q + 0.4 * \gamma * D_f * N_\gamma$$

Donde los símbolos tienen el mismo significado que en la fórmula anterior.

Capacidad portante en suelos granulares:

La capacidad portante en suelos granulares generalmente se calcula en función del ángulo de fricción interna del suelo (ϕ) y el peso unitario del suelo (γ). La fórmula comúnmente utilizada es:

$$q_{ult} = 0.5 * \gamma * B * N_q * \tan(\phi)$$

Donde:

- q_{ult} = Capacidad portante última (carga última que puede soportar el suelo por unidad de área).
- γ = Peso unitario del suelo.
- B = Ancho de la cimentación.
- N_q = Coeficiente de capacidad portante determinado a partir de tablas y gráficos en función del ángulo de fricción interna del suelo (ϕ) y el tipo de cimentación.

4.10.2. Capacidad portante del suelo según Tezcan

Es importante que el estudio se hizo con pruebas de laboratorio, así como el ensayo SPT y la prospección geofísica, obteniendo una expresión concordante con los resultados de la teoría de Terzagui y Peck:

$$q_a = 0.1 \gamma V_s / n$$

De acuerdo al método geofísico, la capacidad de carga para la cimentación puede ser estudiada en relación a la velocidad de las ondas de corte V_S mediante el empleo de una fórmula ideada por Tezcan en el año 2006 la cual halló haciendo una investigación basándose en datos conseguidos en 550 sitios explorados. (Peck., 1996)

4.10.3. Asentamientos

Las cargas transmitidas por la cimentación al suelo dan lugar a su deformación y esta se traduce en asentamientos, desplazamientos horizontales y giros de la estructura que, si resultan excesivos, podrán originar fisuras, agrietamientos, u otras patologías. Se entiende por

tanto como asentamiento al movimiento descendente vertical del terreno debido a la aplicación de cargas que causan cambios en las tensiones dentro del terreno o al movimiento descendente de un elemento constructivo como consecuencia de la modificación del terreno que lo sustenta debido a la acción de agentes externos. Un asentamiento se puede experimentar en una construcción, tras la aplicación de cargas al terreno o la migración de agua que este en él contenida o, por la modificación de las características de un terreno que inicialmente podía soportarlas. Dentro de este campo los suelos de naturaleza cohesiva con componente expansiva son susceptibles de hinchamiento y hundimiento (cambios de volumen) debidos a los cambios en los estados de humedad del suelo. GEOSEC Ground Engineering, (2020)

Análisis de asentamientos en suelo

El análisis de asentamientos en suelo es un proceso fundamental en la ingeniería geotécnica y estructural, ya que permite evaluar cómo las cargas aplicadas a un terreno pueden afectar su comportamiento y cómo se puede esperar que se comporten las estructuras construidas sobre él. Los asentamientos en suelo ocurren debido a la redistribución de las presiones en el subsuelo cuando se aplican cargas a una estructura o relleno. Estos asentamientos pueden ser temporales o permanentes y pueden ocurrir de manera homogénea en toda el área o de manera diferencial, donde diferentes partes del suelo se asientan en diferentes magnitudes. (Das., 2014)

El análisis de asentamientos implica varios pasos y consideraciones importantes:

- **Caracterización del suelo:** Se realiza un estudio geotécnico para determinar las propiedades del suelo, como la capacidad de carga, la compresibilidad, la permeabilidad y la estratigrafía. Esta información es esencial para evaluar el comportamiento del suelo bajo carga.
- **Cargas aplicadas:** Se deben tener en cuenta todas las cargas que actuarán sobre el suelo, incluyendo las cargas muertas (peso propio de la estructura), las cargas vivas (cargas móviles), las cargas sobrecargas, y las cargas sísmicas, si es necesario.
- **Tipos de asentamiento:** Existen dos tipos principales de asentamientos: el asentamiento elástico e inmediato, que ocurre inmediatamente después de aplicar una carga, y el asentamiento consolidado, que ocurre con el tiempo a medida que el agua es expulsada del suelo y las partículas del suelo se reorganizan.

- **Consolidación del suelo:** La consolidación es el proceso mediante el cual el agua es expulsada del suelo debido a las cargas aplicadas, lo que resulta en un asentamiento gradual y lento. Se utiliza la teoría de consolidación para estimar estos asentamientos.
- **Métodos de cálculo:** Existen varios métodos para el cálculo de los asentamientos en suelo, como el método de Terzaghi, el método de Schmertmann, el método de carga por placa, entre otros. La elección del método dependerá de las características específicas del suelo y del tipo de estructura que se construirá.
- **Evaluación de la seguridad:** Es importante evaluar si los asentamientos previstos son aceptables para la estructura. Un asentamiento excesivo puede resultar en daños y problemas de funcionamiento. Se deben establecer criterios de asentamiento máximos permitidos para garantizar la seguridad y estabilidad de la estructura a lo largo del tiempo. (Das., 2014)

Asentamientos en cimentaciones

Los asentamientos en cimentaciones son un fenómeno geotécnico que ocurre cuando una estructura o edificación se apoya sobre el suelo. Estos asentamientos se producen debido a la redistribución de las presiones en el subsuelo cuando se aplican cargas sobre la cimentación. Cuando se construye una edificación, el peso de la estructura y cualquier carga adicional (como el contenido de la edificación y la sobrecarga) se transmite al suelo a través de la cimentación. Esta carga provoca una compresión en el suelo, lo que puede resultar en asentamientos tanto temporales como permanentes. (Das., 2014)

Existen dos tipos principales de asentamientos en cimentaciones:

Asentamiento elástico o inmediato: Es un asentamiento que ocurre inmediatamente después de aplicar la carga sobre la cimentación. Es causado por la deformación elástica del suelo y la adaptación de sus partículas bajo la presión. Por lo general, este tipo de asentamiento es pequeño y no suele ser una preocupación significativa para la estabilidad de la estructura.

Asentamiento consolidado o diferido: Es un asentamiento que ocurre con el tiempo debido a la expulsión del agua del suelo y la reorganización de las partículas del mismo. Este proceso se denomina consolidación y puede llevar días, meses o incluso años, dependiendo de las características del suelo. Los asentamientos consolidados pueden ser más significativos y pueden ser una consideración importante en el diseño de cimentaciones, especialmente en suelos compresibles y de baja capacidad portante. (Das., 2014)

Los asentamientos en cimentaciones deben ser cuidadosamente evaluados y considerados en el diseño geotécnico y estructural de una edificación para garantizar la

seguridad y estabilidad a lo largo del tiempo. Se realizan estudios geotécnicos y análisis de ingeniería para estimar los posibles asentamientos y tomar medidas para mitigarlos cuando sea necesario. Métodos como el uso de cimentaciones más profundas, la mejora del suelo o la adopción de técnicas de cimentación especializadas pueden emplearse para reducir los asentamientos y asegurar una construcción segura y duradera. (Bowles, 1996)

4.10.4. *Angulo de corte*

Se refiere al ángulo formado por el plano de falla o de rotura de un suelo o material geotécnico y la horizontal. También se le conoce como "ángulo de fricción interna" o "ángulo de rozamiento interno". Cuando se somete un suelo o material geotécnico a fuerzas de corte, como las que ocurren en un talud natural o en una excavación, se desarrollan fuerzas internas de fricción que resisten el movimiento y mantienen el equilibrio del suelo. Es una medida de la capacidad del suelo para resistir estas fuerzas de corte y es una propiedad importante para el análisis y diseño de estructuras geotécnicas. (Das., 2014)

El ángulo de corte puede variar según la naturaleza y características del suelo, y generalmente se determina mediante ensayos de laboratorio, como el ensayo de corte directo o el ensayo de corte en el anillo de corte (shear box). También puede estimarse mediante correlaciones con otras propiedades del suelo, como la clasificación de suelos o la densidad. Es importante tener en cuenta el ángulo de corte en el diseño de taludes, muros de contención, cimentaciones y otras estructuras geotécnicas, ya que afecta la estabilidad y el comportamiento del suelo bajo cargas y fuerzas de corte. Un ángulo de corte adecuado permite asegurar la estabilidad y evitar deslizamientos y fallas del suelo. (Das., 2014)

El ángulo de talud estable máximo está directamente relacionado con el ángulo de fricción correspondiente a la resistencia máxima, sin embargo, se sabe que es una función directa de la relación de vacíos de arena.

5. Metodología

5.1. Descripción General del área de estudio

5.1.1. Ubicación del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en el sector La Sangui perteneciente a la parroquia Celica, Cantón Celica, Provincia de Loja. Limita geográficamente al Norte con la comunidad de Quiara, al Sur con el río Catamayo, al Este con la comunidad El Cardo y al Oeste con la Comunidad Shugsho.

La zona de estudio tiene una superficie de 3,55 ha hectáreas y se encuentra delimitada por las siguientes coordenadas:

Tabla 5. *Coordenadas de ubicación de la zona de estudio UTM WGS-84 Zona 17S.*

	X(m)	Y(m)
1	616986	9537679
2	617024	9537761
3	617135	9537712
4	616931	9537621

Figura 14. Ubicación de la zona de estudio



5.1.2. Acceso

El acceso a la zona de estudio se la puede realizar desde la ciudad de Quito por vía terrestre, a través de la carretera Panamericana en un recorrido de 657 km hasta la ciudad de Celica, o por vía aérea partiendo desde el aeropuerto Internacional Mariscal Sucre de la ciudad de Quito, hacia el aeropuerto del cantón Catamayo, para posteriormente recorrer por vía terrestre aproximadamente 129 km a la ciudad de Celica.

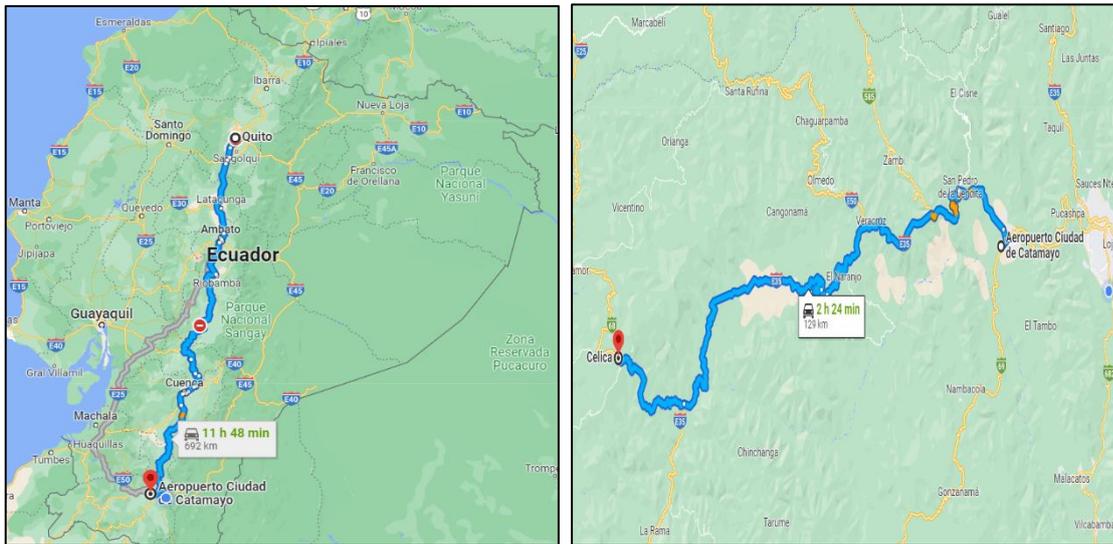
Desde la ciudad de Loja, se lo puede realizar por vía terrestre desde el Terminal terrestre Reina del Cisne, con un recorrido de 168km en un aproximado de 3 horas 20 minutos de duración.

Para el acceso del sector la Sangui, se lo puede realizar mediante el uso de dos vías como son:

Vía de acceso 1: Celica-La Zanja-El Cardo-La Sangui

Vía de acceso 2: Celica-Paltahuayco-Quiara-La Sangui

Figura 15. Acceso a la zona de estudio



5.2. Componente Biofísico

5.2.1. Climatología y meteorología

Según el balance hídrico realizado por el INAMHI, los datos de la climatología para el cantón Celica proviene de la estación meteorológica M148, la cual se encuentra ubicada a una distancia aproximada de 8,50 km en línea recta hasta el lugar donde se construirá el relleno sanitario.

A continuación, en la tabla 6 y 7, se presentan datos de ubicación de la estación meteorológica del INAMHI M148 Celica:

Tabla 6. Coordenadas Geográficas Estación M148 Celica

	Grados	Minutos	Segundos	Orientación
LATITUD	4	6	17	S
LONGITUD	79	57	5	W

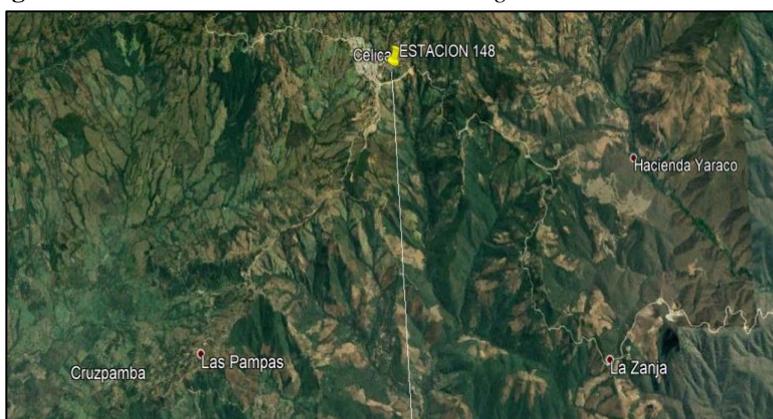
Nota. Fuente: Balance Hídrico, INAMHI, 2005. Elaborado por: GAD CELICA, 2020

Tabla 7. Coordenadas UTM Estación M148 Celica

Coordenadas UTM		Altitud	Huso horario
X	Y	m s.n.m.	
616397	9546215	2038	17

Nota. Fuente: Balance Hídrico, INAMHI, 2005. Elaborado por: GAD CELICA, 2020

Figura 16. Ubicación de la estación meteorológica INAMHI M148 Celica



Nota. Fuente: Google Earth, 2014 Elaborado por: ADEPLAN CIA. LTDA, 2014

5.2.1.1. Clima

Según datos del INAMHI 2006, gran parte del cantón Celica se ubica en la zona de clima mesotérmico subhúmedo, el resto se emplaza en la zona de clima megatérmico seco.

La existencia de dos estaciones, seca y lluviosa, marca todo el acontecer del territorio, los meses de lluvias son los primeros meses del año, de enero a mayo, existiendo exceso hídrico para el periodo comprendido entre los meses de febrero hasta abril.

5.2.1.2. Temperatura

En el Plan Forestal del cantón Celica 2004, respecto al factor climático temperatura menciona que: “la temperatura media anual varía de 12 °C a 14 °C en la parte alta, hasta 24 °C a 26 °C en la parte baja”.

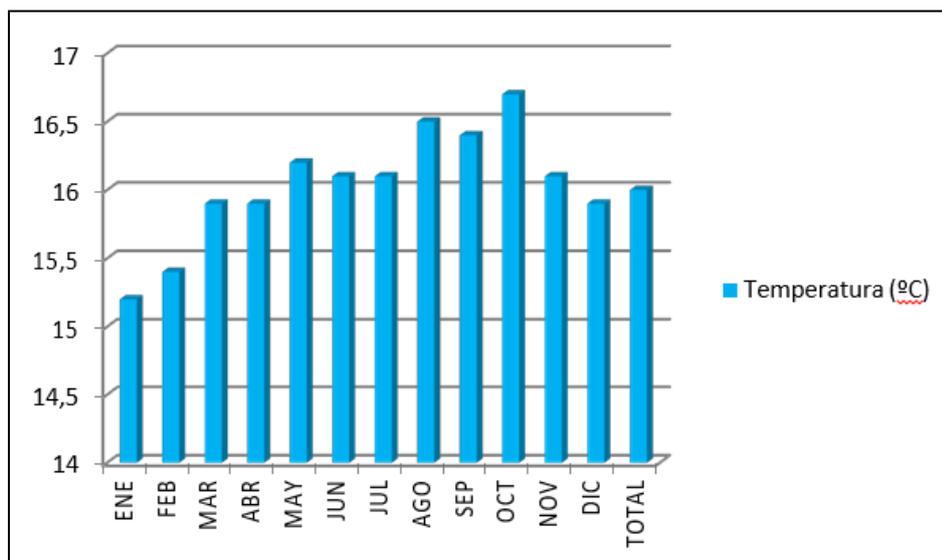
A continuación, en la tabla 8 se describen datos respecto al factor climático temperatura del cantón Celica:

Tabla 8. *Temperatura del cantón Celica, año 2006*

Celica	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.
Temperatura (° C)	2	15.4	15.9	15.9	16.2	16.1	16.1	16.5	16.4	16.7	16.1	15.9	16.0

Nota. Fuente: Anuarios Meteorológicos INAMHI, Celica 2006 Elaborado por: GAD CELICA., 2020

Figura 17. *Temperatura del cantón Celica*



Nota. Fuente: Anuarios Meteorológicos INAMHI, Celica 2006 Elaborado por: GAD CELICA., 2020

Según los datos de los anuarios del INAMHI presentados en la tabla y gráfico anterior, se tiene que el cantón Celica alcanza una temperatura máxima de 16,7°C en el mes de octubre, temperatura mínima de 15,2 °C en el mes de enero y temperatura media anual de 15,4°C.

5.2.1.3. Pluviometría

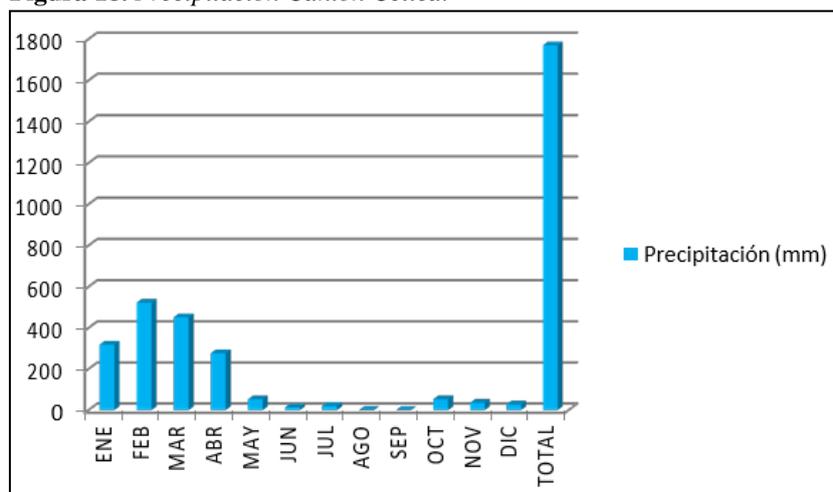
En el Plan Forestal del cantón Celica 2004, respecto al factor de precipitación menciona que: “en el cantón Celica la precipitación media anual varía de 1200 mm en la parte alta hasta 500 mm en la parte baja”. La precipitación disminuye conforme el cantón se aproxima hacia el sur. A continuación, se describen datos respecto al factor climático:

Tabla 9. Precipitación Cantón Celica

Celica	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.
Precipitación (mm)	8.3	2.9	1.3	6.7	2.0	2.7	0.2	7	0.0	2.3	5.3	7.5	1769.9

Nota. Fuente: Anuarios Meteorológicos INAMHI, Celica 2006 Elaborado por: GAD CELICA., 2020

Figura 18. Precipitación Cantón Celica.



Nota. Fuente: Anuarios Meteorológicos INAMHI, Celica 2006 Elaborado por: GAD CELICA., 2020

Según los datos de los anuarios del INAMHI el cantón Celica, tiene precipitaciones que oscilan entre los 0,7 mm hasta los 522,9 mm, alcanzando una precipitación máxima de 522,9 mm en el mes de febrero, y descendiendo hasta una precipitación mínima de 0,7 mm en el mes de agosto; la precipitación media anual fluctúa alrededor de los 1760 mm al año, con un valor típico de 1769,9 mm; siendo los primeros meses del año, de enero a mayo, los que presentan la mayor precipitación.

5.3. Materiales y Equipos

Los materiales que fueron empleados para la ejecución del proyecto de investigación se detallan a continuación:

Tabla 10. *Materiales Empleados*

Campo	Oficina	Laboratorio
- Brújula Brunton	- Computador	- Estufa
- GPS Garmin	- Software ArcGIS 10.5	- Tamices
- Ácido Clorhídrico	- Microsoft Word	granulométricos
- Cinta métrica	- AutoCAD 2022	- Equipo de Casagrande
- Martillo Geológico	- Hoja geológica 39 -	
- Libreta de campo	Cariamanga escala	
- Rayador	1:100.000 edición	
- Lupa de bolsillo	2012.	
- Equipo para ensayo penetración estándar SPT	- Google Earth Pro	
- Guantes	- PowerPoint	
- Fundas	- Excel	
- Etiquetas	- Ortofoto	
- Barretas	- Impresora	
- Palas		
- Sismógrafo		
- Sensores – geófonos		
- Cable de refracción		

5.4. Metodología

Para llevar a cabo el desarrollo del proyecto, se realizaron detallados procedimientos y aplicación de metodologías que aportaron al cumplimiento de los objetivos planteados en este estudio geológico - geotécnico, los cuales son especificados a continuación:

➤ **Método inductivo**

Su aplicación se realizó de manera general, iniciando con un estudio individual de las variables, para luego formular conclusiones que partieron de hechos aceptados como válidos.

➤ **Método Experimental**

Se efectuaron actividades con la finalidad de comprobar y demostrar ciertos fenómenos o principios en forma natural, de tal manera que permitió establecer experiencias a través del proceso científico.

➤ **Enfoque Mixto (cualitativo y cuantitativo)**

Se dirige hacia un análisis cualitativo y cuantitativo, ya que se realizó una observación e indagación directa sobre las variables planteadas en el problema de investigación, obteniendo datos reales de cada parámetro analizado, permitiendo alcanzar una valoración sistemática de información, siendo interpretados de una forma lógica y fundamentada.

Procedimiento para obtención de datos

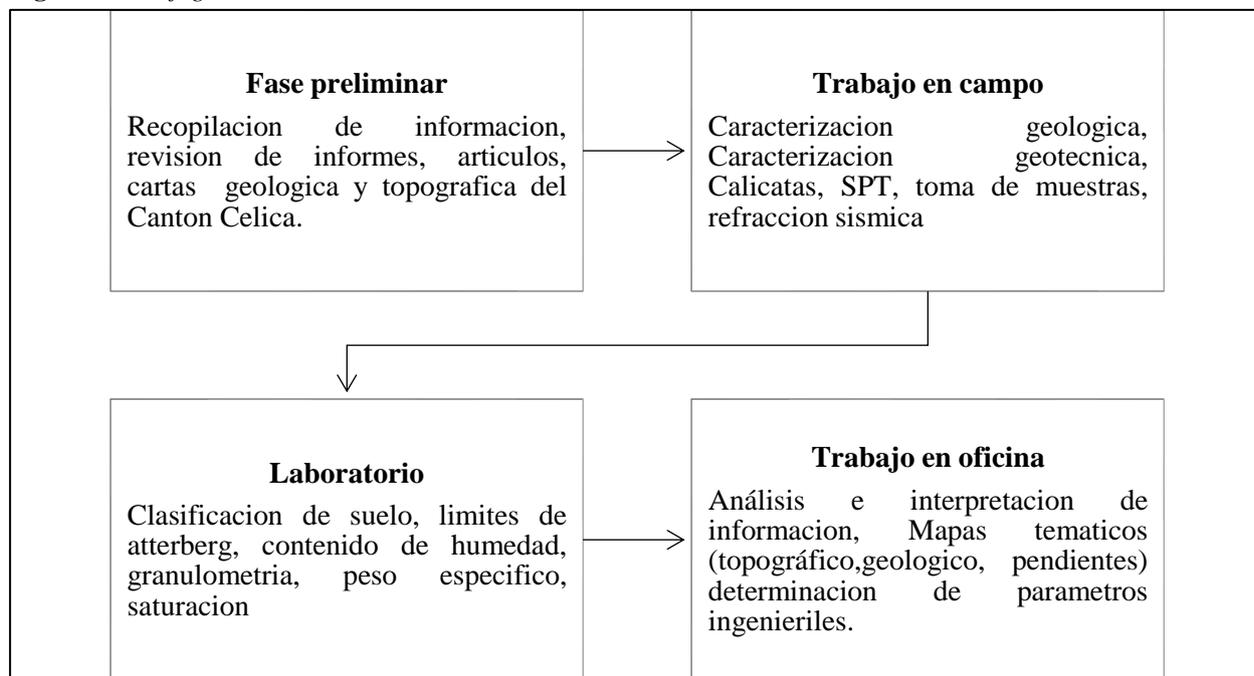
El desarrollo del presente proyecto se efectuó en tres fases:

1. Inicialmente se realizó una recopilación y análisis de información bibliográfica del PDOT del cantón Celica, informes del Gad municipal, revisión de carta geológica de Celica, carta topográfica y artículos científicos.
2. Seguidamente se llevó a cabo una fase de campo desarrollando el levantamiento topográfico, geológico y aplicación de pruebas In situ, datos que son primordiales para el desarrollo investigativo.
3. Finalmente, la tercera fase de trabajo en gabinete se interpretó toda la información compilada en las etapas anteriores.

Flujograma de actividades

A continuación, en la figura 19 se presentan las actividades secuenciales realizadas para el cumplimiento del trabajo investigativo:

Figura 19. *Flujograma de actividades*



5.4.1. Metodología del primer objetivo

“Determinar las características geológicas comprendidas en la zona de estudio”

Se recopiló información secundaria dispuesta en el PDOT, de informes técnicos del municipio de Celica, carta geológica de Celica.

Para llevar a cabo la determinación de las características geológicas, primeramente, se elaboró la base del levantamiento topográfico en escala 1:1.000, efectuado mediante la utilización del equipo GNSS RTK – Trimble, ubicando la estación en puntos estratégicos para la adecuada visualización de toda el área, obteniendo datos de posicionamiento y altitud de los puntos receptados; a continuación, en la figura 20 se observa el equipo empleado.

Figura 20. Desarrollo de levantamiento topográfico del área de estudio. En la imagen izquierda se observa la vía de ingreso, en la imagen derecha levantamiento de punto colindante en la zona este del polígono.



Con los datos obtenidos del levantamiento en campo, se procedió al trabajo en gabinete en donde se ingresaron los puntos al software Foresight 1.5, exportando la información en formato (.dwg) y luego estos datos son procesados en el software ArcGIS 10.5 generando curvas principales y secundarias con separación de 5 y 1m; con una escala de 1:1000 y con proyección Universal Transversal de Mercator, Datum WGS84 Zona 17S.

Cabe recalcar que el Gad de Celica otorgo los puntos del levantamiento topográfico con lo cual se elaboró el mapa topográfico del sector.

A continuación, en la tabla 11 se establecen las coordenadas UTM pertenecientes al área de estudio:

Tabla 11. Puntos de ubicación del área de estudio

Coordenadas UTM	Datum DWS 84	
Puntos vértice del polígono	X(m)	Y(m)
1	616986	9537679
2	617024	9537761
3	617135	9537712
4	616931	9537621

Sobre la base topográfica y la utilización del Software ArcGIS 10.5, mediante una capa de red irregular triangular (TIN), shapefile del polígono del área de estudio y las curvas de nivel, se realizó el mapa de pendientes, cuyo procedimiento es como sigue:

A partir del TIN, mediante el uso de las siguientes herramientas: ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Surface → Slope. Se deriva los rangos de pendientes que por defecto se generaron en el software, fueron reclasificados tomando en cuenta la clasificación propuesta por Demek (1972), el cual clasifica las pendientes en 5 categorías en grados (ver Tabla 12); para el efecto, se realizó el siguiente proceso de reclasificación: Spatial Analyst

Tools→Reclass→Reclassify, y finalmente se procedió al cálculo de área y porcentaje de cada clase encontrada.

Tabla 12. Clasificación de pendientes según DEMEK, 1972

Término de la pendiente	Categoría (°)
Ligeramente inclinado	0 – 5
Fuertemente inclinado	>5-15
Muy inclinado	>15-35
Empinado	>35-55
Vertical	55-90

Nota. Fuente: Obtenido de Demek, (1972)

En el contexto geológico regional, la zona de estudio atraviesa estructuras de gran importancia como la cuenca cretácica Alamor-Lancones la cual se extiende hacia el Norte del Perú, zona en la que se le conoce con el nombre de cuenca Lancones.

Unidad Punta de Piedra (Kpp) *Aptiana* se extiende por toda la parte suroeste Cariamanga, esta unidad es la más antigua referente a las otras unidades geológicas del área de estudio. Está delimitada por complejos metamórficos, al este por el terreno Olmos-Loja y al Oeste por el macizo Amotape Tahuín.

Constituye parte de la cordillera Real del Ecuador y su continuación en territorio peruano, este complejo está formado por rocas metamórficas de grado muy variable que se reparten en los terrenos conocidos como Alao, Loja y Salado, atraviesan el territorio nacional longitudinalmente (N-S). Está compuesto de rocas metamórficas con diferente grado de metamorfismo desde pizarras hasta gneis. Según Eguez, A. & Poma, O. (2001)

Unidad Celica (Kce) *Albiense* se extiende por toda la cordillera de Celica, hasta el sur de la cuenca del Río Playas, encontrándose principalmente en la vía La Zanja-Celica, Celica-Zazanamá y en el sector de la Quebrada Ashimingo al sur del puente de Río Playas. Está definida como una secuencia volcanoclástica, intercalada con mantos de lava de composición basáltico-andesítica, generalmente se encuentran silicificadas, cloritizadas y epidotizadas en menor grado.

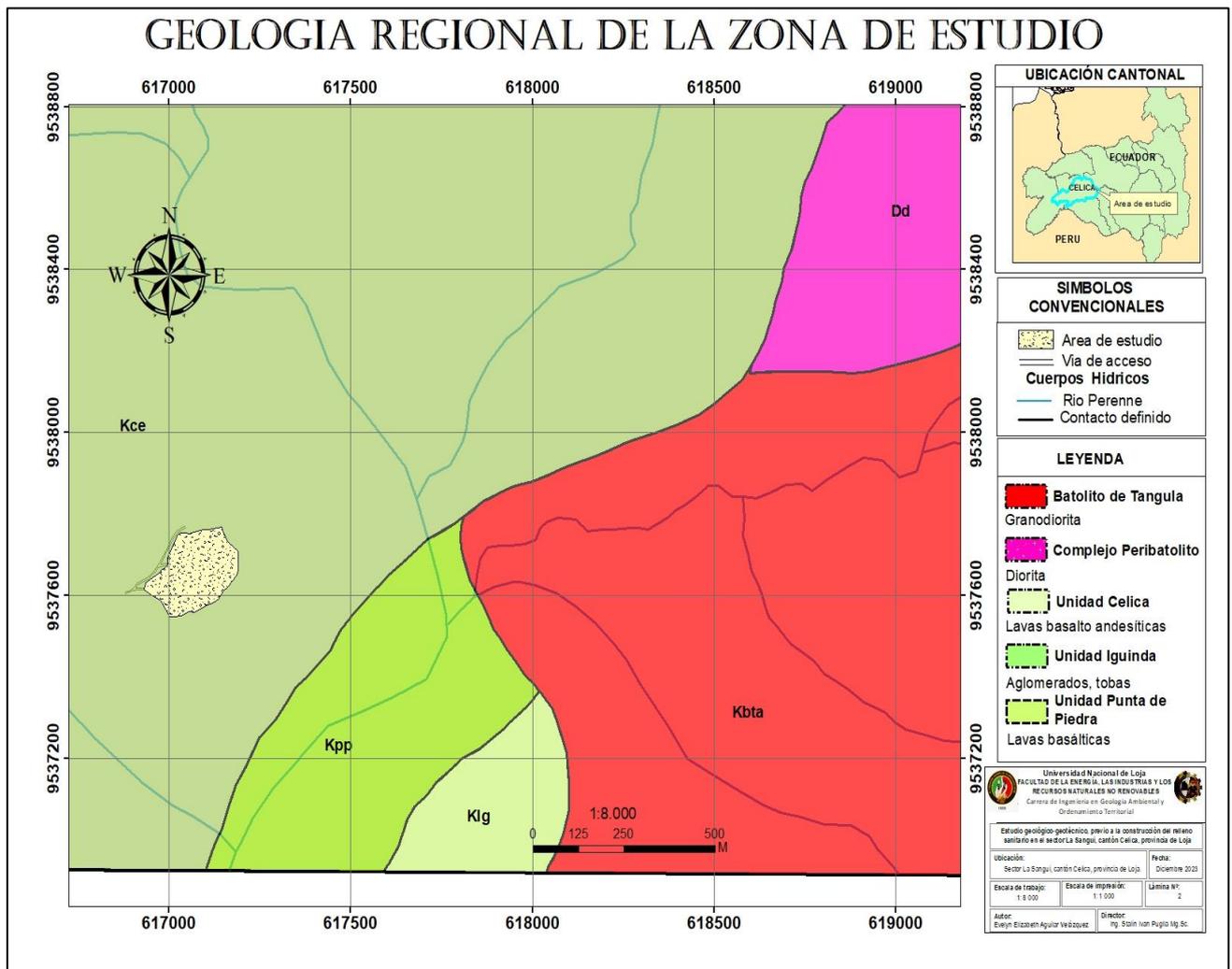
Las facies volcanoclásticas se encuentran conformadas principalmente por hialoclastitas de color verde con tonalidades gris-oscuras, contienen fragmentos de rocas volcánicas de composición básica-intermedia de color rojizo dentro de una matriz lávica de textura afanítica con gran cantidad de vidrio volcánico y minerales de alteración como clorita y epidota.

Batolito de Tangula cuerpo intrusivo que litológicamente está dominado por una granodiorítica hornbléndica de color gris-rojizo de grano grueso. En láminas delgadas se

observa textura hipidiomórfica, compuesta básicamente de feldespato de potasio, plagioclasas, cuarzo, biotita y hornblenda en menor cantidad.

Es común encontrar la granodiorita de color gris claro alterada y transformada en una arena de grano grueso. En varios sectores se la encuentra fracturada y se observan xenolitos de rocas volcánicas de la roca de caja que corresponde a los basaltos de la Unidad Punta de Piedra. Las edades para las rocas del Batolito de Tangula oscilan en los 110 Ma.

Figura 21. Geología Regional del área de estudio



La geología local fue elaborada en base a la metodología de mapeo por afloramientos de Horacio Echeveste, en la que inicialmente se hizo un análisis en gabinete de información previa de mapas base constituido por fotos aéreas o imágenes satelitales, considerando que los nombres de las unidades geológicas encontradas fueron provisorios, hasta el chequeo de la interpretación en el campo.

Una vez definido el polígono de mapeo el levantamiento consistió en caminar a lo largo del área limitada levantando puntos con GPS para poder ubicar correctamente cada afloramiento, luego se realizó el análisis litoestratigráfico, efectuando una descripción de las rocas y materiales encontrados, registrando la información obtenida en la libreta en el campo consignando la composición mineralógica, tamaño de grano, textura, estructura y color en superficie fresca.

En campo se eligió un nombre descriptivo para las rocas, considerando que su nombre estuvo relacionado con las características analizadas *In situ* (tamaño de grano, color, contenido mineral, etc.) La lupa de mano de 10 aumentos fue una herramienta indispensable que sirvió para la determinación mineralógica. La clasificación definitiva de la roca se realizó en gabinete con ayuda de estudios petrográficos de muestras recolectadas para estos fines específicos. Correlacionada la información de campo con gabinete se asignó el nombre definitivo de la unidad el cual consta en las referencias del mapa.

Figura 22. Levantamiento geológico



La información recopilada en campo fue procesada a través del software ArcGIS 10.5, sobre la base topográfica, efectuando la representación litológica correspondiente, usando herramientas de ArcToolbox para la obtención de polígonos, líneas, puntos, según sea necesario para el geoprosesamiento de datos, para finalmente obtener un mapa geológico a escala 1:1000, con el Datum UTM (WGS84) zona 17 Sur.

De la misma manera se realizaron dos calicatas con la finalidad de una búsqueda más detallada del material predominante en la zona, debido a que no se presenciaba un número de afloramientos considerable, este método apporto en la correspondiente correlación de la geología del sector.

Tomando como referencia el código de practica Ecuatoriano INEN-NEC-SE-GM 26-8 para realizar las calicatas, se inició removiendo la materia vegetal que se encuentre aproximadamente a 0.20cm de la capa inicial con la finalidad de poder observar a mayor detalle el material, luego se procedió a excavar hasta alcanzar la profundidad de 1m, anotando toda la información de la descripción geológica visualizada en la calicata. Siguiendo el orden siguiente:

Litología (componente principal, componente secundario), porcentaje, color, compacidad, tamaño de grano, textura y contenido en materia orgánica.

Figura 23. Imagen izquierda calicata nro. 3 - imagen derecha calicata nro. 1



5.4.2. Metodología para el segundo objetivo

Definir las propiedades físico – mecánicas de los materiales del área de construcción del relleno sanitario.

➤ Ensayo de penetración estándar

La perforación se la desarrollo mediante procedimiento manual con el equipo SPT (Standard Penetration Test) conforme la Norma ASTM D1586, realizando perforaciones cada metro hasta perforar el suelo a una profundidad de máxima de 4 metros. Para efecto de investigación se ejecutaron tres SPT, estableciendo previamente una triangulación en donde se va a efectuar el emplazamiento de la infraestructura.

La prueba de penetración estándar (SPT) permitió determinar la resistencia al esfuerzo de corte del suelo mediante el número de golpes necesarios para hincar el penetrómetro estándar y obtener muestras alteradas para identificar los suelos en estudio.

La prueba consistió en hincar el penetrómetro con una masa de 65kg dejándola caer desde una altura de 75 centímetros; durante el hincado se contabilizó el número de golpes que corresponde a cada uno de los avances, la resistencia a la penetración estándar se define como el número de golpes N.

Las pruebas fueron realizadas con columnas de soporte con tubo tipo NW y equipo de muestreo de tubo partido tipo Splin Spoon con martillo de seguridad, de acuerdo con las normas ASTM.

Para la determinación de la estratigrafía se realizaron muestreos alterados en el tubo partido, para cada prueba de penetración estándar realizada, determinando la clasificación del suelo subyacente.

Con estas muestras se puede conocer las condiciones estratigráficas, determinando los índices y granulometrías, así como también el número de golpes obtener la resistencia a corte del suelo.

Figura 24. Procedimiento de realización de SPT 1



Ensayos de laboratorio

Realizados los ensayos Spt se procedió a analizar las muestras en laboratorio, detallados a continuación:

Tabla 13. Ensayos en laboratorio realizados a las muestras obtenidas de SPT

Ensayo	Norma aplicada
Contenido de humedad natural	ASTM D – 2216
Análisis granulométrico	ASTM D-422
Límite líquido	ASTM D-4318
Límite plástico	ASTM D-4318
Índice de plasticidad	ASTM D-4318
Clasificación de suelos	SUCS Y AASHTO

Trabajo en Gabinete

Mediante los resultados de laboratorio de los ensayos SPT, se procedió a efectuar los respectivos cálculos:

- **Número de SPT corregido para condiciones en campo**

$$N_{60} = \frac{N\eta_H\eta_B\eta_S\eta_R}{60}$$

Donde:

N60: número de penetración estándar corregido para condiciones de campo

N: número de penetración medido

η_H = eficiencia del martillo (%)

η_B = corrección para el diámetro de la perforación

η_S = corrección del muestreador

η_R = corrección para la longitud de la varilla

Los valores de η_H , η_B , η_S y η_R se encuentran detallados a continuación en la figura 25:

Figura 25. Variaciones de η_H , η_B , η_S y η_R .

1. Variación de η_H				2. Variación de η_B	
Pais	Tipo de martinete	Liberación del martinete	η_H (%)	Diámetro, mm	η_B
Japón	Toroide	Caída libre	78	60-120	1
	Toroide	Cuerda y polea	67		
Estados Unidos	De seguridad	Cuerda y polea	60	150	1.05
	Toroide	Cuerda y polea	45	200	1.15
Argentina	Toroide	Cuerda y polea	45		
China	Toroide	Caída libre	60		
	Toroide	Cuerda y polea	50		
3. Variación de η_S				4. Variación de η_R	
Variable				Longitud de la barra, m	η_R
Muestreador estándar	1.0			> 10	1.0
Con recubrimiento para arena y arcilla densas	0.8			6-10	0.95
Con recubrimiento para arena suelta	0.9			4-6	0.85
				0-4	0.75

Nota. Fuente: Elaborado por Braja Das, (2012)

Para poder llegar a N60 en un equipo estándar, se tiene que considerar los factores de corrección, de acuerdo al martillo Donut (Toroide) o Safety (De seguridad) que se posea, al diámetro de la perforación, si la cuchara partida se tiene con recubrimiento para extracción de muestras (liner sampler), de acuerdo a la longitud de la barra.

Una vez escogido todos los factores correspondientes se proceden a multiplicar todos estos por el valor de NSPT (Número de golpes obtenidos en campo) y dividir para el valor de 60 (para una relación energética promedio de 60%) (Das, 2012)

- **Ángulo de rozamiento interno (DUNHAM)**

$$\varphi = (12 * N)^{0.5} + 25$$

Donde:

N: número de penetración

φ : ángulo de rozamiento interno

- **Sísmica de Refracción**

El trabajo de prospección sísmica en campo consistió en la ejecución de dos líneas sísmicas de 120.0 m y de 80.0 m con separación entre geófonos de 5 metros (LS1) y de 3.35 m entre geófonos (LS2), respectivamente para la recepción de las ondas Vp.

Durante la prospección sísmica para la recepción de las ondas Vp se utilizó la metodología Z-Z, es decir geófonos verticales con disparos con martillo en sentido vertical. Se realizaron tres disparos o impactos en cada base o línea sísmica distribuidos de la siguiente manera:

Dos impactos con martillo en los extremos de la base a 5 m. de distancia de los geófonos 1 – 24 y uno entre los geófonos 12 – 13 (impacto intermedio).

El equipo empleado para la refracción sísmica se puede observar en la figura 26.

Figura 26. *Equipo Sísmica PASI GEA24 para refracción sísmica*



Trabajo en campo

Para el correcto desarrollo del ensayo de sísmica refracción se utilizó como guía las indicaciones estipuladas en la norma ASTM D5777-00.

Para la obtención de los sismogramas, se realizan tres tiros con martillo de acuerdo a la norma ASTM D5777 - 00, en la línea sísmica y se emplearon geófonos verticales para la lectura de las ondas de compresión. El tiro corresponde a dos tiros de punta y un tiro central, los tiros de punta para líneas de 120 m se separan 5,00 m del último geófono y los tiros de punta para líneas de 80 m se separan 3.33 m del último geófono.

Lo que determina la variación de sus propiedades físicas son sus fronteras sísmicas entre estratos o materiales geológicos con propiedades diferentes. Físicamente los materiales pueden tener variada litología, contextura, estructura, estado de saturación, grado de alteración, etc.

Las fronteras sísmicas serán definidas de acuerdo con el cambio de las propiedades sísmicas de los materiales (en este caso la velocidad longitudinal o compresional) donde se produce el fenómeno de refracción total y que constituye la base de la teoría física del método.

Con los registros obtenidos en campo se realizó la interpretación cualitativa y cuantitativa, el proceso de interpretación consto de las siguientes etapas:

- Correlación de facies y determinación de las primeras llegadas de las ondas refractadas en los sismogramas de campo.
- Elaboración de dromocronas
- Cálculo de las velocidades aparentes
- Cálculo de espesores y profundidades

➤ **Ensayo de corte directo**

El ensayo de corte directo se llevó a cabo utilizando una muestra del suelo en cuestión, antes de realizar el ensayo se preparó la muestra dándole una geometría específica para asegurar condiciones adecuadas de corte.

Las caras de la muestra son lisas y paralelas para garantizar la uniformidad del esfuerzo durante el ensayo.

Para efectuar el ensayo se utilizó:

- Muestra
- Tornillos
- Muestreador
- Caja de corte
- Placas de transferencia de carga

Inicialmente se procedió armar la caja de corte, poniendo una placa de transferencia de carga en la parte inferior, después se colocó la parte superior de la caja la cual se aseguró con los tornillos, luego se procedió a ubicar el muestreador para poder situar la muestra

correctamente, se pusieron placas de transferencia de carga que efectuaron una presión vertical compactando todo el material, una vez lista la caja de corte directo fue introducida en el equipo, en donde se dispuso dicha caja en otra más grande encajando correctamente, verificado que encajo adecuadamente se retiraron los tornillos.

Escogida la velocidad de las cargas, se activó el dinamómetro y se realizó el ensayo, los datos fueron anotados conforme se efectuó el ensayo.

Los datos obtenidos del ensayo de corte directo fueron:

- **Esfuerzo Normal (σ):**

El esfuerzo normal es la fuerza por unidad de área perpendicular a la superficie de falla, en el ensayo de corte directo, solo se aplicó una carga normal (fuerza vertical). Para calcular el esfuerzo normal, dividió la fuerza aplicada (F) por el área transversal de la muestra (A).

$$(\sigma) = F / A$$

Donde:

σ = Esfuerzo Normal (en Pa o psi, dependiendo de las unidades utilizadas)

F = Fuerza aplicada (en N o lbf, dependiendo de las unidades utilizadas)

A = Área transversal de la muestra (en m² o pulgadas², dependiendo de las unidades utilizadas)

- **Esfuerzo Cortante (τ):**

El esfuerzo cortante es la fuerza por unidad de área tangente a la superficie de falla, en el ensayo de corte directo, el esfuerzo cortante se obtuvo al momento de producirse el deslizamiento o corte de la muestra. Para calcular el esfuerzo cortante se dividió la fuerza cortante (Fs) por el área de la sección de falla de la muestra (As).

$$(\tau) = F_s / A_s$$

Donde:

τ = Esfuerzo Cortante (en Pa o psi, dependiendo de las unidades utilizadas)

Fs = Fuerza cortante o fuerza requerida para el deslizamiento (en N o lbf, dependiendo de las unidades utilizadas)

As = Área de la sección de falla de la muestra (en m² o pulgadas², dependiendo de las unidades utilizadas)

5.4.3. Metodología para el tercer objetivo

El tercer objetivo se basó principalmente en trabajo en gabinete, con los datos obtenidos de los ensayos del segundo objetivo.

Capacidad portante en base a SPT

Para el análisis de la capacidad de carga se utilizaron los parámetros obtenidos de correlaciones empíricas con la prueba de penetración estándar. Para el cálculo de la capacidad de carga se observó y tomo los datos más críticos de las perforaciones a la profundidad tentativa de desplante.

Se analizó la ecuación de Meyerhof:

Fórmula de Meyerhof, 1963

$$Q_{adm} = \frac{N}{10}$$

- Q_{adm} : carga admisible (kg/cm²).
- N: Número de golpes en el ensayo SPT.

Consistencia Relativa (Cr)

Para determinar la firmeza y la solidez del suelo, se expresa en la siguiente ecuación:

$$CR = \frac{LL \cdot Ws}{IP}$$

- Cr: Consistencia relativa
- LL: Limite liquido
- IP: Índice plástico
- Ws: contenido de humedad

Tabla 14. Consistencia relativa

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

Nota. Fuente: Elaborado por Gonzáles de Vallejo, (2002)

Índice de liquidez

El índice liquido permitió evaluar el comportamiento plástico de los suelos y con ello alcanzar una idea de la historia de los esfuerzos a los que fueron sometidos.

$$IL = \frac{Ws - LP}{IP}$$

- IL: Índice de liquidez
- LP: Limite plástico
- IP: Índice plástico
- Ws: contenido de humedad

Tabla 15. Comportamiento de suelos en función del IL

IL	Comportamiento de Suelos
----	--------------------------

< 0.00	Suelo en estado sólido a semi sólido
0.00-1.00	Plástico (Arcillas expansivas)
>1.00	Sensibles (En estado natural son estables, pero con carga colapsan)

Nota. Fuente: Elaborado por Gonzáles de Vallejo, (2002)

Comportamiento de Arcillas

Es un valor adimensional que ayudo a determinar el comportamiento, actividad, potencial de cambio de volumen y el tipo de arcillas, efectuado mediante la siguiente ecuación:

$$A = \frac{IP}{\text{Fraccion de arcillas (\% < 2mm)}}$$

- IP: Índice plástico

Tabla 16. Numero 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

Nota. Fuente: Obtenido de Skempton & Macdonald, (1956)

Tabla 17. Criterios para determinar el cambio de volumen

Tipo de arcilla	Valor del Parámetro A de Skempton
Altamente Sensitiva	0.75 a 1.5
Normalmente consolidada	0.5 a 1.0
Arcilla arenosa compacta	0.25 a 0.75
Arcillas ligeramente sobreconsolidada	0.0 a 0.5
Arcillas gravosas compactas	-0.25 a +0.25
Arcillas muy sobreconsolidadas	-0.5 a 0.0

Nota. Fuente: Obtenido de Holtz & Gibbs, (1956)

Tabla 18. Criterios para determinar el cambio de volumen

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

Nota. Fuente: Obtenido de Skempton & Macdonald, (1956)

Tabla 19. 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

Nota. Fuente: Obtenido de Holtz & Gibbs, (1956)

Capacidad portante en base a la línea sísmica – Tezcan

Para determinar la capacidad portante del suelo, mediante la línea sísmica se debe obtener los datos de las velocidades de onda *In situ*

$$qa = 0.1 \gamma Vs / n$$

Asimismo, la densidad del suelo puede ser hallada por:

$$\gamma = 4.3 (V_s) 0.25$$

El factor de seguridad n, será calculado empleando la siguiente tabla:

Tabla 20. Factores de seguridad para suelos y rocas

Tipo de suelo	Vs – rango (m/s)	n
Rocas duras	$V_s \geq 4000$	n = 1.4
Rocas blandas	$750 \leq V_s \leq 4000$	n = 4.6 – 0.0008. Vs
Suelos	$V_s \leq 750$	n = 4.0

Nota. Fuente: Obtenido de Tezcan, (2009)

Capacidad portante en base a la línea sísmica – Meyerhof

$$qa = \frac{N}{10}$$

$$N = (0.028V_p - 7.6)$$

Donde:

- N: Golpes
- Qa: Capacidad de carga
- Vp: Velocidad de propagación de las ondas sísmicas primarias

Asentamientos

Una vez obtenido el perfil de velocidades de las ondas longitudinales (Vp) y el de las transversales (Vs) se estimó los asentamientos utilizando las siguientes expresiones matemáticas:

Relación de Poisson: describe cómo cambia el volumen de un material en respuesta a las deformaciones aplicadas en una dirección específica.

$$v = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)}$$

Donde:

- Vs: Velocidad de propagación de las ondas sísmicas transversales
- Vp: Velocidad de propagación de las ondas sísmicas primarias

Peso unitario: conocido como peso específico o densidad aparente, es una propiedad física de los materiales y se refiere al peso de una unidad de volumen del material.

$$\delta = \delta_0 + 0.002V_p$$

Módulo de Elasticidad o Módulo de Young (E_{din}): representa la cantidad de esfuerzo por unidad de deformación.

$$E_{din} = \delta V_s^2 \left(\frac{3V_p^2 - 4V_s^2}{V_p^2 - V_s^2} \right)$$

Donde:

- δ : densidad del material
- E_{din} : Módulo de elasticidad
- V_s : Velocidad de propagación de las ondas sísmicas transversales
- V_p : Velocidad de propagación de las ondas sísmicas primarias

Módulo estático (E_s): representa la rigidez a largo plazo del suelo.

$$E_s = \alpha \left(\frac{E_{din}}{E_{dinmax}} \right)^\beta \times E_{din}$$

Donde:

- β : Factor de forma

Angulo de corte

Considerando el material, el FS para construcción es 1.25 de acuerdo a la NEC, y en relación a los ángulos de fricción obtenidos previamente, se efectúa el cálculo para ángulo de corte.

$$\phi = \tan^{-1} \frac{\tan \phi}{FS}$$

6. Resultados

6.1. Características Geológicas

6.1.1. Topografía

El área de estudio está comprendida por 3,55ha con alturas que van desde los 770 m s.n.m. en la parte más alta, hasta los 725 m s.n.m en las cotas más bajas. El mapa topográfico fue realizado a escala 1:1000, con curvas principales a 5m y secundarias a 1m.

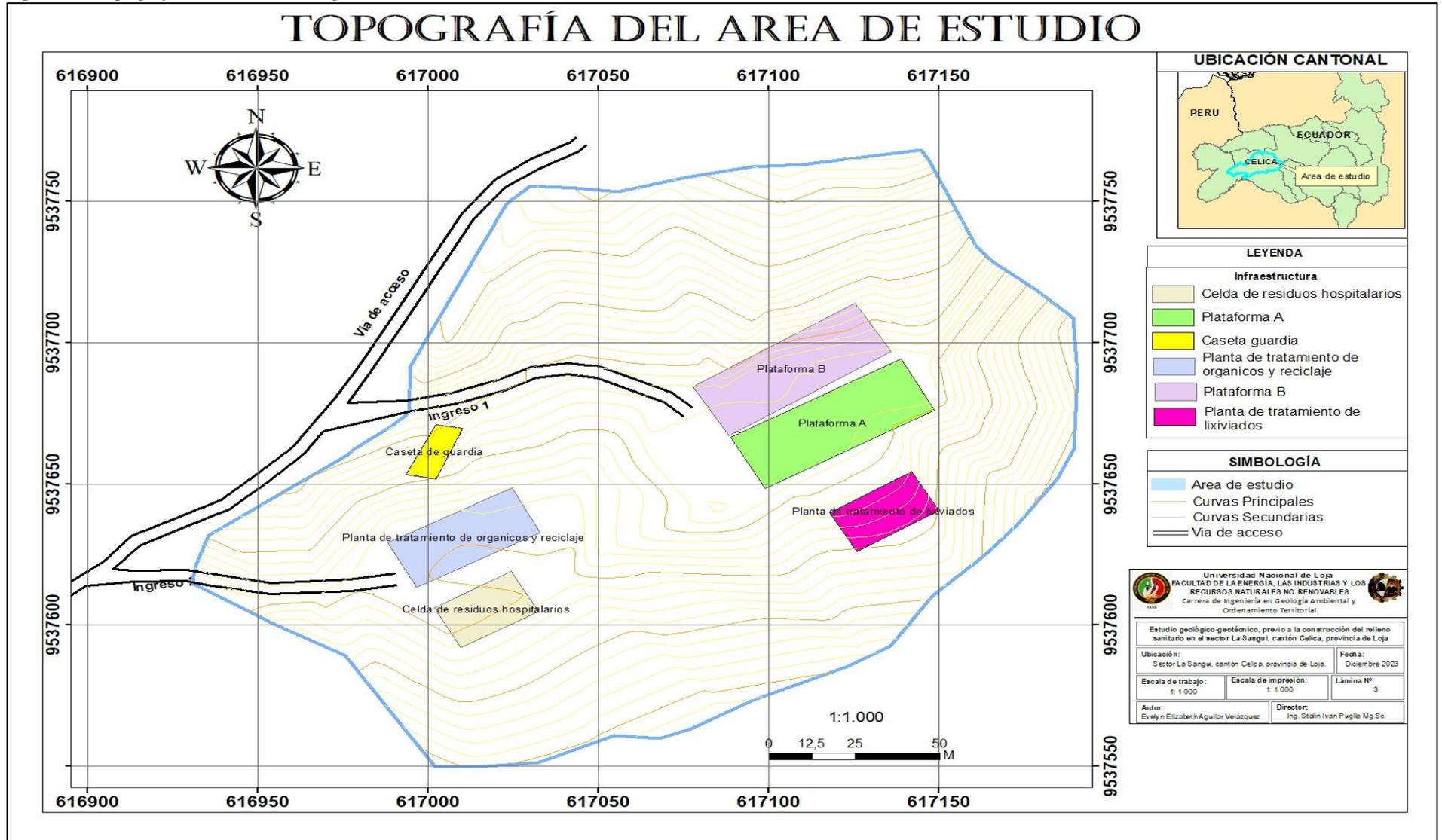
Se ha clasificado como un relieve montañoso, su génesis se debe a procesos tectónicos – erosivos, se puede evidenciar que el desnivel del mismo se efectúa principalmente al Sureste del polígono.

Se establece que de acuerdo a la topografía el terreno presenta una inclinación que va desde (5 a 45°).

De la misma forma se digitalizó la infraestructura que se pretende construir, la cual fue otorgada por el GAD del cantón Celica, dispuesta de la siguiente manera: plataforma A y B (disposición de residuos sólidos), planta de tratamiento orgánico y reciclaje, celda de residuos hospitalarios, planta de tratamiento de lixiviados y la caseta destinada a la seguridad.

En la figura 27 se puede observar el mapa topográfico del área de estudio.

Figura 27. Topografía del sector La Sangui



6.1.2. Pendientes

La representación cartográfica de las pendientes indica el grado de inclinación en el área de estudio, las cuales fueron catalogadas en cuatro clases en base a la clasificación de Demek 1972, se presentan a continuación en la tabla 21:

Tabla 21. Clasificación de pendientes

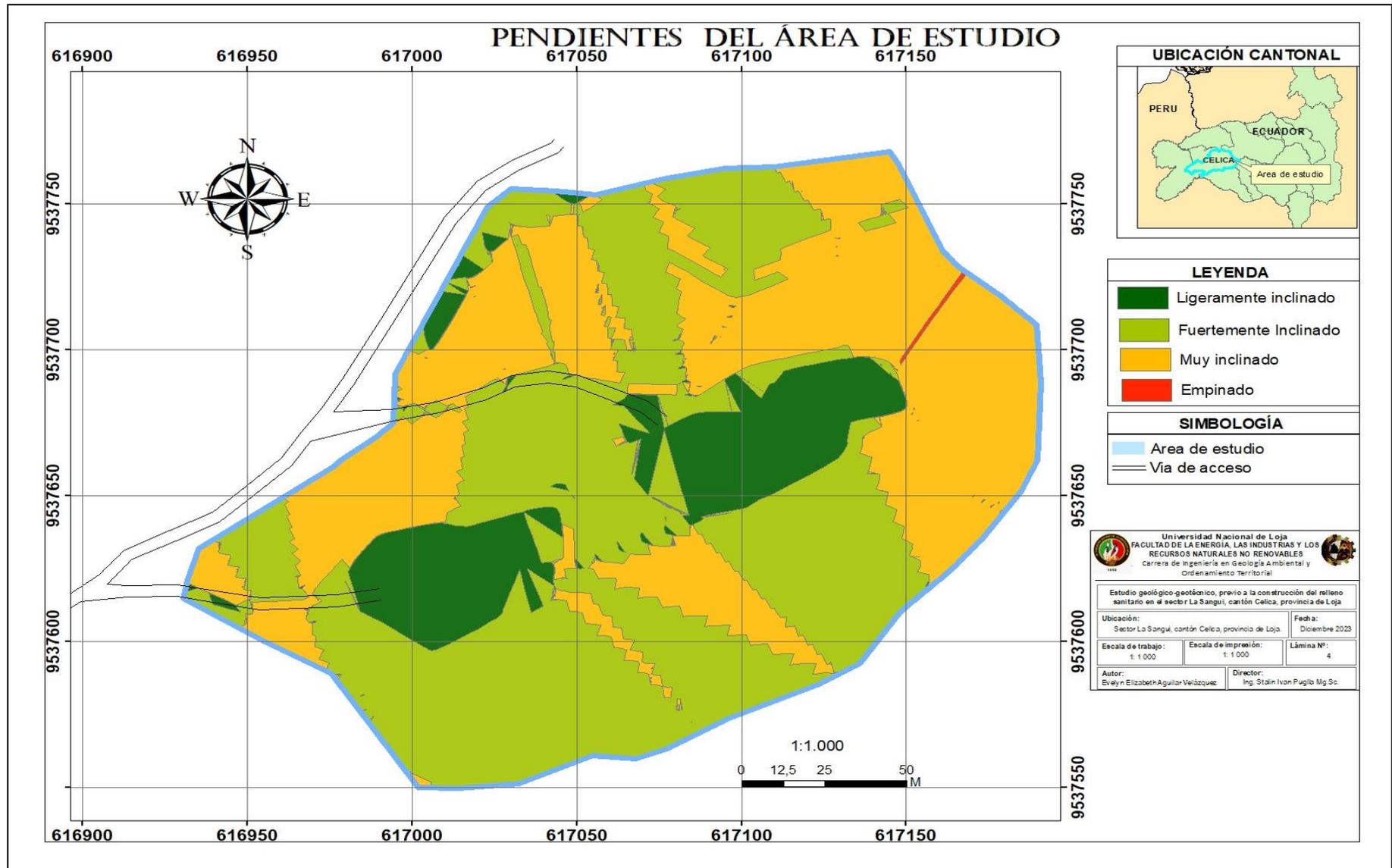
Simbología	Rango (°)	Clase	Área (ha)	Porcentaje
	0 - 5	Ligeramente inclinado	0.33	17,79
	5 -15	Fuertemente inclinado	1.50	42,37
	15- 35	Muy inclinado	1.38	38,98
	35 - 45	Empinado	0.03	0.84

Como se puede observar en la tabla 21 se han obtenido cuatro clases de pendientes en el área de estudio:

- **Rango 0 - 5:** denominada como pendiente ligeramente inclinada con 0.33ha y un porcentaje de 17,79% en este tipo de pendiente se encuentra en la zona donde se pretende emplazar las plataformas en donde serán enterrados los desechos sólidos y la planta de tratamiento de orgánicos y reciclaje.
- **Rango 5 - 15:** denominada como pendiente fuertemente inclinada con 1.50ha y un porcentaje de 42,37% se considera que es el tipo de pendiente más predominante en el área de estudio. En esta zona se pretende efectuar la planta de tratamiento de lixiviados y celda de residuos hospitalarios.
- **Rango 15 - 35:** denominada como pendiente muy inclinada con 1.38ha y un porcentaje de 38,98% al igual que la clase anterior se puede observar que abarca una importante área en el polígono de estudio. En esta zona en la parte Sureste se va efectuar una franja de amortiguamiento mediante la plantación de vegetación resistente como bambú y carrizo, con la finalidad de retener lixiviados en caso de que se infiltren y de esta forma minimizar el impacto de la contaminación.
- **Rango 35 - 45:** denominada como pendiente empinada con 0.03ha y un porcentaje de 0,84% este tipo de pendiente se presenta en un rango minoritario en el polígono de estudio.

A continuación, en la figura 28, se puede observar el mapa de pendientes del área del estudio.

Figura 28. Pendientes del área de estudio



6.1.3. Geología Local

El levantamiento geológico consintió principalmente en identificar y analizar la litología local, a partir de la descripción de afloramientos dispuestos sobre el área de estudio, empleando la ficha para la caracterización de los mismos permitiendo analizar la secuencia litoestratigráfica de la zona, por medio de observaciones *in situ* y correlacionando con las unidades descritas regionalmente.

Se describió un total de 5 afloramientos siendo todos de origen antrópico, recolectando muestras para su respectivo análisis y observación en laboratorio.

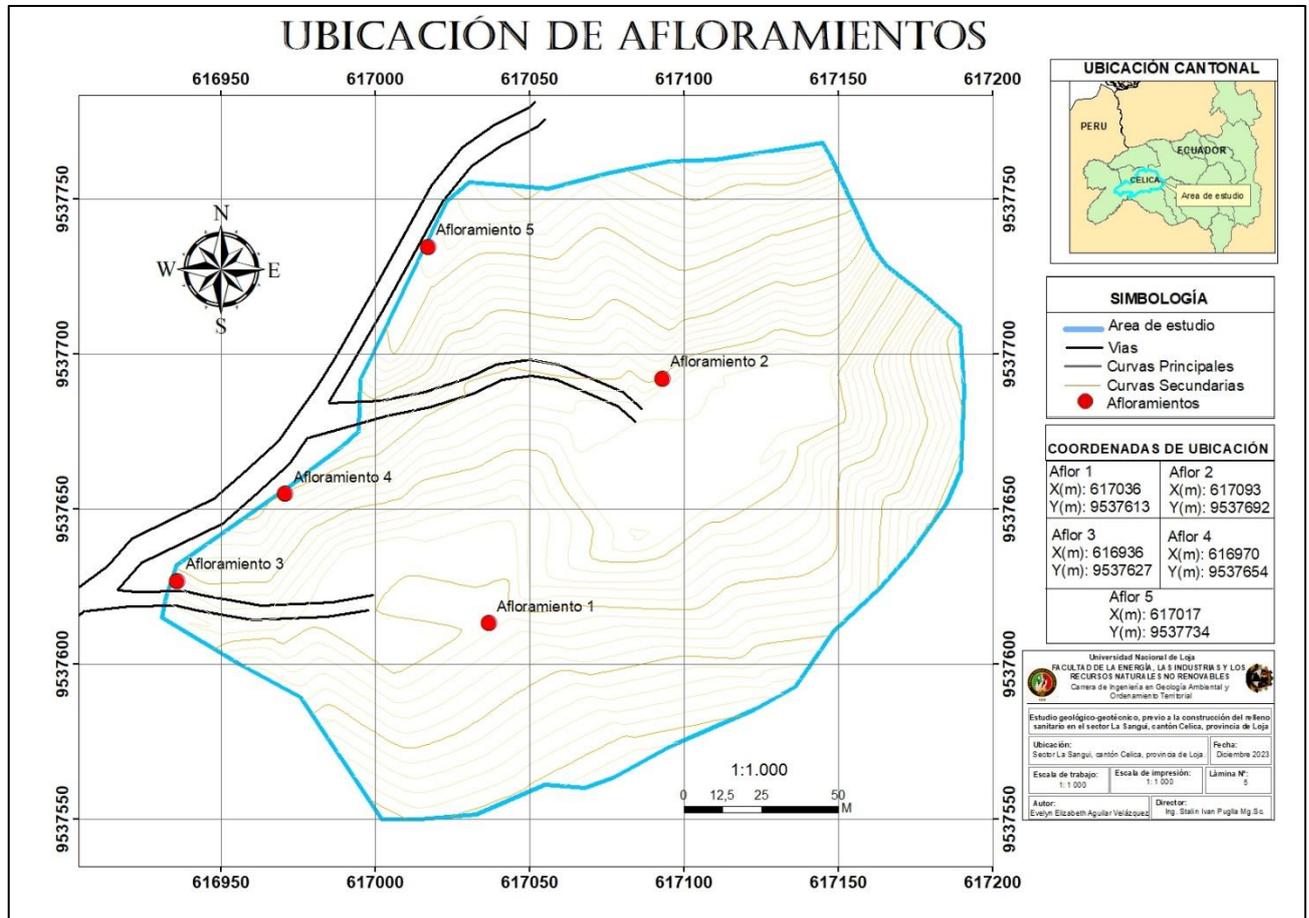
Los afloramientos encontrados se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 22. Ubicación de afloramientos encontrados en el área de estudio

Nro. de afloramiento	Coordenadas			Origen
	X(m)	Y(m)	Z(m)	
1	617036	9537613	744	Antrópico
2	617093	9537692	754	Antrópico
3	616936	9537627	749	Antrópico
4	616970	9537654	755	Antrópico
5	617017	9537734	767	Antrópico

En la figura 29 se puede observar la ubicación de afloramientos:

Figura 29. Ubicación de afloramientos



El área de estudio se ubica al Sur de la Cordillera Real, perteneciente a la Unidad Celica de edad del cretácico inferior. En donde principalmente se ubican sedimentos cuaternarios de origen coluvial, con clastos de rocas ígneas de tamaños variables entre 8 a 15 cm cuya composición mineralógica al meteorizarse genera como resultado, materiales arcillo - limosos y arenosos, indicando que el material expuesto es muy susceptible a las condiciones climáticas del sector, que predominantemente es árido.

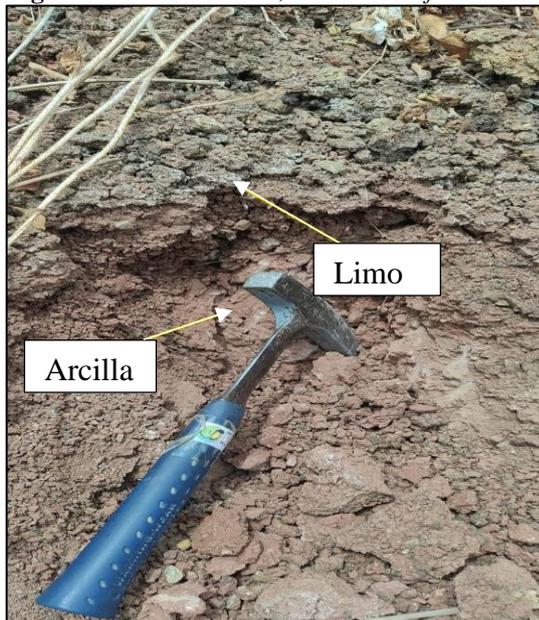
En la figura 30 se puede observar la presencia de algunas grietas de desecación

Figura 30. Afloramiento Nro. 1, grietas de desecación – limo - arcillas



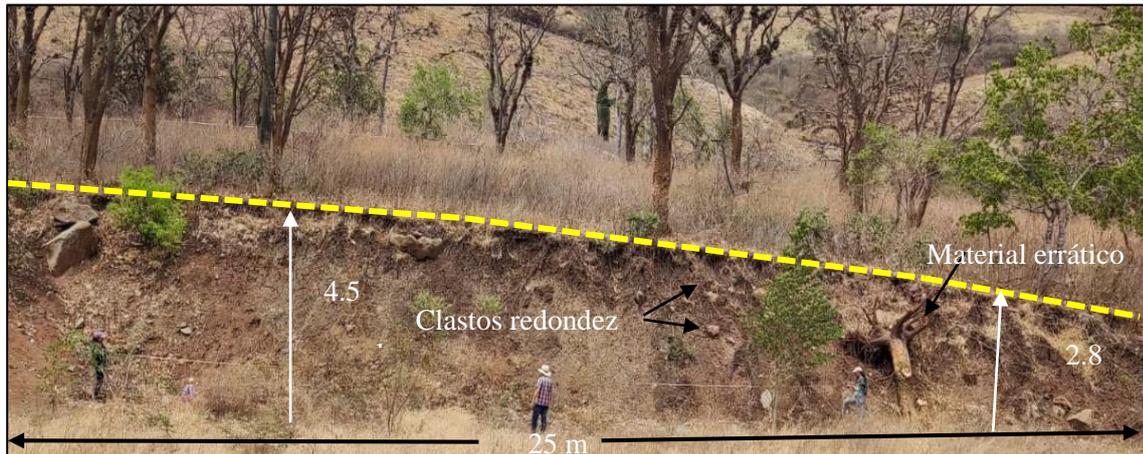
En la Figura 31 se puede apreciar con mayor detalle, la presencia de material limo-arcilloso, notándose la fragmentación del material producto de la erosión.

Figura 31. Material limo, arcilloso - Afloramiento Nro.1



En la Figura 32 se puede observar el afloramiento 1 en la zona Noroeste del área de estudio, en donde se localizan sedimentos coluviales pertenecientes a depósitos cuaternarios, que están caracterizados por materiales cubiertos por una capa de suelo orgánica de 0,70 cm, además del material de composición arcillo limoso de coloración marrón oscuro, así mismo, se aprecian clastos de andesita muy oxidada con intrusionas de cuarzo y presencia de minerales ferromagnéticos (anfíboles).

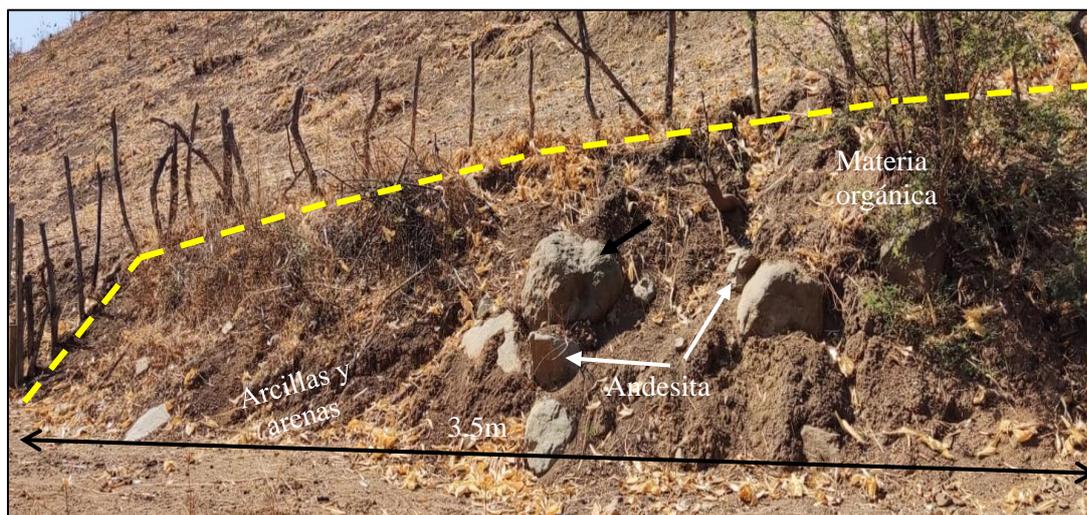
Figura 32. Afloramiento Nro. 1



Existe una diferenciación en la altura del talud, donde su perfil muestra restos de materia orgánica (truncos de árboles) y material errático y desordenado, mostrando así, su carácter de depósito coluvial.

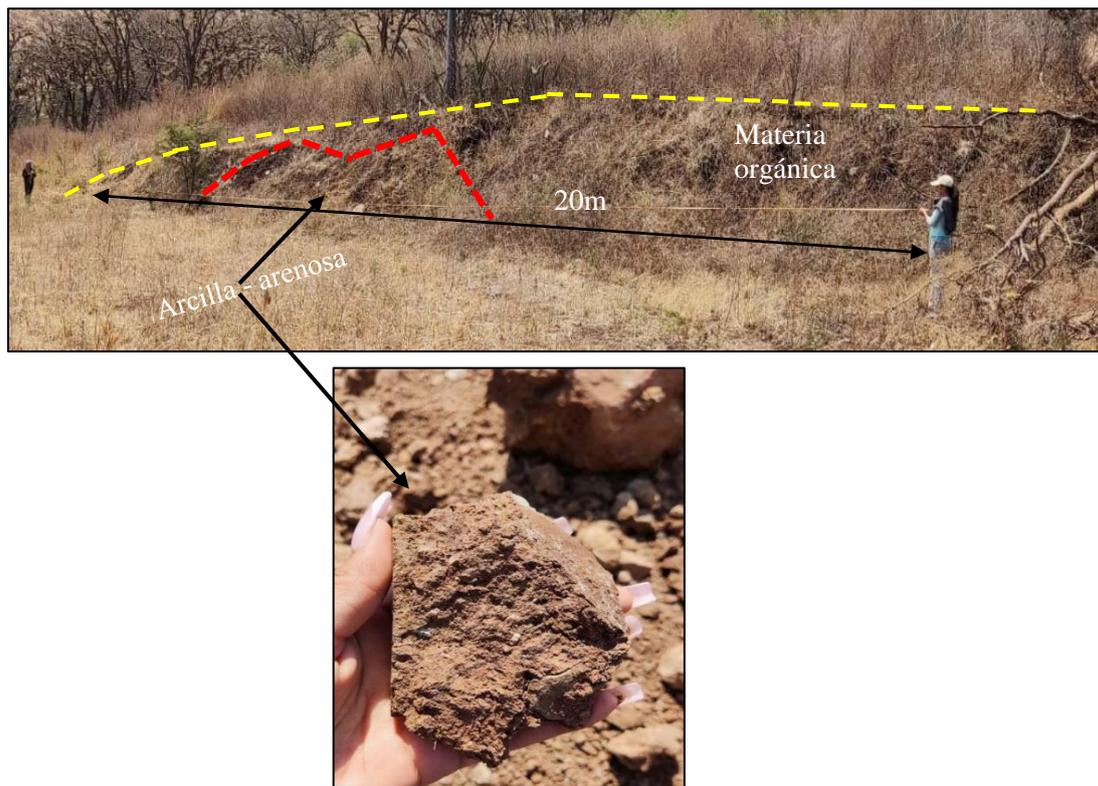
La Figura 33 al Este de la zona de estudio se encuentra el segundo afloramiento de 3.5 m, en donde predominan materiales residuales producto de la meteorización de las rocas, están compuestos principalmente por arcillas y arenas, además de la presencia de clastos de andesitas fracturadas sub redondeadas que se encuentran constituidas dentro de esa matriz arcillosa, todo el afloramiento muestra variación de tonalidades debido a la alta oxidación y descomposición de las rocas.

Figura 33. Afloramiento Nro. 2



En La Figura 34 se aprecia el tercer afloramiento de 20 m de longitud, ubicado en la parte Noroeste de la zona de estudio, donde se puede observar la presencia de clastos angulosos de arcilla arenosa compuestas en un 85% de granos de cuarzo y feldespatos redondeados, con tamaños que varían entre 1 mm y 1.5 mm, en la parte derecha del afloramiento se presencia material tipo detritos de suelo residual, materia vegetal descompuesta y vegetación de tipo herbácea que cubre toda la superficie del afloramiento. Al igual que los anteriores afloramientos, la altura del mismo es diferencial.

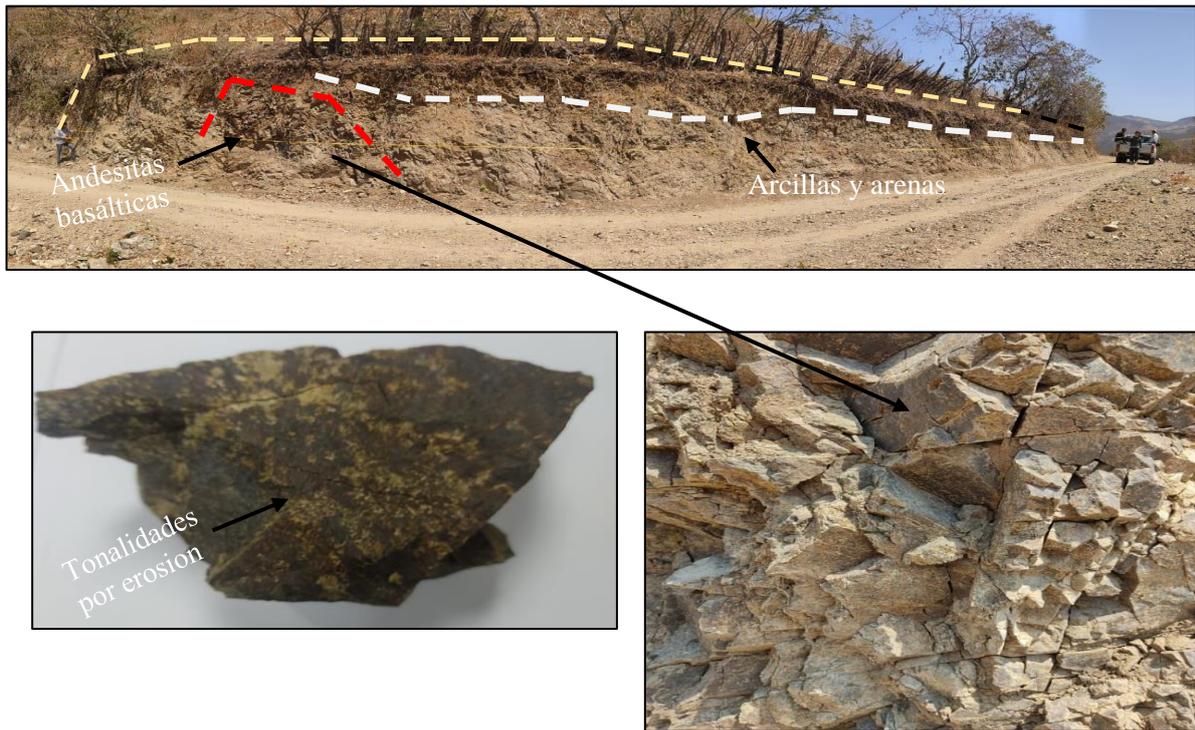
Figura 34. *Afloramiento Nro. 3*



En la Figura 35 se observa el afloramiento cuatro, ubicado al margen izquierdo de la vía principal de acceso, constituido principalmente de arcilla - arenosa y fragmentos de andesitas basálticas, originalmente la tonalidad de la roca es de gris oscuro, pero debido a la fuerte erosión de la zona, se evidencia una tonalidad marrón y naranja, los minerales principales son piroxeno 25% y plagioclasa 75%, mientras que los minerales accesorios son olivino y pequeños fragmentos de cuarzo.

La textura de la roca es afanítica, ya que no se permitió palpar y observar granulometrías mayores a 0.02 mm, se observó alteraciones masivas en su estructura debido a los agentes erosivos generando fracturas que rompen en bloques a la roca mostrando lo heterogéneo en relación a las propiedades mecánicas o de resistencia de esos clastos.

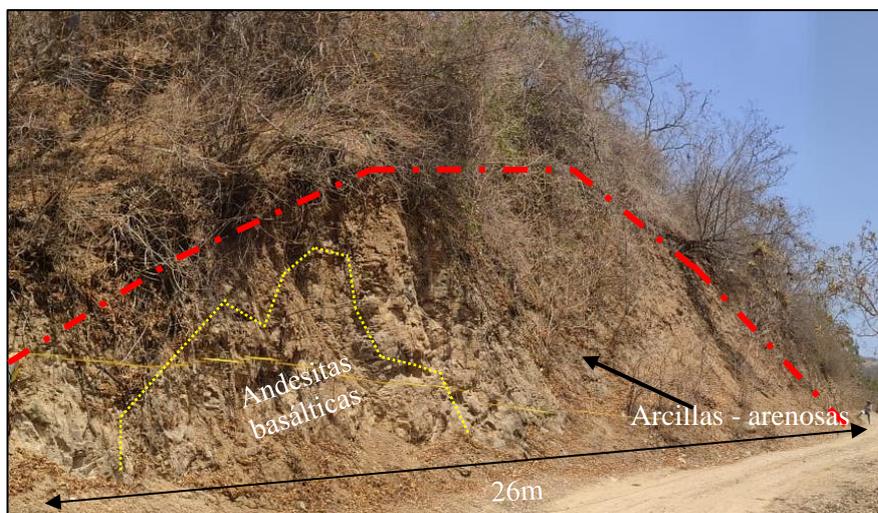
Figura 35. *Afloramiento Nro. 4*



La Figura 36 muestra el quinto afloramiento de 26 m de largo ubicado en la vía principal de acceso, tiene las mismas características descritas en el anterior afloramiento, constituido principalmente de arcillas-arenosas con clastos de andesita basáltica de textura afanítica, con un material de relleno sedimentario ubicados en las grietas internas de la roca, presenta una fuerte erosión que origina las tonalidades rojizas y naranjas, además de estar compuesto de plagioclasa como mineral principal y cuarzo como secundario.

Al pie del afloramiento se puede evidenciar la depositación de materiales finos y arcillosos mostrando lo suelto del mismo.

Figura 36. Afloramiento Nro. 5



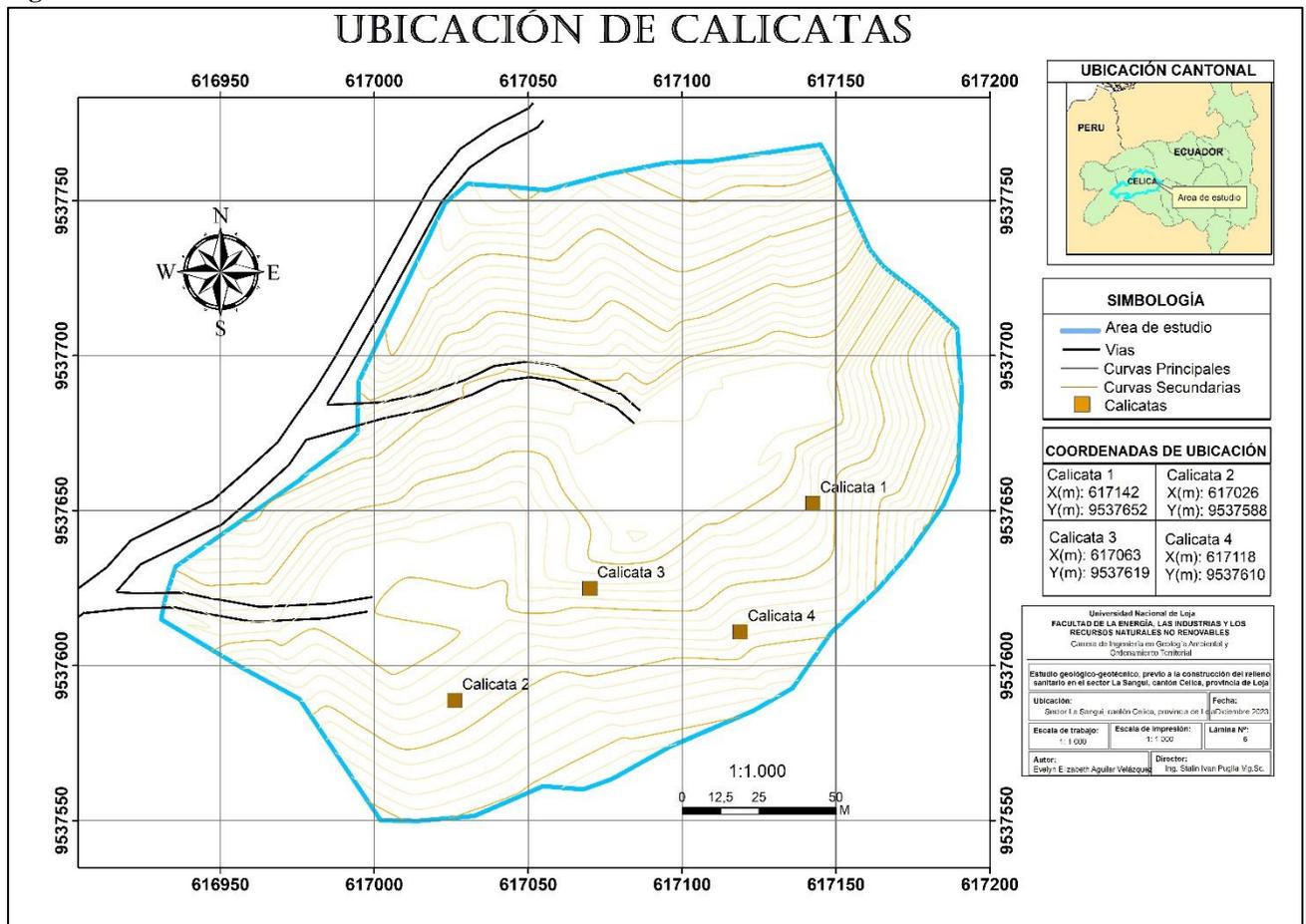
Debido a la poca existencia de afloramientos se procedió a realizar 4 calicatas ubicadas en las siguientes coordenadas:

Tabla 23. Ubicación de calicatas

Nro. de calicata	Coordenadas			Profundidad
	X(m)	Y(m)	Z(m)	
1	617142	9537652	748	1m
2	617026	9537588	742	1m
3	617063	9537619	746	1m
4	617118	9537610	742	1m

En la figura 37 se puede observar la ubicación de calicatas:

Figura 37. Ubicación de calicatas



En la calicata Nro. 1 realizada a la profundidad de 1 metro, se observa que existe una amplia cobertura vegetal que fue removida hasta alcanzar una profundidad de 0 a 20 cm, bajo esta cobertura hasta los 50 cm se evidencia la presencia de arcillas - limosas de tonalidades café y pequeños fragmentos de andesita de tamaños que varían entre los 4 a 8 cm, a la profundidad de 100 cm se encontró arcillas, la plasticidad del material es baja.

Figura 38. Calicata Nro. 1

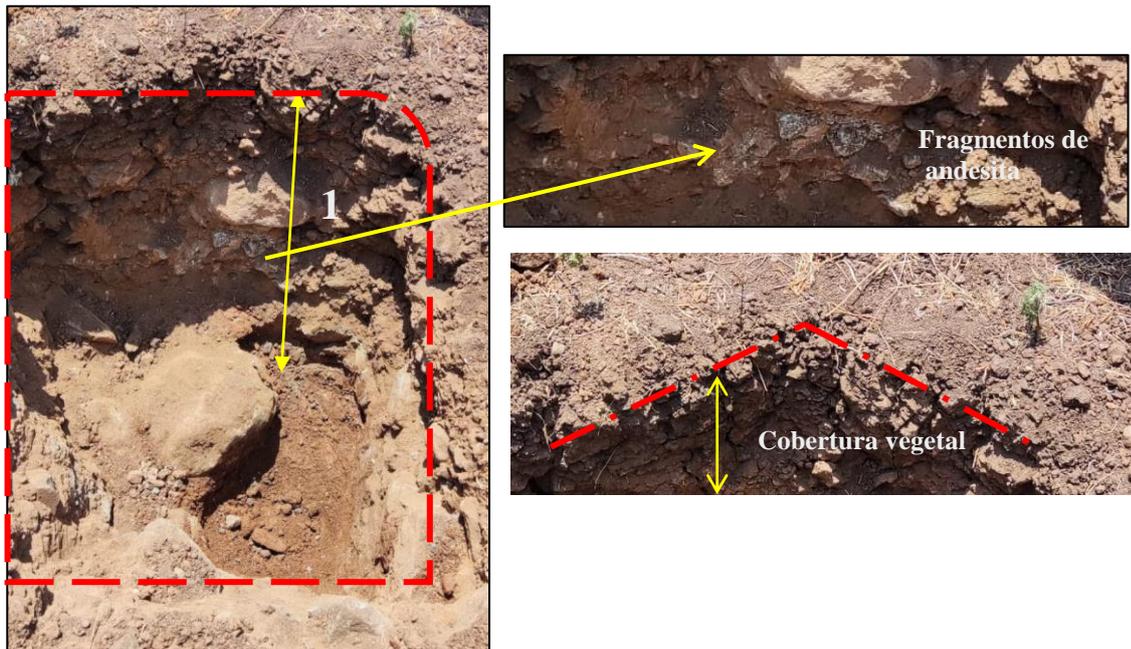
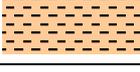


Tabla 24. Perfil estratigráfico - calicata 1

Nivel o profundidad (cm)	Tipo de Suelo	Perfil	CH
20cm	Cobertura vegetal y suelo residual		20%
50cm	Arcillas - limosas fragmentos de andesita		40%
100cm	Arcillas		40%

En la calicata Nro. 2 a la profundidad de 0 a 10 cm se observa cobertura de suelo residual, a los 20 cm de profundidad existen fragmentos de andesita de mayor tamaño desde 8cm hasta 10 cm, a los 60 cm existe una variación en el material con la presencia de arcillas y limos con tonalidades marrones, a los 80 cm – 100 cm se localizan arcillas con presencia de humedad y una plasticidad media.

Figura 39. Calicata Nro. 2

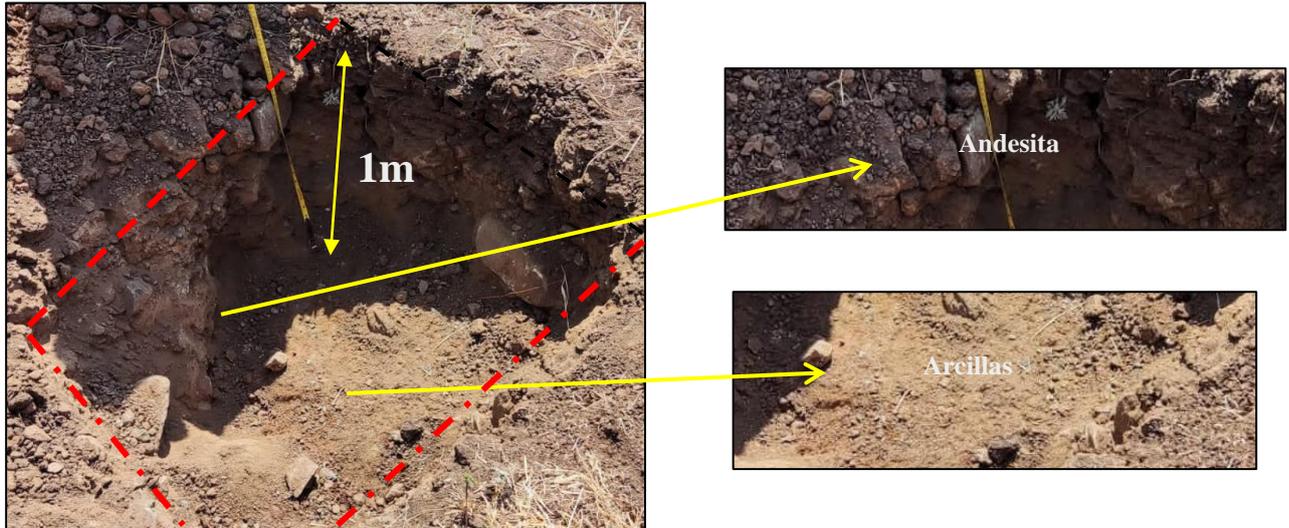
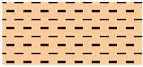


Tabla 25. Perfil estratigráfico - calicata 2

Nivel o profundidad (cm)	Tipo de Suelo	Perfil	CH
10cm	Suelo residual		20%
20cm	Fragmentos de andesita		40%
60cm	Arcillas - limosas		50%
100cm	Arcillas		40%

En la calicata Nro. 3 a la profundidad de 0 a 15cm se observa cobertura de suelo residual y materia orgánica, a los 30cm de profundidad existen fragmentos de andesita de 15cm, a los 80cm existe la presencia de arcillas – limos con tonalidades marrones, a los 100cm se localizan arcillas con poca humedad y clastos de andesita.

Figura 40. Calicata Nro. 3

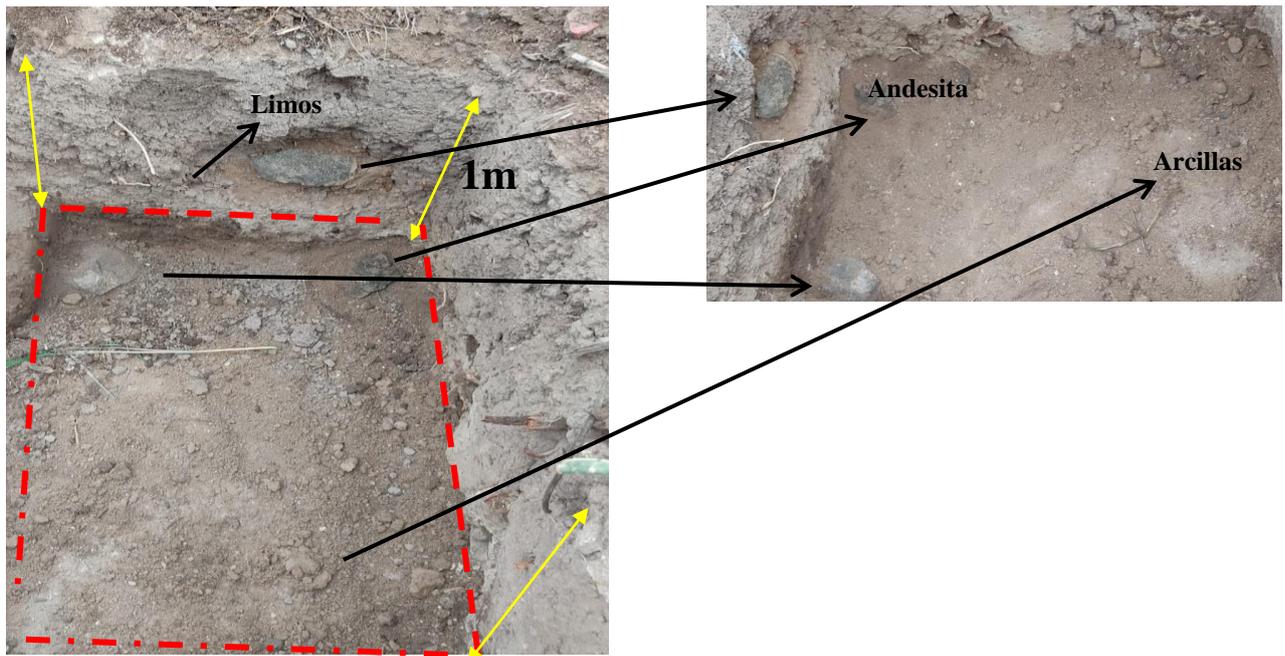


Tabla 26. Perfil estratigráfico - calicata 3

Nivel o profundidad (cm)	Tipo de Suelo	Perfil	CH
15cm	Suelo residual y contenido orgánico		5%
30cm	Fragmentos de andesita 15cm		30%
80cm	Arcillas - limos		40%
100cm	Arcillas – clastos de andesita		40%

En la calicata Nro. 4 a la profundidad de 0 a 25cm se observa cobertura de suelo residual y presencia de raíces, a los 40cm de profundidad existen fragmentos de andesita de 5cm cubiertos por capas de arcillas, a la profundidad de 60cm existe la presencia de arcillas de mayor humedad, a los 100cm se localizan arcillas y limos.

Figura 41. Calicata Nro. 4

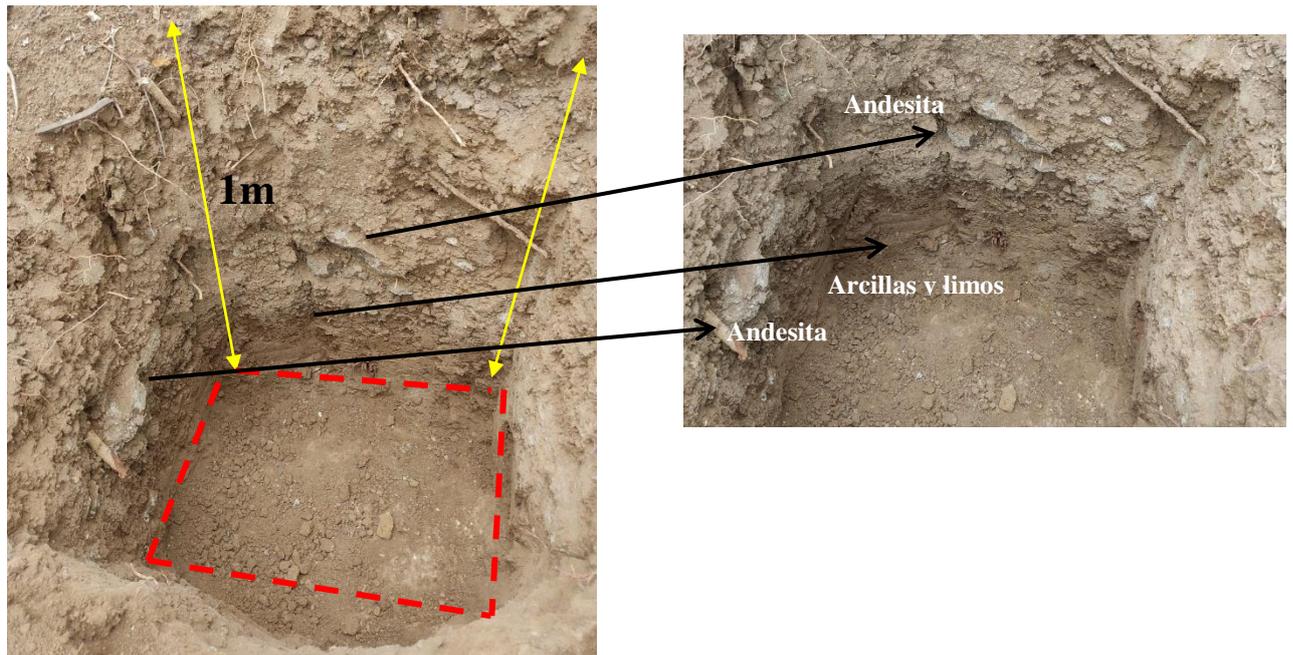
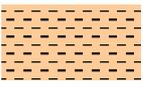
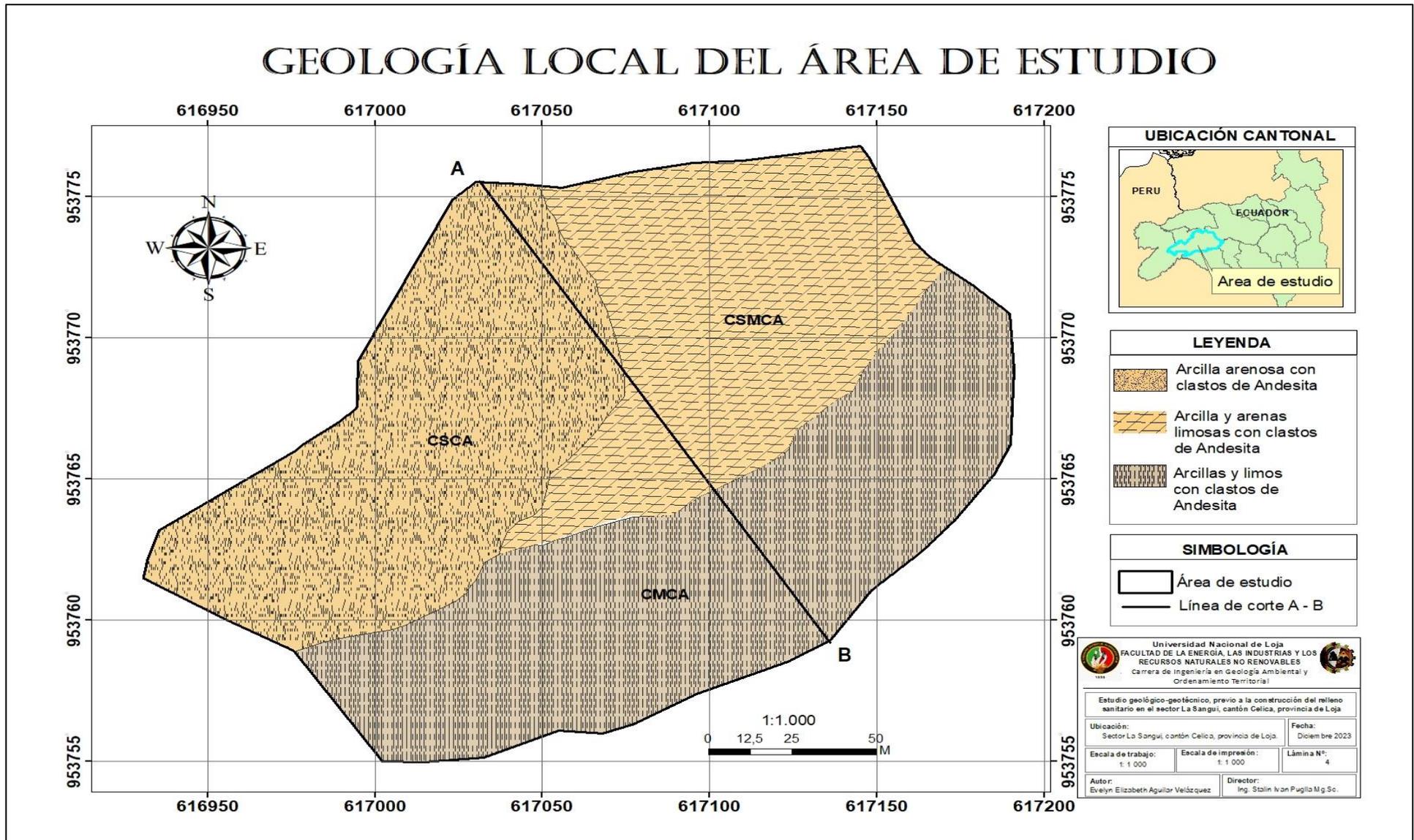


Tabla 27. Perfil estratigráfico - calicata 3

Nivel o profundidad (cm)	Tipo de Suelo	Perfil	CH
25cm	Suelo residual y raíces		10%
40cm	Fragmentos de andesita 5cm		20%
60cm	Arcillas		50%
100cm	Arcillas – limos		40%

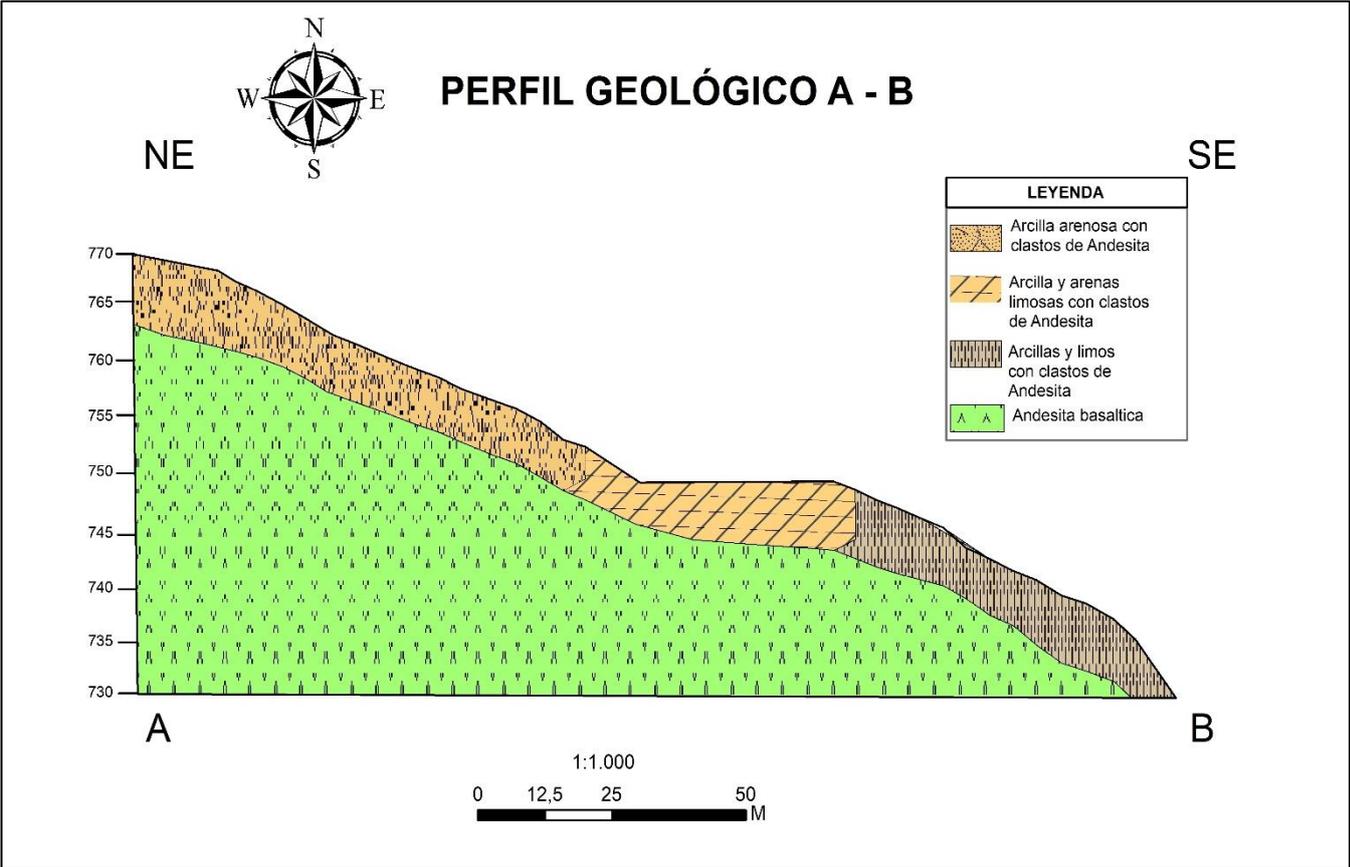
En la figura 42 se observa el mapa geológico local del área de estudio (escala 1:000), en donde indica la distribución de las litologías que afloran en el territorio del área de estudio.

Figura 42. Mapa de Geología Local del área de estudio



En la figura 43, se puede observar el corte geológico realizado con dirección NE – SE con una longitud de 165m, consta de dos capas la primera de 11m de profundidad conformado por material sedimentario producto de la erosión, constituido principalmente de arcilla arenosa con clastos de andesita, arcilla y arenas limosas con clastos de andesita y arcillas y limos con clastos de andesita, en cuanto a la segunda capa de profundidad indefinida está conformada por andesita basáltica material reconocido como el basamento del área de estudio.

Figura 43. Corte geológico A - B



6.2. Propiedades físico mecánicas de los materiales

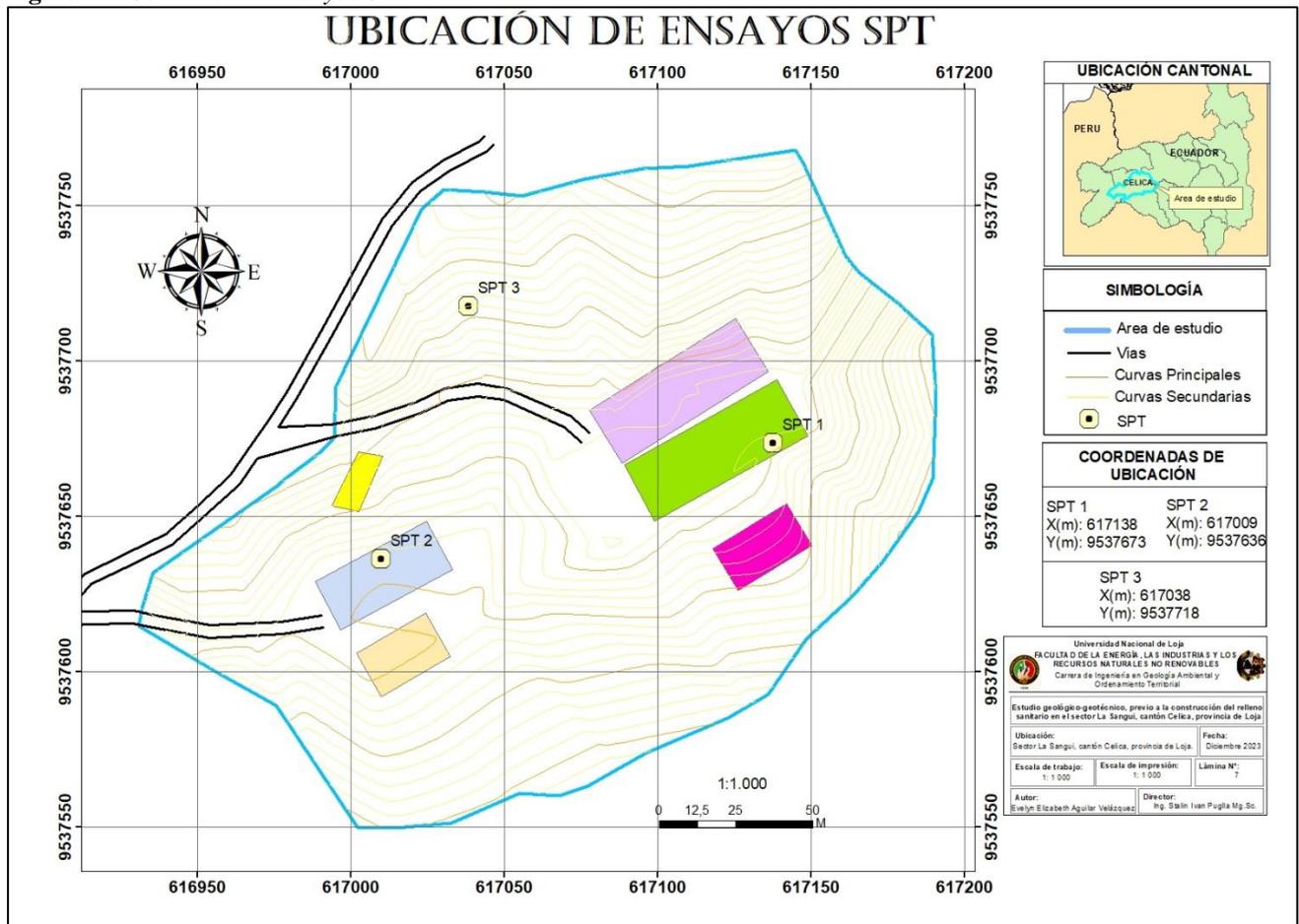
6.2.1. Ensayo de Penetración Estándar SPT

El ensayo se desarrolló tomando como referencia la normativa ASTM-D1586 y su correspondiente metodología, se realizaron 3 ensayos de penetración estándar (SPT), que fueron ubicados en puntos específicos en donde se tiene previsto emplazar la infraestructura del relleno sanitario, en la tabla 28 se muestran las coordenadas de ubicación de los ensayos con la profundidad obtenida y en la figura 44 se puede observar la ubicación de los mismos.

Tabla 28. Coordenadas de ubicación de los SPT

Nro. de SPT	Coordenadas			Profundidad
	X(m)	Y(m)	Z(m)	
1	617138	9537673	750	4m
2	617009	9537636	746	4m
3	617038	9537718	761	2m

Figura 44. Ubicación de ensayos SPT



Efectuados los ensayos en campo, se obtuvieron varias muestras representativas tomadas a diferentes profundidades las cuales fueron analizadas en el laboratorio “GEO-FIGMA – CARAN” mediante la normativa de AASHTO T88-00 y ASTM D422, con los resultados obtenidos se procedió a realizar los cálculos referentes a los parámetros geotécnicos.

SPT 1

En la tabla 29 se puede observar los resultados obtenidos del primer ensayo de SPT

Tabla 29. Clasificación y descripción del primer SPT

Nivel o profundidad (m)	Tipo de Suelo	Perfil	LL	LP	CH (%)	SUCS	Clasificación AASTHO	Nspt
1.00-2.00	Limo de Alta Plasticidad		61.78	26.77	26.89	MH	A-7-6 Suelo arcilloso	14
2.00-3.00	Arcillas de mediana Plasticidad		64.06	35.03	23.13	CH	A -7- 6 Suelo arcilloso	19
3.00-4.00			55.88	27.21	31.10			41

En el SPT nro. 1, se determinó un perfil estratigráfico conformado de la siguiente manera: -1.00 a -2.00 m se encontró LIMO DE ALTA PLASTICIDAD con clasificación SUCS = MH, color marrón oscuro, plasticidad arenosa, con una humedad de 26,89%, y Nspt de 14 golpes.

De -2.00 a -4.00 m se encontró ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA, con clasificación SUCS = CH, color café oscuro, 31,10% de humedad y Nspt de 19 golpes al tercer metro y Nspt de 41 golpes al cuarto metro.

A los 4m se efectuó el rebote. No se encontró nivel freático durante la exploración.

A continuación, en la figura 45 se puede observar el perfil estratigráfico del Spt 1:

Figura 45. Perfil estratigráfico del Spt 1

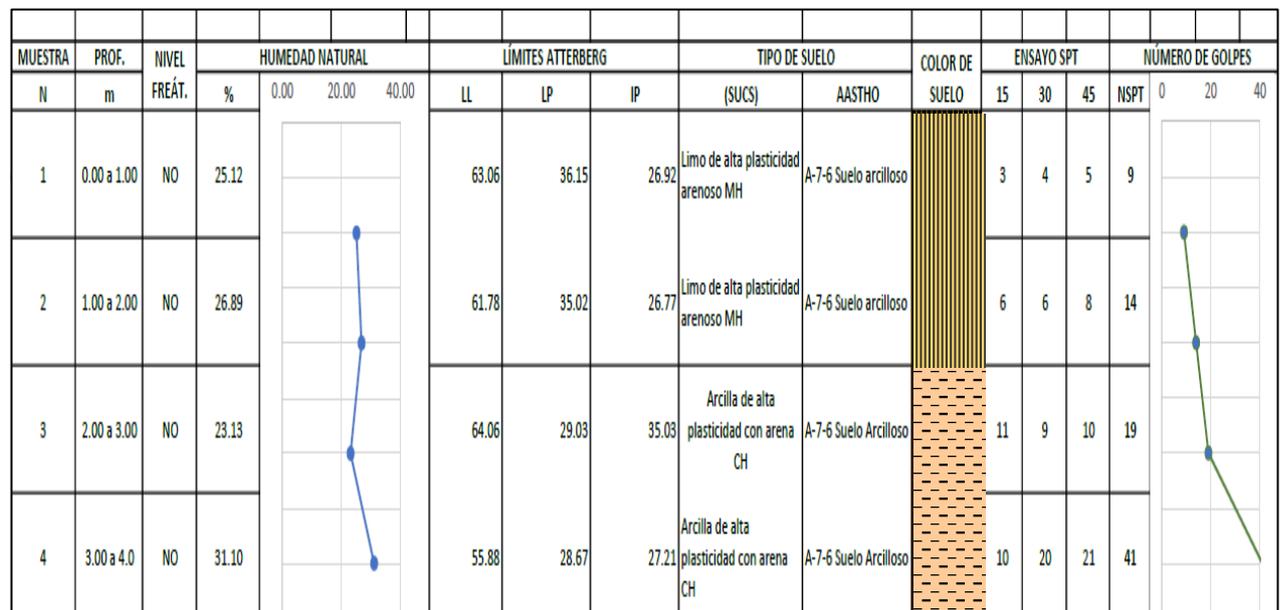


Tabla 30. Clasificación y descripción del segundo SPT

Nivel o profundidad (m)	Tipo de Perfil de Suelo	LL	LP	CH (%)	SUCS	Clasificación AASTHO	Nspt
1.00 – 2.00	Arcillas de Alta Plasticidad 	58	41	14.19	CH	A -7- 6 Suelo arcilloso	29
2.50 – 3.00	Arcillas de mediana Plasticidad 	43	28	17.71	CL	A -7- 6 Suelo arcilloso	37
3.00 – 4.00		35	24	16.88		A -7- 6 Suelo arcilloso	>50

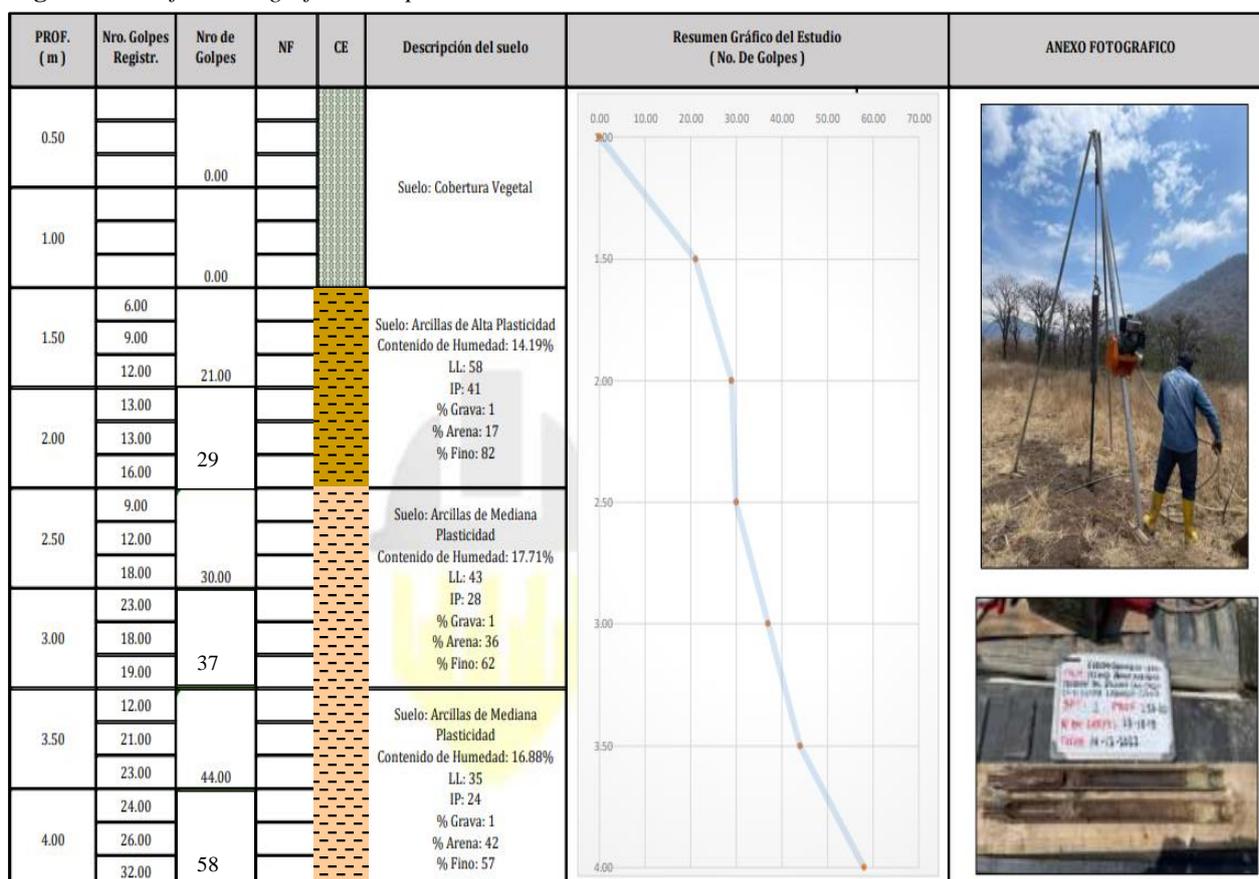
En el SPT nro. 2, se determinó un perfil estratigráfico conformado de la siguiente manera: de -1.00 a -2.00 m se encontró ARCILLAS DE ALTA PLASTICIDAD, con clasificación SUCS = CH, color café oscuro, plasticidad alta, humedad de 14,19% y Nspt de 29 golpes.

De -2.50 a -4.00 m se encontraron ARCILLAS DE MEDIANA PLASTICIDAD, con clasificación SUCS = CL, color café claro, plasticidad media, humedad de 16,88% con Nspt de 37 golpes de 2.5 a 3m y Nspt > 50 golpes al cuarto metro.

No se encontró nivel freático a partir durante la exploración.

A continuación, en la figura 46 se puede observar el perfil estratigráfico del Spt 2:

Figura 46. Perfil estratigráfico del Spt 2



En la figura 47 se puede observar los resultados obtenidos del tercer ensayo de SPT

Figura 47. Clasificación y descripción del tercer SPT

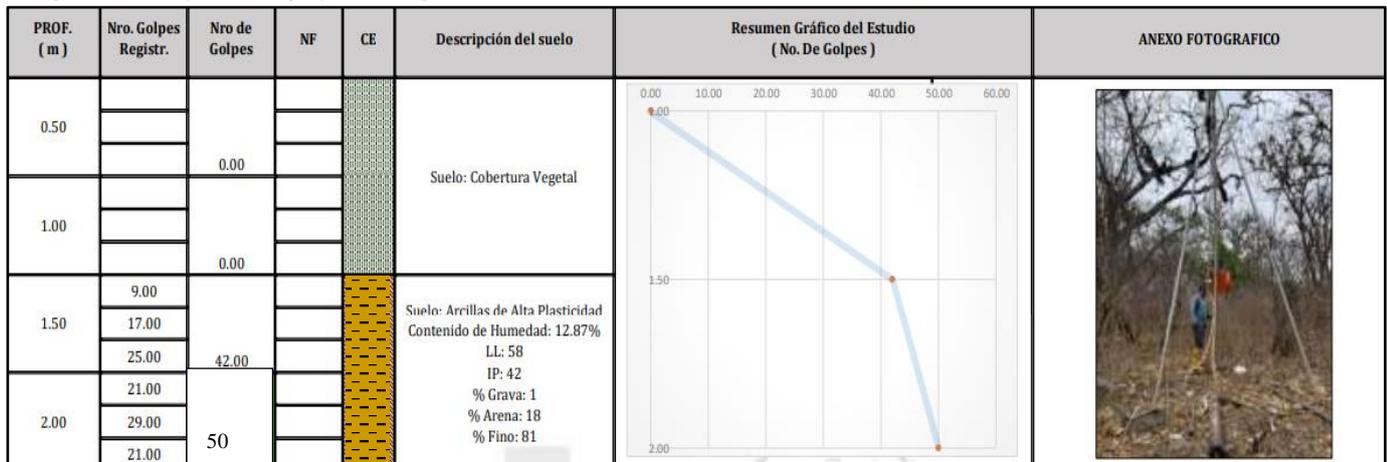
Nivel o profundidad (m)	Tipo de Suelo	Perfil	LL	LP	CH (%)	SUCS	Clasificación AASTHO	Nspt
1.00 – 2.00	Arcillas de Alta Plasticidad		58	42	12.87	CH	A -7- 6 Suelo arcilloso	>50

En el SPT nro. 3 se determinó un perfil estratigráfico conformado de la siguiente manera: de -1.00 a -2.00m se encontró ARCILLAS DE ALTA PLASTICIDAD, con clasificación SUCS = CH, color café oscuro, plasticidad alta, humedad de 12.87% con Nspt de > 50 golpes.

No se encontró nivel freático durante la exploración, cabe resaltar que la exploración se dio por finalizada ya que el suelo mostraba una alta resistencia a la penetración obteniendo en 30 cm de exploración un número mayor a 50 golpes.

A continuación, en la figura 48 se puede observar el perfil estratigráfico del Spt 3:

Figura 48. Perfil estratigráfico del Spt 3



Finalmente, en la tabla 31 se presenta un resumen de los ensayos SPT aplicados en campo y laboratorio:

Tabla 31. Resumen de ensayos SPT

SSPT	Prof.	CH	LL	LP	IP	Grava	Arena	Finos	Clasificación		N60	N160
	M	%	%	%	%	%	%	%	SUCS	ASHTO	Golpes	Golpes
1	1	25,12	63,06	36,15	26,92	0	30.76	69.24	MH	A -7- Suelo arcilloso	7	9
	2	26,89	61,70	35,02	26,77	0	18.66	81.34	MH	A -7- 6 Suelo arcilloso	11	14
	3	23,13	64,06	29,03	35,03	0	29.32	70.68	CH	A -7- 6 Suelo arcilloso	14	17
	4	31,10	55,88	28,67	27,21	11.35	31.01	57.64	CH	A -7- 6 Suelo arcilloso	35	39
2	1	14.19	58	58.34	41	1	87	22	CH	A -7- 6 Suelo arcilloso	16	21
	2	17.71	43	15	28	1	36	62	CH	A -7- 6 Suelo arcilloso	22	29
	3	16.88	35	11	24	1	42	57	CL	A -7- 6 Suelo arcilloso	28	34
	4	17.05	32	10	22	1	37	55	CL	A -7- 6 Suelo arcilloso	49	55
3	1	10.70	45	14	35	1	23	75	CH	A -7- 6 Suelo arcilloso	32	43
	2	12.87	58	17	42	1	18	81	CH	A -7- 6 Suelo arcilloso	38	51

6.2.2. Sísmica de Refracción

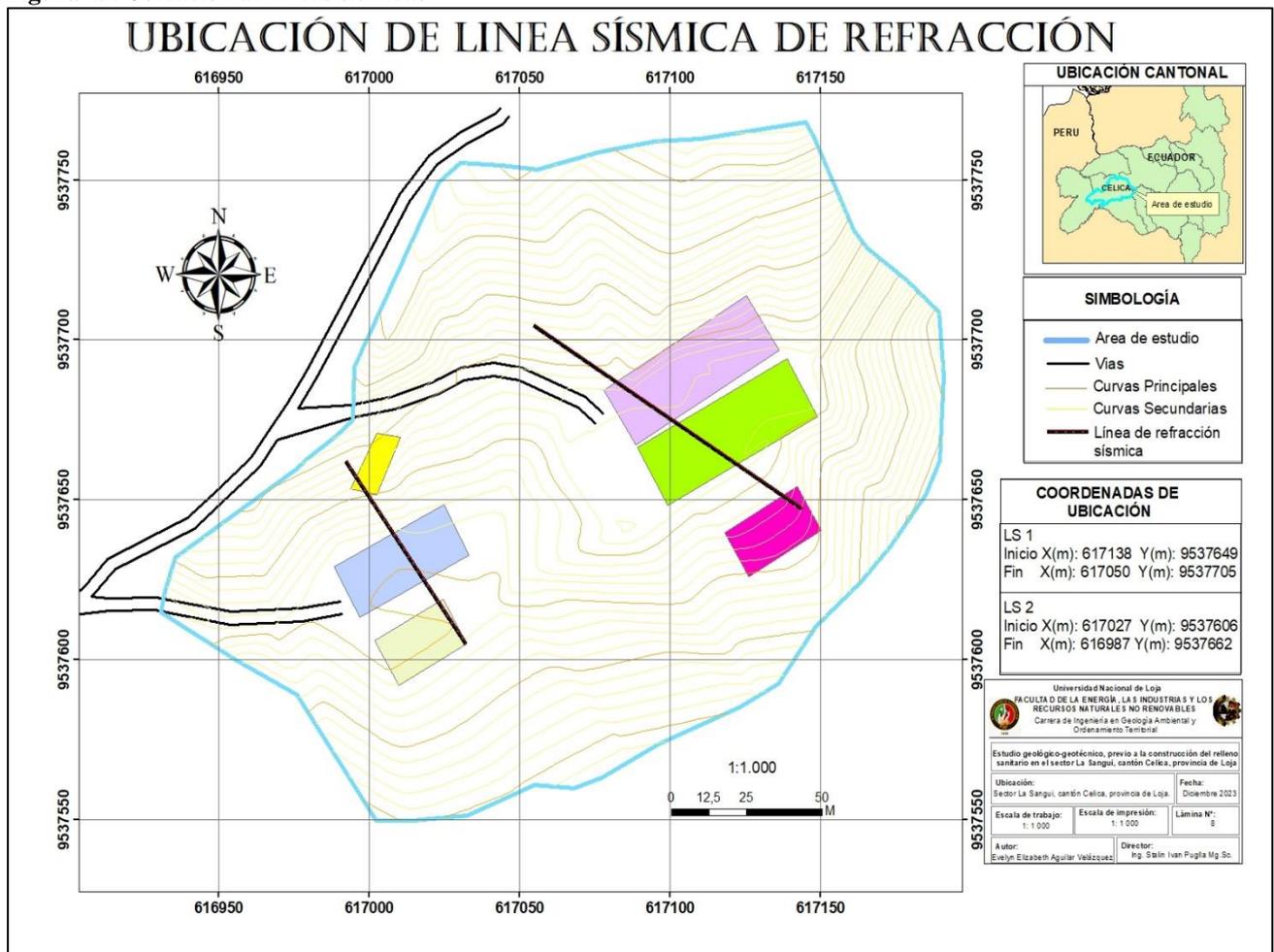
El trabajo de prospección sísmica en el campo consistió en la ejecución de dos perfiles sísmicos de 120.0 m y de 80.0 m, con separación entre geófonos de 5 metros (LS1) y separación de 3.35 m entre geófonos (LS2), respectivamente para la recepción de las ondas Vp, las líneas sísmicas fueron ubicadas acorde a la infraestructura que se planea implantar.

Para el correcto desarrollo del ensayo de sísmica refracción se utilizó como guía las indicaciones estipuladas en la norma ASTM D5777-00, a continuación, se muestra en la tabla 32 las coordenadas UTM WGS84 donde se desarrolló el ensayo:

Tabla 32. Ubicación de líneas sísmicas

Línea	Coordenadas					
	Inicio			Fin		
	X(m)	Y(m)	Z(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	617138	9537649	748	617050	9537705	758
2	617027	9537606	744	616987	9537662	755

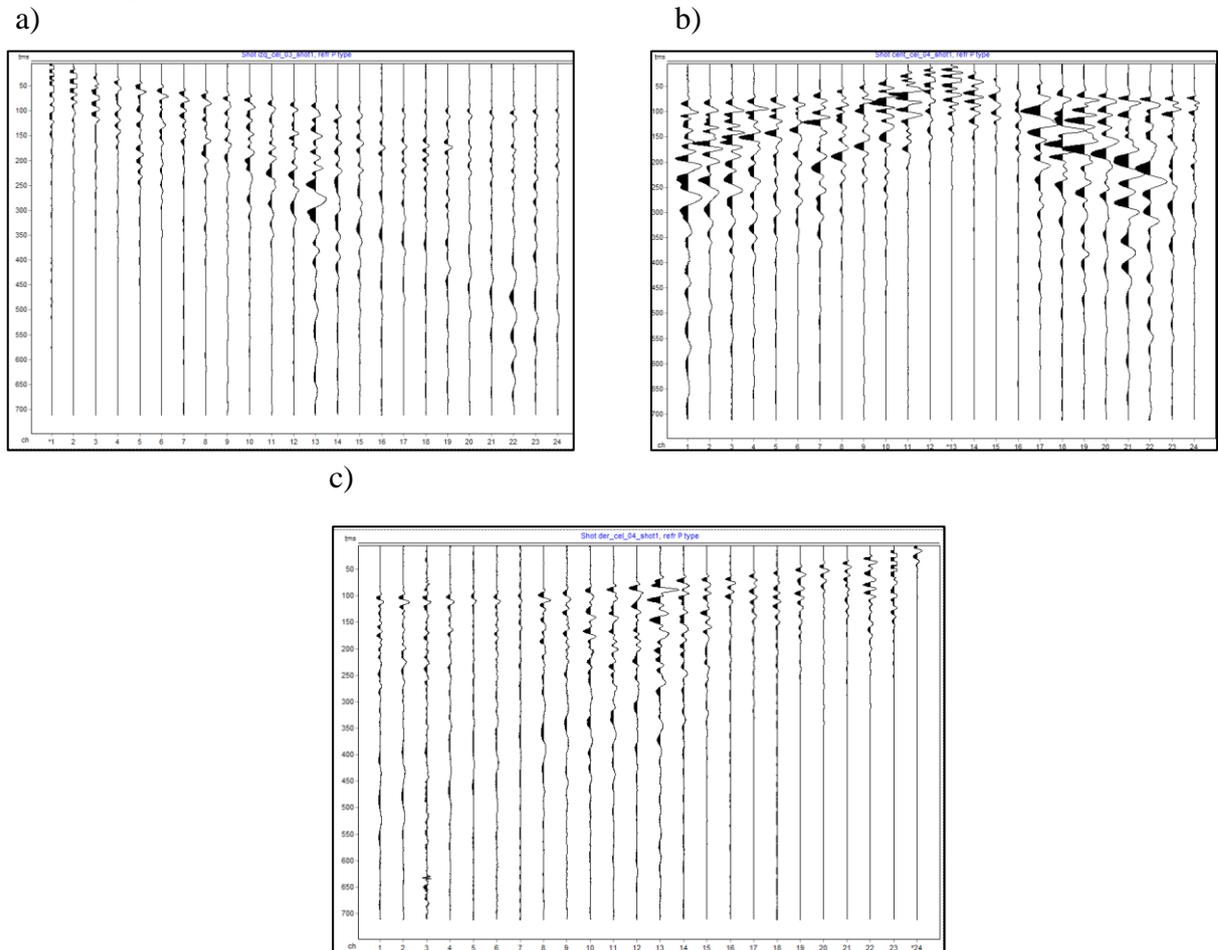
Figura 49. Ubicación de líneas sísmicas



- **Línea de refracción nro.1 Ls1=120m**

La primera línea tuvo una orientación NW perpendicular a las curvas de nivel, presentando una resolución hasta una profundidad de 40 a 45 m. Los sismogramas obtenidos para cada estación se presentan en la figura 50.

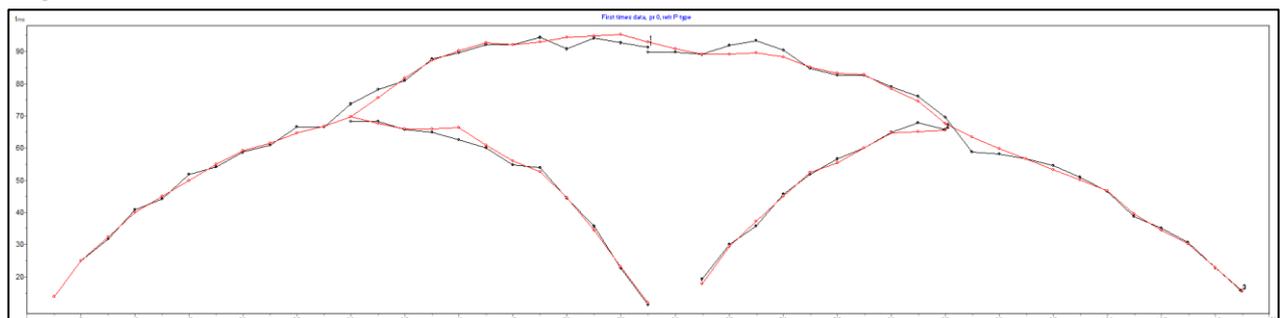
Figura 50. Sismograma de la línea sísmica 1 (L = 120) a) Disparo 1 (junto a geófono 1); b) Disparo 2 (geófono 12- 13); c) Disparo 3(junto a geófono 24)



Nota. Fuente (Ingevox CIA. LTDA, Nov 2022)

Con dichos sismogramas se obtuvo la respectiva dromocrona (figura 51), donde se distingue 3 líneas de dromocronas, permitiendo definir la cantidad de estratos presentes en la línea sísmica LS-01.

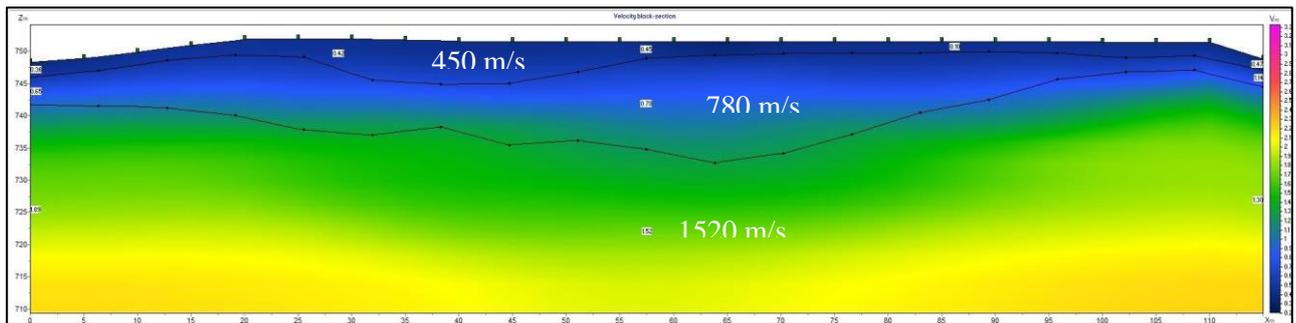
Figura 51. Dromocrona línea sísmica 1 (Ls-120m)



Nota. Fuente (Ingevox CIA. LTDA, Nov 2022)

En base a la domocrona se pudo obtener el perfil sísmico, mostrado a continuación en la figura 52.

Figura 52. Perfil sísmico de la línea sísmica 1 (Ls-120m)



Nota. Fuente (Ingevox CIA. LTDA, Nov 2022)

Se logro determinar tres unidades geosísmicas con las siguientes características presentadas en la tabla 33.

Tabla 33. Velocidades de onda V_p , espesores y analisis litologico de la linea sismica 1 (Ls- 120)

Capa	Velocidad ondas P (m/s)	Espesor	Tipo de material	Perfil estratigráfico
A	450	0 – 4	Capa de material superficial. Suelos arcillosos alterados	
B	780	4 - 9	Arcilla arenosa semi consolidada	
C	1520	9 - ∞	Roca alterada y fracturada (Andesita)	

Los datos obtenidos del perfil estratigráfico para la línea sísmica 1 (Ls-120m) se indican en la tabla 34.

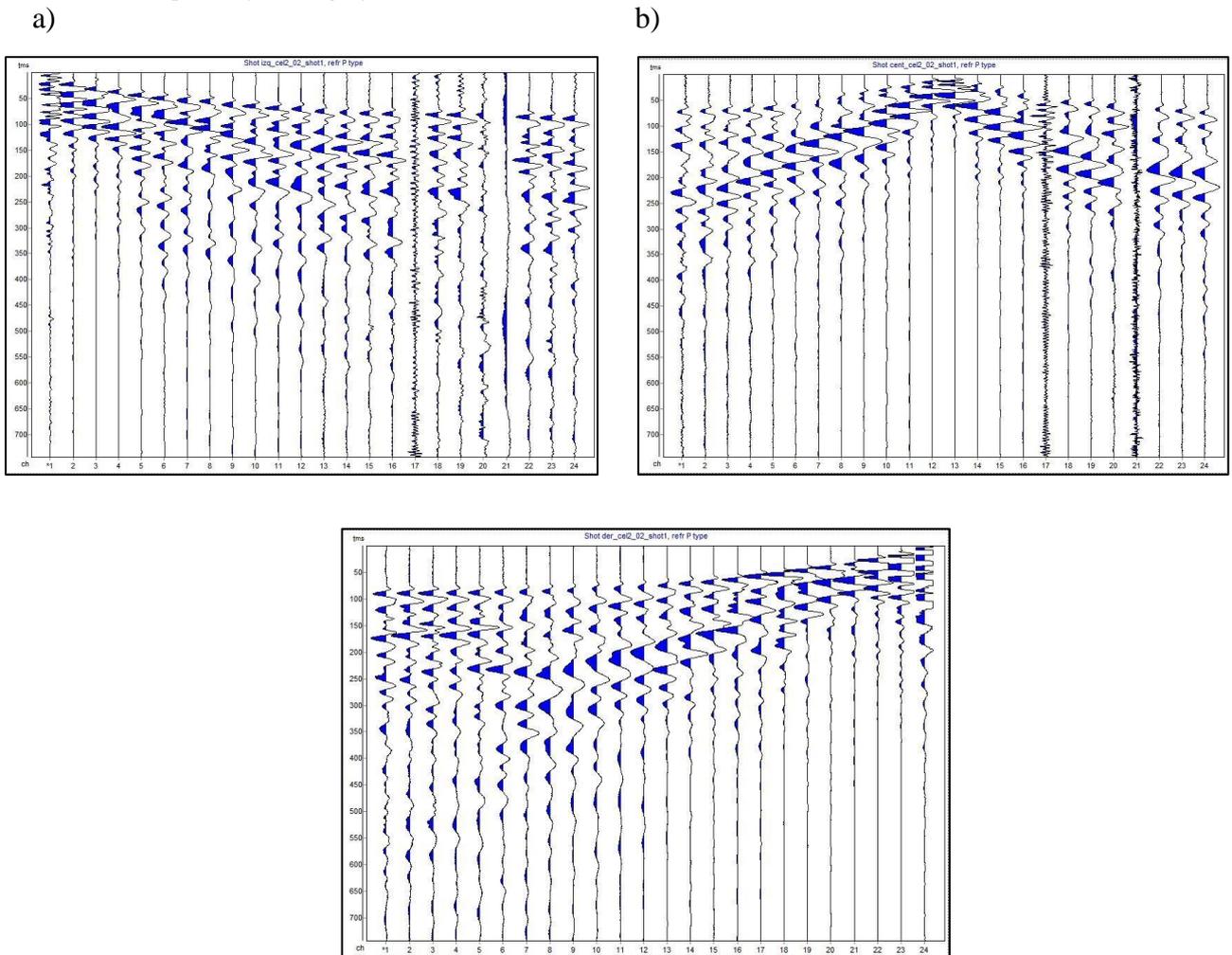
Tabla 34. Parámetros obtenidos para la línea sísmica 1 (Ls-120m)

Descripción		Capa sísmica		
		1	2	3
Potencia	m	0 - 4	4 - 9	9 - ∞
V_p	m/s	450	780	1520
V_s	m/s	257	446	869
δ	gr/cm ³	1.92	2.02	2.19
Numero de golpes Spt	N	5	15	36
Dunham	∅	32.9	38.2	45.7
Osaki	∅	25.5	32.1	41.7
V_{s30}	m/s			

- **Línea de refracción nro. 2 Ls2=80m**

La segunda línea tuvo una orientación NW perpendicular a las curvas de nivel, presentando una resolución hasta una profundidad de 20 a 25m. Los sismogramas obtenidos para cada estación se presentan en la figura 53.

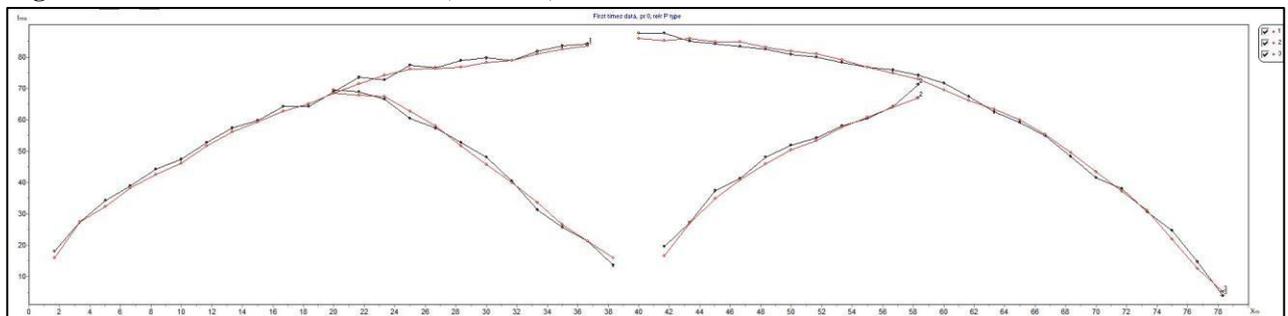
Figura 53. Sismograma de la línea sísmica 1 ($L = 120$) a) Disparo 1 (junto a geófono 1); b) Disparo 2 (geófono 12- 13); c) Disparo 3(junto a geófono 24)



Nota. Fuente (Ingevox CIA. LTDA, Nov 2022)

Con dichos sismogramas se obtuvo la respectiva dromocrona (figura 54), donde se distingue 3 líneas de dromocronas, permitiendo definir la cantidad de estratos presentes en la línea sísmica LS-02.

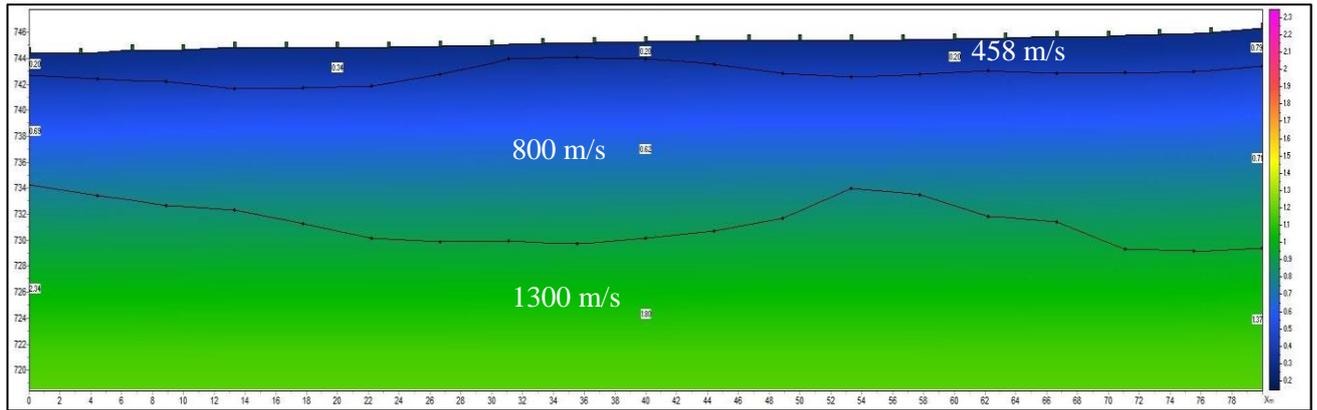
Figura 54. Dromocronas línea sísmica 2 ($Ls - 80m$)



Nota. Fuente (Ingevox CIA. LTDA, Nov 2022)

En base a la domocrona se pudo obtener el perfil sísmico, mostrado a continuación en la figura 55.

Figura 55. Perfil sísmico de la línea sísmica 2 ($Ls-80m$)



Nota. Fuente (Ingevox CIA. LTDA, Nov 2022)

Se logro determinar tres unidades geosísmicas con las siguientes características presentadas en la tabla 35.

Tabla 35. Velocidades de onda V_p , espesores y analisis litológico de la línea sísmica 2 (Ls- 80)

Capa	Velocidad ondas P (m/s)	Espesor	Tipo de material	Perfil estratigráfico
A	458	0 - 2	Material superficial, alterado de suelos y rocas	
B	800	2 - 9	Arcillas arenosas semi-consolidadas	
C	1300	11 - ∞	Roca fracturada (Andesita basáltica)	

Los datos obtenidos del perfil estratigráfico para la línea sísmica 2 (Ls-80m) se indican en la tabla 36.

Tabla 36. Parámetros obtenidos para la línea sísmica 2 (Ls-80m)

Descripción		Capa sísmica		
		1	2	3
Potencia	m	0 - 2	2 - 9	11 - ∞
V_p	m/s	457	800	1300
V_s	m/s	261	457	743
δ	gr/cm ³	1.92	2.03	2.14
Numero de golpes Spt	N	5	15	29
Dunham	\emptyset	33	38.5	43.8
Osaki	\emptyset	25.4	32.4	39.2

6.2.3. Corte directo

El punto de muestreo está ubicado en las coordenadas **X** 617011 **Y** 9537628 a una profundidad de 1.50m con dimensiones de 1m* 1m* 1m* 1m donde se adquirió una muestra inalterada para realizar el Ensayo de corte directo bajo la norma ASTM D-3080-11.

Litológicamente esta muestra se encuentra dentro de la formación Célica. En la tabla 37 se indica el resumen de los resultados del ensayo aplicado. Para visualizar los datos de laboratorio ver anexo 8.

Tabla 37. Resumen de los resultados de corte directo.

Muestra	Ensayo	Carga aplicada (kg)	Esfuerzo normal (σ)	Esfuerzo cortante (τ)	Cohesión (c)	Angulo de fricción (ϕ)
1	1	15	0.755	0.805	0.05	47.26
	2	40	1.263	1.651		
	3	60	2.829	3.05		

6.3. Parámetros Ingenieriles

Efectuados los ensayos en campo, se procedió al procesamiento de los resultados obtenidos, para poder obtener la capacidad portante, asentamientos y ángulo de corte.

6.3.1. Capacidad Portante

Capacidad portante en base a SPT

Los resultados de capacidad portante se obtienen a partir de los tres ensayos de SPT, utilizando la fórmula de Meyerhof, expresados en la tabla 38.

Tabla 38. Capacidad portante en base al SPT según Meyerhof. (1963)

SPT	Profundidad	Qa	Qc
1	1	0.52	1.56
	2	0.81	2.42
	3	1.10	3.29
	4	2.68	8.03
2	1	0.52	1.56
	2	2.42	7.26
	3	2.86	8.58
	4	3	9
3	1	0.62	1.56
	2	3	9

- **Consistencia relativa**

Tabla 39. Resultado Consistencia relativa

Nro. SPT	Consistencia relativa	Interpretación
1	0.80	Suelo de consistencia rígida y resistencia a la presión inconfiada de a (qu) de 1.0 -5.0 Kg/cm ²
2	0.57	Suelo de consistencia media y resistencia a la presión inconfiada de a (qu) de 0.25 -5.0 Kg/cm ²
3	0.42	Suelo de consistencia blanda y resistencia a la presión inconfiada de a (qu) de 0.25 -1.0 Kg/cm ²

- **Índice de liquidez**

Tabla 40. Resultado de índice de liquidez

Nro. SPT	Índice de liquidez	Interpretación
----------	--------------------	----------------

1	-0.13	Suelos preconsolidados, han sufrido presión efectiva y acción de erosión (Suelo solidos).
2	-0.07	
3	-0.04	

- **Comportamiento de las arcillas**

Tabla 41

Resultado del comportamiento de arcillas

Nro. SPT	Comportamiento de arcillas	Interpretación
1	0.42	Suelo inactivo, pertenece al grupo de la caolinita, con un moderado cambio de volumen y bajo potencial expansivo
2	0.47	Suelo inactivo, pertenece al grupo de la caolinita, con un moderado cambio de volumen y medio potencial expansivo
3	0.49	Suelo inactivo, pertenece al grupo de la caolinita, con un moderado cambio de volumen y alto potencial expansivo

Capacidad portante en base a línea sísmica - Meyerhof

Tabla 42. *Capacidad portante líneas sísmicas – Meyerhof*

<i>Línea sísmica 1 (Ls:120)</i>				
	Unidad	C1	C2	C3
Prof. Promedio	m	2	6.5	-
Qa	Kg/cm2	0.52	1.46	3.56
Qu	Kg/cm2	1.56	4.38	10.68
Tipo de perfil NEC-SE-DS		D	C	B
<i>Línea sísmica 2 (Ls:80)</i>				
Prof. Promedio	m	1	5.5	
Qa	Kg/cm2	0.54	1.51	2.93
Qu	Kg/cm2	1.62	4.53	8.79
Tipo de perfil NEC-SE-DS		D	C	B

Capacidad portante en base a línea sísmica – Tezcan

Tabla 43. *Capacidad portante línea sísmica 1 y 2- Tezcan*

Línea sísmica	Capacidad portante	Unidad	Capa 1	Capa 2	Capa 3
1	Qa, Fs 4	Kg/cm2	0.97	1.92	-
	Qa, Fs 3.90	Kg/cm2	-	-	4.54
2	Qa, Fs 4	Kg/cm2	0.98	1.98	3.64

6.3.2. Asentamientos

Para cada velocidad o rango de velocidad interpretado también se calculan los parámetros dinámicos y elásticos para cada uno de los complejos geofísicos, dichos parámetros se resumen en la siguiente tabla adjunta para cada línea de refracción sísmica.

Tabla 44. Módulo de elasticidad (Naranjo & Dranichnikov, 2012) líneas sísmicas Ls1 – Ls2

LINEA SISMICA 1 (Ls1:120m)				
	Unidad	C1	C2	C3
Relación de Poisson n	adimensi	0.26	0.26	0.26
Módulo de rigidez G din	Kg/cm2	1266.2	4028.4	16509.9
Módulo de elasticidad (Young) E dinámico	Kg/cm2	3185.7	10128.2	41513.1
Módulo de deformación E estat.	Kg/cm2	1543.44	5776.92	28893.12
Deformabilidad estática (Cuellar) E def.	Kg/cm2	139.45	329.96	1370.19
LINEA SISMICA 2 (Ls2:80m)				
Relación de Poisson n	adimensi	0.26	0.26	0.26
Módulo de rigidez G din	Kg/cm2	1306.9	4238.0	11821.6
Módulo de elasticidad (Young) E dinámico	Kg/cm2	3288.1	10661.2	29729.9
Módulo de deformación E estat.	Kg/cm2	1677.36	6420.53	20692.01
Deformabilidad estática (Cuellar) E def.	Kg/cm2	145.48	358.92	1001.14

Tabla 45. Asentamientos obtenidos con los datos de líneas sísmicas

LINEA SISMICA 1 (Ls1:120m)								
L	B	qo kg/cm2	v	A (m)	Es (kg/cm2)	CIMIENTO	Bz(cm)	Se (cm)
1	1	1.11	0.26	1	1543.44	FLEX	1.05	0.04
1.5	1.5	1.11	0.26	2.25	1543.44	FLEX	1.05	0.07
2	2	1.11	0.26	4	1543.44	FLEX	1.05	0.09
10	10	1.11	0.26	100	1543.44	FLEX	1.05	0.44
100	15	1.11	0.26	1500	5776.92	FLEX	1.28	0.38
LINEA SISMICA 2 (Ls2:80m)								
1	1	1.11	0.26	1	1543.44	FLEX	1.05	0.04
1.5	1.5	1.11	0.26	2.25	1677.36	FLEX	1.05	0.06
2	2	1.11	0.26	4	1677.36	FLEX	1.05	0.08
10	10	1.11	0.26	100	1677.36	FLEX	1.05	0.41
100	15	1.11	0.26	1500	6420.53	FLEX	1.28	0.34

6.3.3. Angulo de corte

Tabla 46. Angulo de corte para excavaciones en obras de relleno sanitario

	Fs.	Ensayo	Nº capa	Ø	Autor	β
Excavaciones en obras de relleno sanitario	1.25	LS-01	1	32.9	Duham	27.35
			2	38.2		32.21
			3	45.7		39.30
		SPT1	1m	34.16	Duham	28.50
			2m	36.49		30.62
			3m	37.96		31.97
			4m	45.49		39.14
		LS_02	1	33	Duham	27.48
			2	38.47		32.44
			3	43.76		37.45
		SPT2	1m	38.86	Duham	32.81
			2m	41.25		35.05
			3m	43.33		37.04
			4m	49.25		42.88
		SPT3	1m	44.59	Duham	38.26
			2m	46.35		39.98

7. Discusión

El presente Trabajo de Titulación tiene como objetivo primordial desarrollar el estudio geológico-geotécnico previo a la construcción del relleno sanitario en el sector La Sangui, cantón Celica, provincia de Loja, con el propósito de evaluar las condiciones del suelo y determinar las propiedades geomecánicas de los materiales localizados en la zona, con el fin de proporcionar información fundamental para la viabilidad de la ejecución de la obra.

Geológicamente, en base de la información de la carta geológica de Cariamanga, elaborada por el Instituto Geográfico Militar, en el 2014; el área de estudio se circunscribe dentro de la Unidad Celica, atribuida al cretácico inferior, aflorando brechas y lavas basalto andesíticas, que fueron verificadas y corroboradas directamente en la etapa de geología de campo y adicionalmente se pudo evidenciar la presencia de materiales vulcano sedimentarios y clastos de andesitas basálticas, determinando así que el basamento del área de estudio está conformado por rocas ígneas andesitas, recalando que en el sector los materiales más predominantes son arcillas, limos y arenas, esto debido a la erosión producto de la composición mineralogía de las rocas antes descritas y que son muy sensibles a la meteorización por agentes climáticos.

Del estudio petrográfico de los geo - materiales, se pudo evidenciar que en la composición mineralógica de las andesitas basálticas se tiene como minerales principales plagioclasas - piroxenos y como minerales secundarios cuarzo y olivino, la tonalidad es gris oscuro, el tamaño del grano es muy pequeño, con una textura afanítica. Los materiales identificados son muy susceptibles a procesos de meteorización que dan lugar a la aparición de estos sedimentos cuaternarios.

En relación al perfil geológico demostrado en la figura 43 se puede evidenciar que existe un desnivel topográfico desde el noreste hacia el sureste, en donde los materiales erosionados de tipo arcilla arenosa con clastos de andesita son transportados para depositarse al sureste en forma de arcillas y limos con clastos de andesita. Considerando que todos estos materiales tienen un basamento ígneo.

El estudio geológico-geotécnico comprendió la aplicación de ensayos *In Situ* y de laboratorio, con el objetivo de determinar adecuadamente las características geomecánicas del terreno, llevando a cabo un reconocimiento geológico y geotécnico tales como prueba de penetración estándar (SPT), sísmica de refracción, ensayo de corte directo y análisis granulométrico.

Se realizaron tres ensayos de penetración estándar (SPT) conforme la Norma ASTM D 1586. Con el propósito de obtener muestras de suelo representativas, medir su resistencia a la penetración del suelo, dictaminar la compacidad y capacidad de soporte del mismo. En el primer ensayo efectuado se alcanzó una profundidad de 4 metros, en la primera y segunda capa se encontró limo de alta plasticidad con un contenido de humedad de 25.12%, la tercera y cuarta capa estaban constituidas por arcillas de mediana plasticidad con 23.13% de humedad.

El segundo ensayo en la capa una y dos se registró arcillas de alta plasticidad con 17,71% de humedad, mientras que en la capa 3 y 4 se determinaron arcillas de plasticidad media con 16,88% de humedad. Finalmente, en el tercer ensayo solo se determinaron dos capas ya que al segundo metro se produjo el rebote que impidió el avance en la exploración, en las dos capas se encontró arcillas de alta plasticidad con 10.70% de humedad; de esta forma se puede evidenciar que en los tres ensayos realizados existe una correlación de los materiales encontrados en cada muestreo, además conforme el contenido de humedad, a medida que se describieron los materiales en función de la profundidad, va disminuyendo, corroborando de esta forma que no existen fuentes hídricas ni un nivel freático a los 4 metros de sondeo.

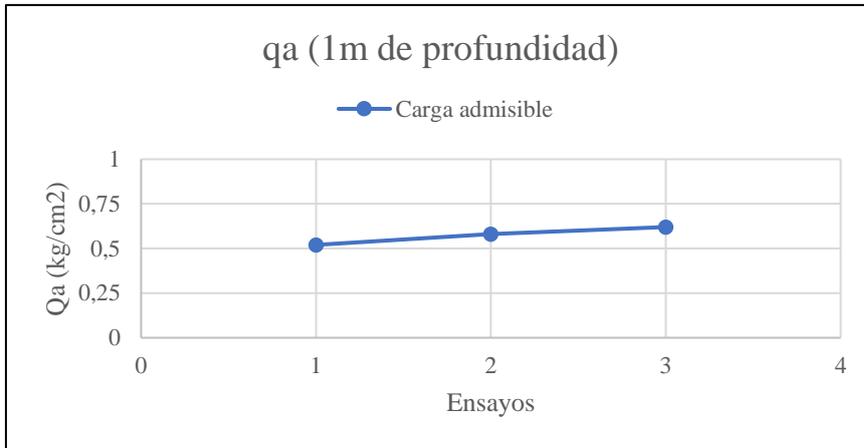
Así mismo se realizó líneas de refracción sísmica dispuestas en función de los ensayos SPT, con el propósito de diagnosticar las capas de suelo, basados en el cambio de las propiedades dinámicas. En la línea 1 se interpretó tres estratos geológicos, la primera capa corresponde a suelos arcillosos alterados con un espesor de 0 – 4m y un perfil de suelo categoría D descrito por la NEC - SE.DS (2015), como perfiles de suelos rígidos cumpliendo con el criterio de velocidad de onda cortante $360\text{m/s} > V_s \geq 180\text{m/s}$, estos valores están acorde con el tipo de material encontrado, de partículas muy finas y que además, están alteradas, donde no permite el flujo o drenaje de agua, su espesor es considerablemente alto y para disminuir los riesgos geotécnicos se recomienda removerse; la segunda capa corresponde a arcilla arenosa semiconsolidada con un espesor de 4 – 9m y un perfil de categoría C descrito como Perfil de suelo muy denso o roca blanda cumple con el criterio de velocidad de onda cortante $760\text{m/s} > V_s \geq 360\text{m/s}$, debido a las características encontradas se trata de un material cohesivo y poco plástico susceptible a poca deformación y la tercera capa corresponde a roca alterada y fracturada (Andesita) con una potencia indefinida y un perfil de categoría B descrito como un perfil de roca de rigidez media que cumple con el criterio de velocidad de onda cortante $1500\text{m/s} > V_s \geq 760\text{m/s}$. Este tipo de material presenta dos parámetros importantes que deben ser tomados en cuenta, iniciando que su composición mineralógica es inestable a las condiciones del intemperismo, y además que la roca presenta bastante fragilidad al mostrar

fracturas. Aspectos que deben ser considerados ya que con la fuerte erosión de la zona se seguirá efectuando dicha meteorización y desgaste de los geo-materiales.

La segunda línea conformada por tres estratos donde la primera capa corresponde a material superficial, alterado de suelos y rocas con un espesor de 0 – 2m y un perfil de suelo categoría D descrito por la NEC -SE.DS(2015), como perfiles de suelos rígidos cumpliendo con el criterio de velocidad de onda cortante $360\text{m/s} > V_s \geq 180\text{m/s}$, la segunda capa compuesta por arcillas arenosas semi-consolidadas con un espesor de 2 – 9m y un perfil de categoría C descrito como Perfil de suelo muy denso o roca blanda que cumple con el criterio de velocidad de onda cortante $760\text{m/s} > V_s \geq 360\text{m/s}$, y finalmente la tercera capa correspondiente a roca fracturada (andesita basáltica) con espesor indefinido y un perfil de categoría B descrito como un perfil de roca de rigidez media que cumple con el criterio de velocidad de onda cortante $1500\text{m/s} > V_s \geq 760\text{m/s}$. Como se puede denotar estos resultados no difieren mucho con los obtenidos en la Línea 1 y con ello, se demuestra la homogeneidad de los materiales que conforman el área estudiada.

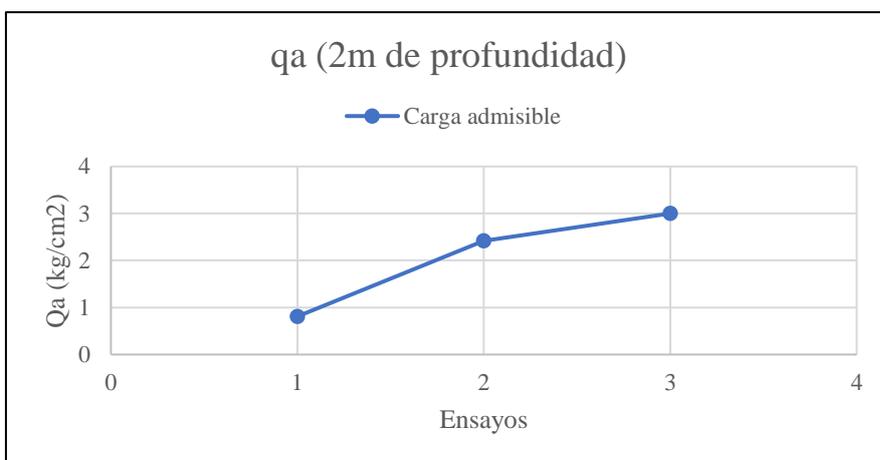
En cuanto a la Capacidad de carga conforme los SPT, se analiza la capacidad admisible (Q_a) de 1 a 3m de profundidad en cada uno de los ensayos, ya que en nuestro entorno es la media de construcción de los cimientos para viviendas o residencias. A 1m de profundidad, valores de 0.52, 0.58 y 0.62kg/cm² en los SPTs 1-2-3 respectivamente, por su carga según la Norma Básica de la Edificación Española (NE-88) los clasifica dentro de terrenos arcillosos fluidos, limos inorgánicos sin consolidar, sin embargo, de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de construcción (NEC.2015) considerando el número de golpes, a 1m de profundidad equivalen a suelos de clase E para el SPT1 descrito como arcillas blandas, para el SPT 2 y 3 corresponde a un perfil de clase D descrito como Perfiles de suelos rígidos se encuentra dentro del rango $50 > N \geq 15.0$. Como se puede notar en la figura 56, la carga admisible no varía sustancialmente a medida que se aplican los ensayos y esto es debido a que los materiales se localizan cerca de la superficie y a la homogeneidad de los materiales a esta profundidad.

Figura 56. Capacidad admisible en profundidad de 1m SPT 1,2,3



A 2m, se presenta valores de 0.81, 2.42 Y 3 kg/cm² en los SPTs 1-2-3 respectivamente, según su carga, la Norma (NE-88) el SPT 1 se clasifica terrenos arcillosos fluido o limos inorgánicos sin consolidar, mientras que el SPT 2 Y 3 se clasifican como terrenos arcillosos semiduros, en cambio, la NEC-2015 a 2m de profundidad establece que el SPT 1 corresponde a un suelo de clase E, descrito como arcillas blandas, para el SPT 2 y 3 corresponde a un perfil de clase D descrito como Perfiles de suelos rígidos que se encuentra dentro del rango $50 > N \geq 15.0$ y perfil de clase C descrito como perfiles de suelos muy densos o roca blanda que se encuentra dentro del rango $N \geq 50$. En este caso como se puede notar en la figura 57, la carga admisible aumenta a medida que se realizan los ensayos y esto es debido a la heterogeneidad de los materiales localizados y a la profundidad que se estudió, posiblemente debido a la presión de confinamiento de los materiales al haber menos espacios vacíos.

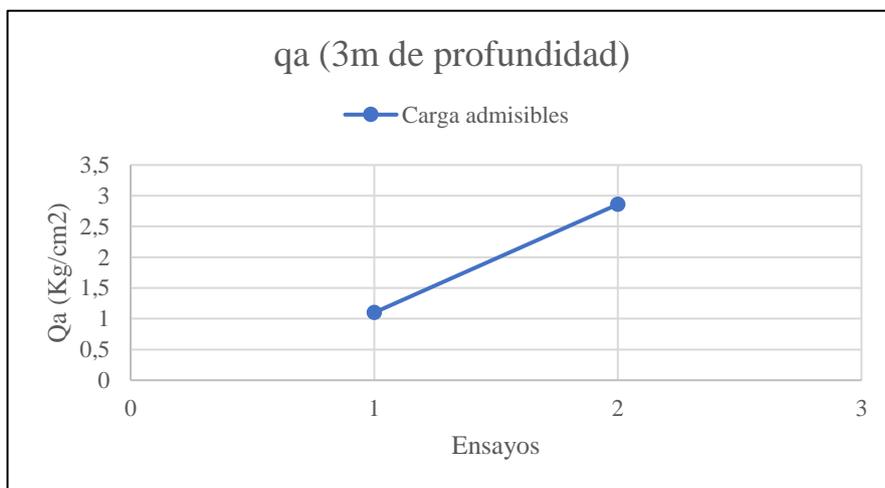
Figura 57. Capacidad admisible en profundidad de 2m SPT 1,2,3



A 3m, se presenta valores de 1.1, 2.86 kg/cm² en los SPTs 1-2 respectivamente que, según su carga, la Norma (NE-88) el SPT 1 se clasifica terrenos arcillosos blandos mientras que

el SPT 2 se clasifican como terrenos arcillosos semiduros. Por su parte, la NEC-2015 establece que a 3m de profundidad el SPT 1 y 2 corresponde a un suelo de clase D, descrito como Perfiles de suelos rígidos que se encuentra dentro del rango $50 > N \geq 15.0$. Como se puede observar en la figura 58, se aprecia que la carga admisible es diferenciada y aumenta con el número de ensayo debido a que existe más heterogeneidad de los materiales que se localizan, además los terrenos arcillosos blandos pueden tener humedad natural que pueden compactarse fácilmente, debido a su textura fina no permite el flujo de agua, las características de los terrenos arcillosos semiduros es muy similar a las descritas en el anterior terreno, con la diferencia que las partículas son mucho más pequeñas lo que lo hace que sea semiduro.

Figura 58. Capacidad admisible en profundidad de 3m SPT 1,2,3



Respecto a la capacidad de carga en base a las líneas sísmicas, aplicando la fórmula de Meyerhof (1963), la cual se emplea para determinar la carga última del suelo o la capacidad admisible del suelo. En la línea 1 se obtuvo 0.52 kg/cm^2 en la primera capa, 1.46 kg/cm^2 en la segunda capa y 3.56 kg/cm^2 en la tercera capa, difiriendo a la qa obtenida aplicando la fórmula de Tezcan (2009); donde el autor propone calcular primeramente el F_s realizando una interpolación que depende de V_s , obteniendo para la primera y segunda capa un F_s de 4 y una qa equivalente a 0.97 y 1.92 kg/cm^2 respectivamente, mientras que para la tercera capa un F_s de 3.90 y qa de 4.54 kg/cm^2 , Para la línea 2 aplicando la fórmula de Meyerhof (1963), se obtiene en la primera capa 0.54 kg/cm^2 en la segunda capa 1.54 kg/cm^2 y en la tercera capa 2.93 kg/cm^2 ; según Tezcan se obtiene un F_s de 4 para todas las capas con valores de 0.98 , 1.98 y 3.64 kg/cm^2 respectivamente, por ende los valores obtenidos por Tezcan son superiores a los considerados según Meyerhof. Aunque existe una diferencia entre los 2 métodos aplicados, se puede establecer un intervalo de cargas mínimas y máximas para capa de suelo, estableciéndose como máximas las obtenidas por el método de Meyerhof, determinando así que existen buenas cargas admisibles en la tercera capa para las dos líneas con valores superiores a los $3,5 \text{ kg/cm}^2$.

Con datos de las Líneas sísmicas se procedió al cálculo de asentamientos instantáneos con la finalidad de determinar si existe alguna falla por asentamientos, partiendo del cálculo de los módulos de elasticidad con los datos de V_p y V_s , esta equivalente a 1543 kg/cm² para la LS-01 y 1667 kg/cm² para la LS-02. Con este dato se calculó el asentamiento considerando los distintos tipos de cimentación y el factor de ajuste en función de la geometría del cimientamiento obteniendo valores que oscilan de 0.04 a 0.44 cm en la línea 1 y valores de 0.04 a 0.41 cm en la línea 2, estableciendo así que dichos valores están dentro del rango establecido por la NEC-SE-GC (2014) la cual plantea que los asentamientos tolerables no deben exceder los 20cm.

Al calcular el ángulo de corte en función del ángulo de fricción interna, empleado para determinar la resistencia al corte del suelo, dependiendo de la forma de las partículas que conforman el suelo, el grosor y el factor de seguridad de 1.25 para excavaciones en obra establecido por la NEC-2015, se obtuvo un ángulo de corte de 31.97° para el SPT 1, mientras que con datos de la LS-01 se obtiene valor 39.30°. Con valores obtenidos del SPT 2 se obtiene un ángulo de corte de 37.04°, para la LS-02 se obtiene valores de 37.45°. Finalmente, con los datos del SPT 3 se obtuvo valores de 39.98°, destacando que el ángulo de corte obtenido del SPT1 es el más bajo que los obtenidos con los demás ensayos SPT y líneas de refracción sísmica. Destacando que estos valores indican la densidad y cohesión del suelo el autor Alberto J. Martínez Vargas, 1990, determina que la densidad relativa del suelo se puede medir conforme el N_{spt} efectuados hasta alcanzar el rebote del equipo, en este caso para el segundo y tercer ensayo SPT para alcanzar el rebote se efectuaron > de 50 golpes, por ende, se clasifica como un suelo denso. De la misma forma mediante el análisis de la compresibilidad y expansibilidad de suelos de los autores Del Castillo (1974) y Sowers (1978) se determinó que las arcillas de alta plasticidad presentes en un 70% en el área de estudio son de buena resistencia al corte, corroborando de esta forma que se trata de suelos arcillosos compactos.

Una vez efectuados todos los ensayos en campo, tanto directos (SPT, calicatas, ensayo de corte directo) como indirecto (sísmica de refracción) se determina que mediante el análisis de las cargas admisibles, asentamientos tolerables y ángulo de fricción es viable la construcción del relleno sanitario, tomando en cuenta los siguientes aspectos:

- El tiempo estimado de vida útil del relleno sanitario es de 25 años, para este periodo se utilizará una superficie efectiva (propiamente lo que se rellena) de 9600m², mediante el uso de dos plataformas de almacenamiento donde se albergaran 83160 ton/ m² de residuos sólidos para los 9125 los días que corresponden a los 25 años de vida útil del relleno sanitario.
- La capacidad admisible según los ensayos SPT son de 30ton/m² multiplicado por el área efectiva a usar 9600 m² da como resultado 288000 ton/m²; por ende, la capacidad admisible

para la disposición de residuos sólidos en el área destinada se encuentra dentro del rango requerido, de tal forma es factible el emplazamiento de la infraestructura.

- Considerando como ejemplo diferentes proyectos de relleno sanitario aprobados por DIGESA (1998) en donde los valores estimados en esta investigación se encuentran dentro del rango de la capacidad portante de los proyectos efectuados en el Perú, tales como: Abancay con 3 a 4 kg/cm², Yurimaguas con 1 a 3.5 kg/cm², Huancayo 1.5 a 2.0 kg/cm², Huanta con 2 a 4 kg/cm².

8. Conclusiones

- De acuerdo al análisis de la caracterización de las propiedades geológicas en la zona de estudio, topográficamente el área comprende una superficie de 3.55 ha con altitudes oscilantes de 725 hasta los 770msnm, y conforme el análisis de las pendientes se determinó que predominan pendientes de tipo fuertemente inclinadas con un 42,37% equivalente a 1.50ha, y pendientes muy inclinadas con un 38.98% es decir la mayor parte del área predominan pendientes de 5 a 35°.
- Geológicamente la zona de estudio está conformada por materiales vulcano-sedimentarios, como arcillas, limos y arenas, además de clastos de andesita - basáltica que van de 8 a 15 cm, con un alto grado de meteorización, influenciado principalmente por la composición mineralógica de las rocas que son muy susceptibles a las condiciones climáticas que se encuentran en el sector.
- Mediante el análisis de las propiedades físico – mecánicas de los materiales, considerando el contenido de humedad de las muestras obtenidas de los ensayos SPT, en el primer ensayo se obtuvo 17.71% segundo ensayo 16.88% y 10.70% en el tercer ensayo, destacando que conforme avanza la exploración referente a la profundidad va disminuyendo el contenido de humedad, corroborando que a nivel subterráneo no existe presencia de agua y la humedad proviene desde la superficie, por lo que se considera que el origen de dichas aguas es producto del riego ya que la zona colíndate al polígono de estudio es una área agrícola donde constantemente se efectúa el riego para su producción.
- En los ensayos SPT, se concluye que los suelos encontrados según la clasificación SUCS pertenecen a arcillas de alta plasticidad (CH) presentes en un 70% en el área de estudio, arcillas de baja plasticidad (CL) presentes en un 20% y limos de alta plasticidad (MH) presentes en un 10%.
- Por medio de los resultados obtenidos de las líneas sísmicas se concluye que los suelos se clasifican en 3 capas, donde las capas superficiales están conformadas por materiales de granulometría fina (suelos arcillo-limosos) y a mayor profundidad roca alterada y fracturada perteneciente a la formación Célica.
- De acuerdo a los parámetros ingenieriles del estudio geológico – geotécnico necesarios en la construcción del relleno sanitario, se concluye que conforme la aplicación de la fórmula de Meyerhof la carga portante de la línea sísmica 1 dio como resultado 0.52, 1.46 y 3.56 para la capa 1, 2 y 3; mientras que según Tezcan la q_a es de 0.97, 1.92 y

4.54. Para línea sísmica 2, según Meyerhof se obtuvo capacidades de 0.54, 1.55 y 2.93 kg/cm² y según Tezcan 0.98, 1.92 y 3.64 kg/cm² para la capa 1-2-3 respectivamente, denotando que existe una mejor capacidad de carga en la primera línea sísmica.

- Por medio de las líneas de refracción sísmica y ensayo de penetración estándar se determinó la no presencia de niveles freáticos que incidan en la implantación de la infraestructura del relleno sanitario, además considerando el cálculo de asentamientos, se concluye que no se presentarán fallas por asentamiento puesto que comprende valores de 0.04 a 0.44 cm y la NEC establece valores hasta los 20 cm.
- Los suelos que constituyen el área de estudio son aceptables para la construcción del relleno sanitario, contando con cargas admisibles que van desde 1,10 a 3,0 kg/cm², valores estimados como tolerables para la implantación.

9. Recomendaciones

- Incorporar un sistema de drenaje, el cual debe captar, conducir y evacuar el agua que pueda ingresar al área, de manera rápida y eficiente, evitando de esta manera cargas hidrostáticas y saturación del suelo.
- Para la reducción de la plasticidad del suelo y un posible potencial de expansión de la arcilla se recomienda la adición de cal a una profundidad no mayor a 15 cm, agregando la cal y compactando. Con esto se reduce el límite líquido, el índice de plasticidad y el potencial cambio de volumen, así como un incremento en el límite de contracción.
- Se recomienda colocar material de mejoramiento en el primer metro de profundidad del suelo, el mismo que puede ser Subbase Clase 3 en capas de 20 cm, ya que este material es aplicable en materiales altamente erosionados como es el caso de los materiales de la zona de estudio.
- Se recomienda realizar las plataformas de recolección de residuos sólidos a dos metros de profundidad, ya que a partir de ahí se determinaron cargas admisibles buenas.
- Efectuar un estudio petrográfico a detalle de las rocas constituidas en el área de estudio, con la finalidad de determinar minuciosamente su composición e influencia con la erosión del sector.
- Ejecutar más ensayos de perforaciones, con la finalidad de determinar si existen aguas subterráneas a mayor profundidad que las analizadas en la presente investigación.
- Se recomienda realizar las excavaciones para la cimentación en presencia de un especialista geotécnico con la finalidad de presentar recomendaciones adicionales a las que se encuentran en este informe en caso de que las hubiera.

10. Bibliografía

- Alfonso Alvarez Manilla Aceves. (2003). *GEOFÍSICA APLICADA EN LOS PROYECTOS BÁSICOS DE INGENIERÍA CIVIL*.
- Arturo Eguez, & Osman Poma. (2001). *La Cuenca Alamor-Lancones en el contexto geodinámico de los Andes de Huancabamba, SW Ecuador*.
- Avila Anibal. (2004). *Mecánica de Suelos*. <https://es.scribd.com/document/408118554/Libro-meca-nica-de-suelos-corregido2-docx>
- Bongiorno Francisco. (2017). *ÍNDICE DE CALIDAD DE LA ROCA RQD*.
- Braja M. Das. (2001). *Fundamentos de Ingenieria Geotecnica*. California. https://es.slideshare.net/juliangalindo4/libro-braja-mdas?qid=fb79ecec-d419-458e-82b3-a5818ba49f9c&v=&b=&from_search=2
- David Millones. (2022). *Coeficiente de balasto*.
- Echeveste H. (2017). *Manual de levantamiento geologico - Introduccion a la geologia de campo*.
- GEOSEC Ground Engineering. (2020). *Asentamiento del Terreno*.
- Huayaney Vargas Edgar. (2020). *Coeficiente de balasto en suelos*.
- JOHN ERNEY CARRILLO RAMIREZ. (2021). *EL DRON MÉTODO DE LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO MÁS EFICAZ PARA EL MUNICIPIO DE VILLANUEVA DEPARTAMENTO DEL CASANARE COLOMBIA*.
- Jorge Eduardo Oviedo Veas. (2020). *Refraccion Sismica*.
- Jose I. Lugo Hubp. (1988). *ELEMENTOS DE LA GEOMORFOLOGIA APLICADA*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Jr. Enrique Encinas Franco. (2016). *MÉTODO DE REFRACCIÓN SÍSMICA*.
- Juarez Badillo, & Rico Rodriguez. (2005). *MECANICA DE SUELOS : Vol. Tomo 1* (Editorial Limusa, Ed.).

- JULY ESTEFANY CARMONA ÁLVAREZ. (2014). *ESTUDIO DE RESULTADOS ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT) PARA EL FACTOR DE CORRECCIÓN (CN) Y EL ÁNGULO DE FRICCIÓN (ϕ) DEL SUELO USANDO DIFERENTES TIPOS DE CORRELACIONES*. UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA.
- Luis I. Gonzalez de Vallejo, Mercedes Ferrer, Luis Ortuño, & Carlos Oteo. (2002). *Ingeniería Geologica* (Isabel Capella, Ed.; Segunda Edición).
- LUIS SAAVEDRA FRIAS. (2015, August 10). *LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO CON CINTA METRICA*.
- Lupitha Vega Guerrero. (2018). *EXPLORACION Y MUESTREO DE SUELOS*.
- Máximo Villón Béjar. (2004). *Hidrología*. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=-JjGDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=que+es+la+hidrolog%C3%ADa&ots=IiHIyRp703&sig=T3McL7VE7tc4f1cCtEOi80Zrszw#v=onepage&q=que%20es%20la%20hidrolog%C3%ADa&f=false>
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2014). *GEOTÉCNIA Y CIMENTACIONES*.
- Paladines, A., & Soto, J. (2010). *GEOLOGÍA Y YACIMIENTOS MINERALES DEL ECUADOR 2010 AGUSTÍN PALADINES*.
- Patricia Avaria R. (2018). *Mejoramiento del suelo*.
- Rincón, M. A., Wilson, V., Vargas, E., Carlos, V., & Vergara, J. G. (2018). *CONCEPTOS Y APLICACIONES TOPOGRAFÍA*.
- Rodriguez Serquen William. (2019). *CLASIFICACIÓN DE SUELOS*. https://www.academia.edu/38554976/CLASIFICACION_DE_SUELOS
- Servicio Geologico Mexicano. (2018a). *GEOFISICA*.
- Servicio Geologico Mexicano. (2018b). *Geotecnia*.
- Tarbuck E, & Lutgens F. (2005). *Ciencias de la Tierra, una introducción a la geología física* (Miguel Martín-Romo, Ed.; Octava Edición). Pearson Educación S. A.

V. BELOUSOV. (1979). *GEOLOGIA ESTRUCTURAL* (Segunda Edicion).

ZAFECO Geotechnisch Adviesbureau. (2019). *Ensayos de Laboratorio de Suelos*.

<http://www.zafeco.nl/index.php/es/investigacion-del-suelo/ensayos-de-laboratorio-de-suelos>

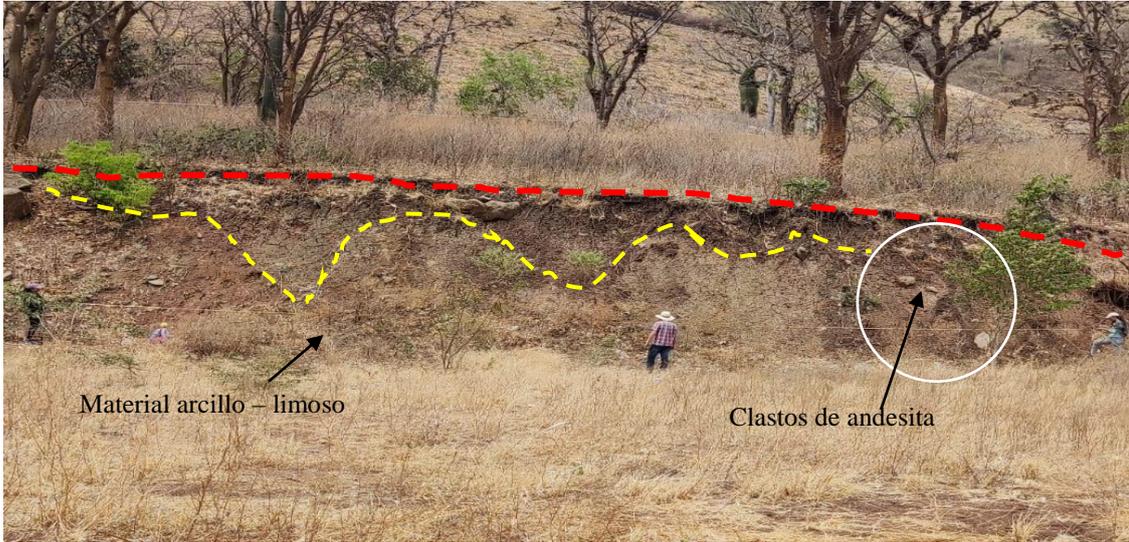
11. Anexos

Anexo 1. Mapa topográfico

Anexo 2. Mapa de pendientes

(Ubicados en el Cd-R Nro. 1)

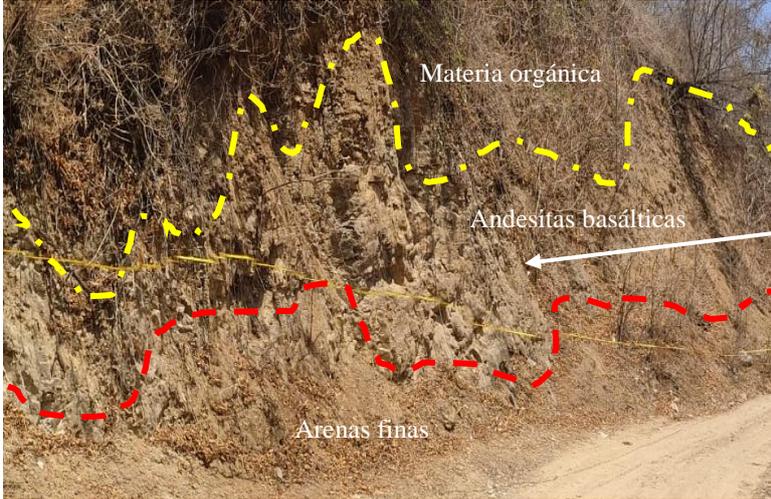
Anexo 3. Fichas de descripción de afloramientos

FICHAS DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS					
Nro. de afloramiento	1		Fecha	10/11/2022	
Tipo de afloramiento	Antrópico		Unidad geológica	Unidad Celica	
Coordenadas de ubicación					
X	617037	Y	9537612	Z	740msnm
Tipo de roca o material					
Ígnea		Metamórfico		Sedimentario	
				x	
Fotografía					
					
Dimensiones			Nro. de estratos		
Largo		Alto		1	
25m		4.5m			
Características del afloramiento					
Buzamiento		Dir. Buzamiento		Rumbo	
Descripción del afloramiento					
Afloramiento de origen antrópico, constituido por material arcillo – limoso, presencia de clastos de andesita de 8 a 15cm, se denota la clara erosion de los materiales, la vegetación ubicada en la zona superior y dentro del afloramiento es de tipo arbustiva.					

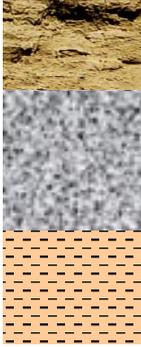
FICHAS DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS							
Nro. de afloramiento		2		Fecha		10/11/2022	
Tipo de afloramiento		Antrópico		Unidad geológica		Unidad Celica	
Coordenadas de ubicación							
X	617093	Y	9537691	Z	748 msnm		
Tipo de roca o material							
Ígnea		Metamórfico		Sedimentario			
				x			
Fotografía							
							
Dimensiones				Nro. de estratos			
Largo		Alto		1			
3.5m		2.1m					
Características del afloramiento							
Buzamiento		Dir. Buzamiento		Rumbo			
Descripción del afloramiento							
Afloramiento de origen antrópico, constituido por arcillas y arenas, además de clastos de andesitas meteorizadas, se puede denotar una amplia cobertura vegetal en la parte izquierda y superior del afloramiento.							

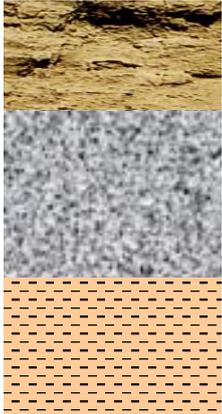
FICHAS DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS							
Nro. de afloramiento		3		Fecha		10/11/2022	
Tipo de afloramiento		Antrópico		Unidad geológica		Unidad Celica	
Coordenadas de ubicación							
X	617093	Y	9537691	Z	755msnm		
Tipo de roca o material							
Ígnea		Metamórfico		Sedimentario			
x							
Fotografía							
							
Dimensiones				Nro. de estratos			
Largo		Alto		1			
25m		4.5m					
Características del afloramiento							
Buzamiento	N/A	Dir. Buzamiento	N/A	Rumbo	N/A		
Descripción del afloramiento							
Afloramiento de origen antrópico, constituido principalmente de arcilla arenosa, presencia de clastos de andesita, se observa una fuerte erosión en los materiales, la vegetación ubicada en la zona superior del afloramiento es de tipo arbustiva.							

FICHAS DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS					
Nro. de afloramiento		4		Fecha	10/11/2022
Tipo de afloramiento		Antrópico		Unidad geológica	Unidad Celica
Coordenadas de ubicación					
X	616971	Y	9537654	Z	765msnm
Tipo de roca o material					
Ígnea		Metamórfico		Sedimentario	
				x	
Fotografía					
					
Dimensiones				Nro. de estratos	
Largo		Alto		1	
28m		2.7m			
Características del afloramiento					
Buzamiento	N/A	Dir. Buzamiento	N/A	Rumbo	N/A
Descripción del afloramiento					
<p>Afloramiento de tipo antrópico, constituido por clastos de andesitas basálticas muy erosionadas, se disgregan al palparlas por lo que no se logró tomar datos estructurales, se puede observar la presencia de arcillas, la tonalidad de la roca se debe al alto grado de erosión, materia orgánica en la parte superior del afloramiento.</p>					

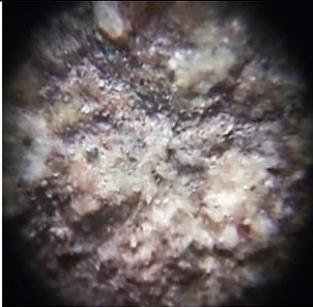
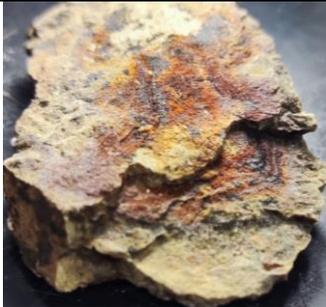
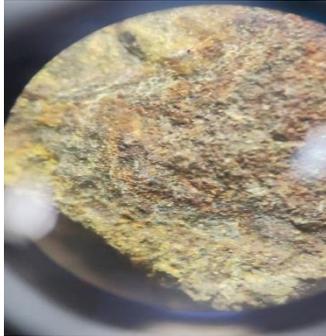
FICHAS DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS							
Nro. de afloramiento		5		Fecha		10/11/2022	
Tipo de afloramiento		Antrópico		Unidad geológica		Unidad Celica	
Coordenadas de ubicación							
X	617017	Y	9537734	Z	770msnm		
Tipo de roca o material							
Ígnea		Metamórfico		Sedimentario			
				x			
Fotografía							
							
Dimensiones				Nro. de estratos			
Largo		Alto		1			
26m		3.2m					
Características del afloramiento							
Buzamiento	N/A	Dir. Buzamiento	N/A	Rumbo	N/A		
Descripción del afloramiento							
<p>Afloramiento de tipo antrópico, compuesto por clastos de andesitas basálticas con fuerte erosión, presentan tonalidades naranjas debido a la meteorización del material, en la parte inferior del afloramiento consta de arenas finas, la materia orgánica está ubicada en la parte superior del afloramiento.</p>							

Anexo 4. Ficha de descripción de calicatas

FICHA DE DESCRIPCION DE CALICATAS				Nro. 1	
Ubicación		La Sangui - Celica		Profundidad	
				1m	
Fecha		24/11/2022		Nivel freático	
				no	
Coordenadas de ubicación (UTM WGS 84, 17S)					
X	617026	Y	9537588	Z	745nsnm
Fotografía		Columna estratigráfica de calicata		Descripción	
				<p>A los 20cm se encontró Suelo residual</p> <p>A los 50cm pequeños fragmentos de andesita y arcillas - limosas</p> <p>Finalmente, a los 100cm Arcillas de plasticidad media</p>	

FICHA DE DESCRIPCION DE CALICATAS				Nro. 2	
Ubicación		La Sangui - Celica		Profundidad	
				1m	
Fecha		24/11/2022		Nivel freático	
				no	
Coordenadas de ubicación (UTM WGS 84, 17S)					
X	617142	Y	9537652	Z	740nsnm
Fotografía			Columna estratigráfica de calicata		Descripción
					<p>A los 20cm se observa Cobertura vegetal y suelo residual</p> <p>A los 60cm Arcillas - limos y fragmentos de andesita</p> <p>Finalmente, a los 100cm se encontraron arcillas.</p>

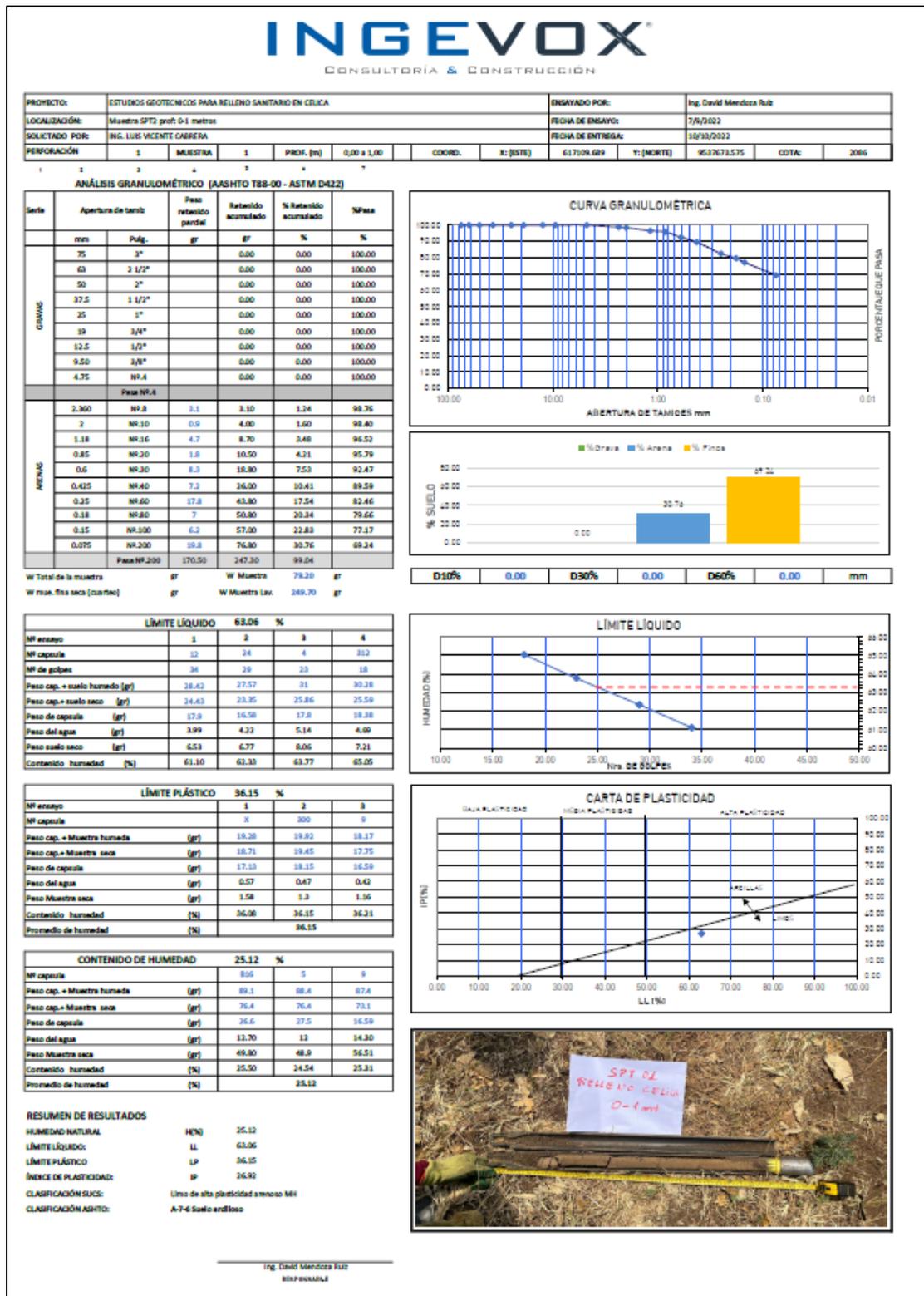
Anexo 5. Ficha técnica para descripción microscópica de muestras

Descripción microscópica de muestras					
Datos					
Muestra Nro.	1	Afloramiento		4	
Fecha	08/12/2022	Cod muestra			
Coordenadas de Ubicación (UTM WGS 84, 17S)					
X	616970	Y	9537653	Z	765msnm
Descripción petrográfica					
Color	Gris oscuro	Fotografía			
Textura	afanítica				
Clastos	anguloso				
% Fenocristales	50%				
Mineralogía					
Minerales principales	Plagioclasa, olivino, piroxeno				
Minerales secundarios	cuarzo				
Grado de meteorización	alto				
Nombre de la roca	Andesita basáltica				

Anexo 6. Mapa geológico y perfil

(Ubicados en el Cd-R Nro. 1)

Anexo 7. Resultados SPT laboratorio



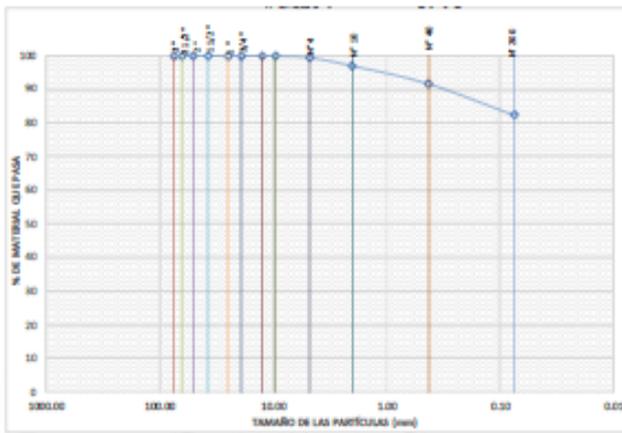


CLASIFICACION DE SUELOS

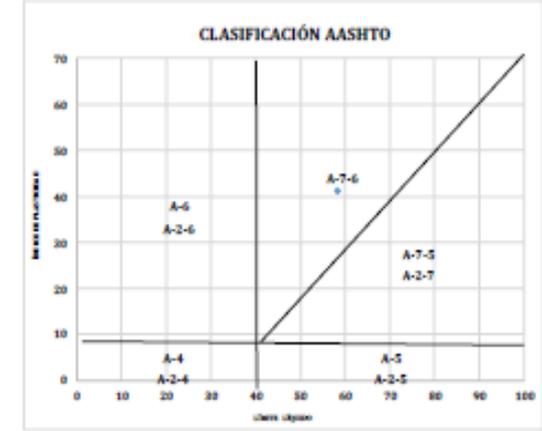
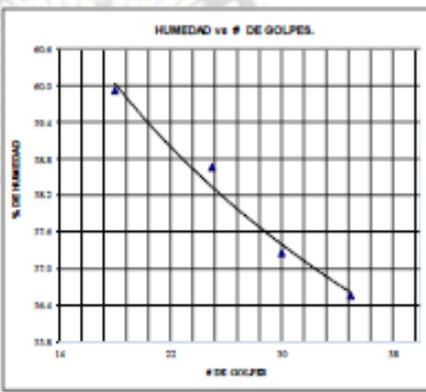


PROYECTO	ESTUDIO GEOLOGICO Y GEOTECNICO PREVIO A LA CONSTRUCCION DEL RELLENO SANITARIO EN EL SECTOR LASANGUI, CANTON CELICA, PROVINCIA DE LOJA						
LOCALIZACION	PROVINCIA		CANTON		SECTOR	PROFUNDIDAD	
	LOJA		CELICA		LASANGUI		1.50 m - 2.00 m
SONDEO	SPT 1	MUESTRA	1	COLOR	Cañ Oscuro	REVISADO POR	
ENSAYADO POR	Ing. Alex Figueroa					Ing. Juan Pablo Paladines	
SOLICITA	Sra. Evelyn Aguilar					COORDENADAS	X
							617011	Y
							9537631
							Z
							733

TAMIZ	PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA
2"	-	-	-	100.0
3/4"	-	-	-	100.0
3/8"	-	-	-	100.0
1/4"	-	-	-	100.0
1"	-	-	-	100.0
3/4"	-	-	-	100.0
1/2"	-	-	-	100.0
3/8"	-	-	-	100.0
Nº4	2.49	2.49	0.6	99.4
FONDO	441.19	-	-	-
Nº8	-	-	-	-
Nº10	10.77	10.77	2.4	97.6
Nº40	24.04	34.81	7.9	92.1
Nº60	-	-	-	-
Nº100	-	-	-	-
Nº200	41.46	76.27	17.1	82.9
FONDO	367.41	-	-	-
TOTAL DE MUESTRA		443.60	ANTES DE LAVAR	443.60



HUMEDAD NATURAL (ASTM D2216)						
Nº TARRO	Nº GOLPES	PESO HUMEDO	PESO SECO	PESO TARRO	% HUMEDAD	% PROMEDIO
1	---	132.28	121.39	47.16	14.67	14.19
2	---	125.66	116.25	47.66	13.72	
LIMITE LIQUIDO (ASTM D4318)						
1	18	33.97	27.59	16.94	59.91	
2	25	36.94	29.49	16.79	58.66	58.34
3	30	35.16	28.41	16.62	57.25	
4	35	33.67	27.59	16.84	56.56	
LIMITE PLASTICO (ASTM D4318)						
A	---	13.29	12.79	9.40	17.70	17.18
B	---	12.93	12.4	9.22	16.67	
CLASIFICACION						
GRAVA	1 %	SOCS		CHI		
ARENA	17 %	LIMITE LIQUIDO:		58 %		
FINOS	82 %	LIMITE PLASTICO:		17 %		
AASHTO	A-7-6	INDICE PLASTICO:		41 %		



Ing. Juan Pablo Paladines B.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

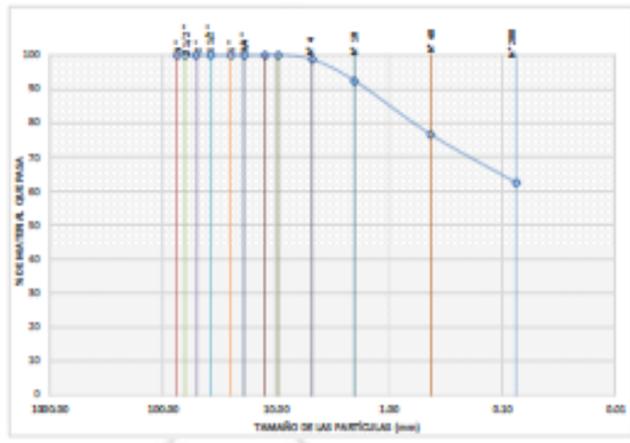


CLASIFICACION DE SUELOS

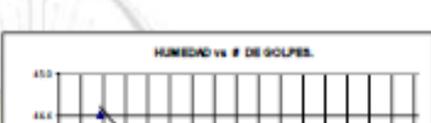


PROYECTO	ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO PREVIO A LA CONSTRUCCIÓN DEL RELLENO SANITARIO EN EL SECTOR LASANGUI, CANTÓN CELICA, PROVINCIA DE LOJA								
LOCALIZACIÓN	PROVINCIA		CANTÓN		SECTOR	PROFUNDIDAD	2.50 m - 3.00 m		
	LOJA		CELICA		LASANGUI				
SONDEO	SPT 1	MUESTRA	2	COLOR	Café Oscuro	REVISADO POR	Ing. Juan Pablo Paladines		
ENSAYADO POR	Ing. Alex Figueroa					COORDENADAS	X	Y	Z
SOLICITA	Sra. Evelyn Aguilar						617011	9527631	733

TAMIZ	PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA
3"	-	-	-	100.0
2 1/2"	-	-	-	100.0
2"	-	-	-	100.0
1 1/2"	-	-	-	100.0
1"	-	-	-	100.0
3/4"	-	-	-	100.0
3/8"	-	-	-	100.0
Nº4	7.82	7.82	1.3	98.7
PESEDO	582.07	-	-	-
Nº10	17.58	27.58	6.3	93.4
Nº40	94.66	132.34	22.19	76.2
Nº60	-	-	-	-
Nº100	94.02	217.06	36.2	62.40
PESEDO	373.43	-	-	-
TOTAL DE MUESTRA	592.49	ARTES DE LAYSE	392.49	-

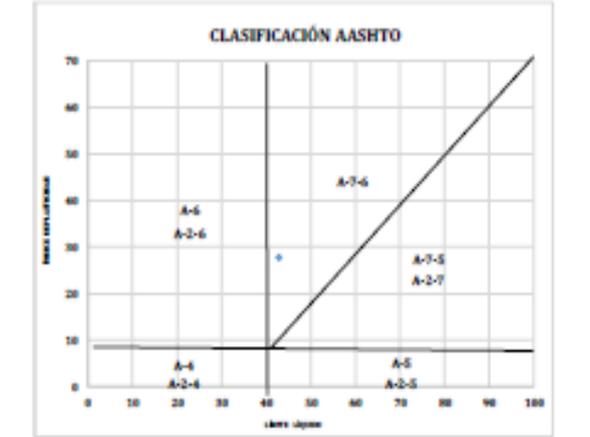


Nº TARRO	Nº GOLPES	PESO HUMEDO	PESO SECO	PESO TARRO	% HUMEDAD	% PROMEDIO
3	—	125.20	115.11	49.06	15.25	17.71
4	—	121.27	116.07	40.21	19.37	



Nº	Nº GOLPES	PESO HUMEDO	PESO SECO	PESO TARRO	% HUMEDAD	% PROMEDIO
5	17	38.05	31.89	16.07	44.2	42.90
6	26	39.50	32.68	16.02	43.0	
7	32	36.61	30.85	17.08	41.8	
8	36	39.15	32.61	16.74	41.2	

GRAVA	1 %	SECS	CL
ARENA	36 %	LÍMITE LIQUIDO:	43 %
FINOS	62 %	LÍMITE PLÁSTICO:	15 %
AASHTO	A-7-6	ÍNDICE PLÁSTICO:	28 %



ING. JUAN PABLO PALADINES R.
RESPONSABLE DE LABORATORIO

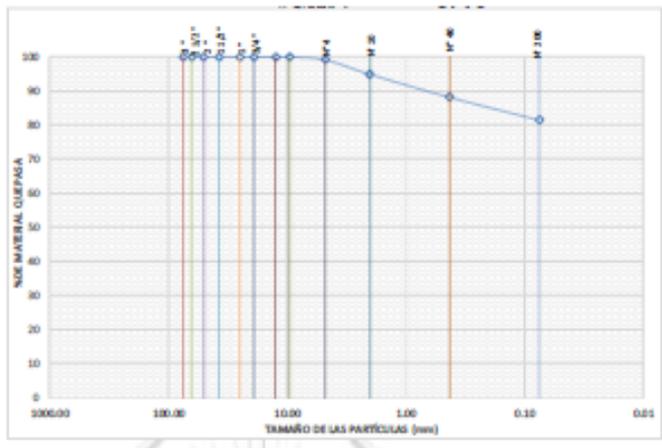


CLASIFICACION DE SUELOS



PROYECTO	ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO PREVIO A LA CONSTRUCCIÓN DEL RELLENO SANITARIO EN EL SECTOR LASANGUI, CANTÓN CELICA, PROVINCIA DE LOJA							
LOCALIZACIÓN	PROVINCIA	CANTÓN		SECTOR	PROFUNDIDAD	1.50 m - 2.00 m		
	LOJA	CELICA		LASANGUI				
SONDEO	SPT 2	MUESTRA	1	COLOR	Cañ Oscuro	REVISADO POR	Ing. Juan Pablo Paladines	
ELABORADO POR	Ing. Alex Figueroa				COORDENADAS	X	Y	Z
SOLICITA	Sra. Evelyn Aguilar					617006	9537633	735

GRANULOMETRÍA (ASTM D422)				
TAMIZ	PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA
3"	-	-	-	100.0
2 1/2"	-	-	-	100.0
2"	-	-	-	100.0
1 1/2"	-	-	-	100.0
1"	-	-	-	100.0
3/4"	-	-	-	100.0
1/2"	-	-	-	100.0
3/8"	-	-	-	100.0
Nº4	3.19	3.19	0.9	99.1
POUNDO	368.42	-	-	-
Nº8	-	-	-	-
Nº10	15.81	15.81	4.2	94.9
Nº40	25.32	41.13	10.97	88.2
Nº60	-	-	-	-
Nº100	-	-	-	-
Nº200	25.02	66.15	17.6	81.49
POUNDO	305.46	-	-	-
TOTAL DE MUESTRA	-	371.61	ANTES DE LAVAR	371.61

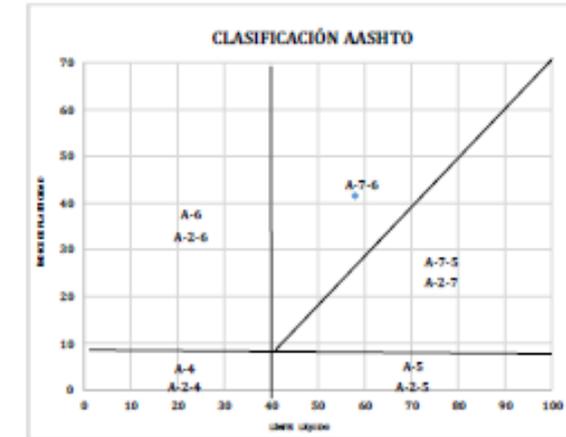
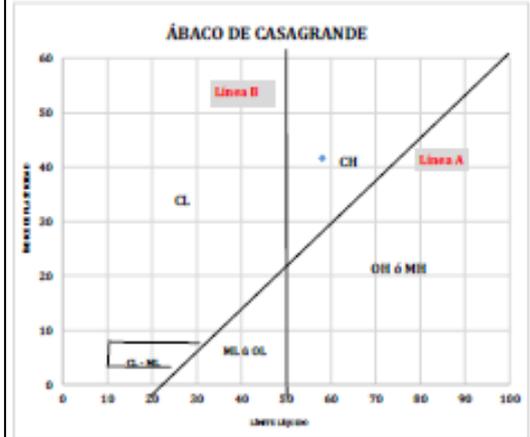
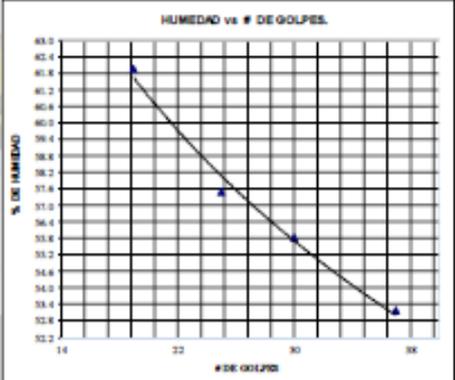


LÍMITES DE ATTERBERG						
HUMEDAD NATURAL (ASTM D2216)						
Nº TARRO	Nº GOLPES	PESO HUMEDO	PESO SECO	PESO TARRO	% HUMEDAD	% PROMEDIO
1	---	126.34	117.90	49.44	12.33	12.07
2	---	134.98	124.62	47.40	13.42	

LÍMITE LIQUIDO (ASTM D4318)						
1	19	38.39	29.09	16.17	61.95	58.08
2	25	35.40	28.64	16.08	57.48	
3	30	36.98	29.94	17.33	55.83	
4	37	34.22	28.14	16.71	53.19	

LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D4318)						
A	---	11.99	11.63	9.39	16.87	16.53
B	---	12.97	12.45	9.39	16.89	

CLASIFICACIÓN		
GRAVA	1 %	SUCS
ARENA	18 %	LÍMITE LIQUIDO:
FINOS	81 %	LÍMITE PLÁSTICO:
AASHTO	A-7-6	ÍNDICE PLÁSTICO:
		42 %



ING. JUAN PABLO PALADINES B.

Anexo 8. Ensayo de corte directo

Especimen 1

Carga (Kg)	Leotura del deformimetro horizontal (mm)	Leotura del deformimetro vertical(mm)	Deformación horizontal (%)	Deformación vertical (%)	Area corregida (cm ²)	Esfuerzo normal (Kg/cm ²)	Esfuerzo cortante (Kg/cm ²)	Relación t/s
0.01	0.00	0.0000	0.00%	0.00%	28.09	0.534	0.0004	0.0007
0.64	0.01	0.0183	0.02%	0.07%	28.08	0.534	0.0229	0.0428
2.31	0.03	0.0183	0.05%	0.07%	28.07	0.534	0.0825	0.1543
2.57	0.09	0.0188	0.15%	0.08%	28.03	0.535	0.0917	0.1713
2.55	0.13	0.0189	0.22%	0.08%	28.01	0.536	0.0910	0.1700
2.57	0.18	0.0189	0.30%	0.08%	27.98	0.536	0.0918	0.1713
2.59	0.23	0.0189	0.38%	0.08%	27.95	0.537	0.0927	0.1727
2.61	0.28	0.0189	0.47%	0.08%	27.92	0.537	0.0935	0.1740
2.54	0.34	0.0196	0.57%	0.08%	27.88	0.538	0.0911	0.1693
2.58	0.39	0.0196	0.65%	0.08%	27.85	0.539	0.0926	0.1720
2.54	0.44	0.0196	0.74%	0.08%	27.82	0.539	0.0913	0.1693
2.58	0.49	0.0196	0.82%	0.08%	27.79	0.540	0.0928	0.1720
2.59	0.55	0.0196	0.92%	0.08%	27.76	0.540	0.0933	0.1727
2.59	0.60	0.0196	1.00%	0.08%	27.73	0.541	0.0934	0.1727
2.59	0.65	0.0196	1.09%	0.08%	27.70	0.542	0.0935	0.1727
2.61	0.70	0.0196	1.17%	0.08%	27.67	0.542	0.0944	0.1740
3.97	0.74	0.0196	1.24%	0.08%	27.64	0.543	0.1435	0.2644
4.77	0.79	0.0196	1.32%	0.08%	27.61	0.543	0.1728	0.3182
5.31	0.84	0.0211	1.40%	0.09%	27.58	0.544	0.1926	0.3542
5.82	0.89	0.0219	1.49%	0.09%	27.55	0.544	0.2113	0.3882
6.23	0.94	0.0228	1.57%	0.09%	27.52	0.545	0.2264	0.4154
6.62	0.99	0.0229	1.66%	0.09%	27.49	0.546	0.2407	0.4412
6.92	1.04	0.0237	1.74%	0.10%	27.46	0.546	0.2521	0.4616
7.25	1.09	0.0237	1.82%	0.10%	27.43	0.547	0.2643	0.4833
7.49	1.14	0.0244	1.91%	0.10%	27.40	0.547	0.2735	0.4997
7.63	1.19	0.0248	1.99%	0.10%	27.37	0.548	0.2786	0.5085
7.59	1.24	0.0249	2.07%	0.10%	27.34	0.549	0.2774	0.5058
7.56	1.30	0.0272	2.17%	0.11%	27.31	0.549	0.2767	0.5037
7.46	1.35	0.0272	2.26%	0.11%	27.28	0.550	0.2736	0.4976
7.37	1.40	0.0272	2.34%	0.11%	27.25	0.550	0.2706	0.4915
7.36	1.44	0.0272	2.41%	0.11%	27.23	0.551	0.2704	0.4908
7.64	1.49	0.0272	2.49%	0.11%	27.20	0.552	0.2808	0.5092
8.28	1.54	0.0272	2.58%	0.11%	27.17	0.552	0.3048	0.5520
8.57	1.58	0.0272	2.64%	0.11%	27.14	0.553	0.3156	0.5710
8.81	1.63	0.0272	2.73%	0.11%	27.11	0.553	0.3250	0.5874
9.12	1.68	0.0272	2.81%	0.11%	27.08	0.554	0.3366	0.6078
9.38	1.73	0.0272	2.89%	0.11%	27.05	0.554	0.3468	0.6254
9.68	1.78	0.0272	2.98%	0.11%	27.02	0.555	0.3581	0.6451
9.94	1.83	0.0272	3.06%	0.11%	26.99	0.556	0.3683	0.6628
10.20	1.88	0.0272	3.14%	0.11%	26.96	0.556	0.3782	0.6798
10.44	1.93	0.0272	3.23%	0.11%	26.93	0.557	0.3877	0.6961
10.71	1.98	0.0273	3.31%	0.11%	26.90	0.558	0.3980	0.7138
10.91	2.03	0.0273	3.39%	0.11%	26.87	0.558	0.4060	0.7274
11.14	2.08	0.0273	3.48%	0.11%	26.84	0.559	0.4148	0.7424
11.33	2.13	0.0273	3.56%	0.11%	26.81	0.559	0.4225	0.7553
11.50	2.18	0.0273	3.65%	0.11%	26.78	0.560	0.4295	0.7668
11.67	2.23	0.0273	3.73%	0.11%	26.75	0.561	0.4360	0.7777
11.88	2.28	0.0273	3.81%	0.11%	26.72	0.561	0.4445	0.7920
12.05	2.33	0.0273	3.90%	0.11%	26.69	0.562	0.4515	0.8035
12.28	2.39	0.0273	4.00%	0.11%	26.66	0.563	0.4606	0.8185
12.44	2.44	0.0273	4.08%	0.11%	26.63	0.563	0.4672	0.8294
12.63	2.49	0.0273	4.16%	0.11%	26.60	0.564	0.4750	0.8423
12.84	2.54	0.0273	4.25%	0.11%	26.57	0.565	0.4832	0.8559
13.02	2.59	0.0273	4.33%	0.11%	26.54	0.565	0.4907	0.8681
13.22	2.64	0.0273	4.41%	0.11%	26.51	0.566	0.4985	0.8810
13.42	2.70	0.0273	4.52%	0.11%	26.47	0.567	0.5069	0.8946
13.62	2.75	0.0273	4.60%	0.11%	26.44	0.567	0.5152	0.9082
13.78	2.80	0.0273	4.68%	0.11%	26.41	0.568	0.5216	0.9184
13.93	2.85	0.0273	4.77%	0.11%	26.38	0.569	0.5280	0.9286
14.10	2.90	0.0273	4.85%	0.11%	26.35	0.569	0.5352	0.9402
14.24	2.95	0.0273	4.93%	0.11%	26.32	0.570	0.5408	0.9490
14.35	2.99	0.0273	5.00%	0.11%	26.30	0.570	0.5456	0.9565
14.48	3.04	0.0273	5.08%	0.11%	26.27	0.571	0.5512	0.9653
14.64	3.09	0.0273	5.17%	0.11%	26.24	0.572	0.5581	0.9762
14.80	3.14	0.0273	5.25%	0.11%	26.21	0.572	0.5645	0.9864
14.92	3.19	0.0273	5.33%	0.11%	26.18	0.573	0.5699	0.9946
15.04	3.24	0.0273	5.42%	0.11%	26.15	0.574	0.5752	1.0027

Especimen 2

Carga (Kg)	Leotura del deformimetro horizontal (mm)	Leotura del deformimetro vertical(mm)	Deformación horizontal (%)	Deformación vertical (%)	Area ooregida (cm ²)	Esfuerzo normal (Kg/cm ²)	Esfuerzo oortante (Kg/cm ²)	Relación t/s
0.010	0.00	0.0000	0.00%	0.00%	28.09	1.068	0.0004	0.0003
3.324	0.01	0.0155	0.02%	0.06%	28.08	1.068	0.1184	0.1108
4.976	0.09	0.0155	0.15%	0.06%	28.03	1.070	0.1775	0.1659
4.986	0.19	0.0155	0.32%	0.06%	27.97	1.072	0.1783	0.1662
4.997	0.29	0.0155	0.48%	0.06%	27.91	1.075	0.1790	0.1666
5.007	0.39	0.0155	0.65%	0.06%	27.85	1.077	0.1798	0.1669
5.007	0.49	0.0155	0.82%	0.06%	27.79	1.079	0.1801	0.1669
5.007	0.59	0.0155	0.99%	0.06%	27.73	1.082	0.1805	0.1669
4.997	0.69	0.0155	1.15%	0.06%	27.67	1.084	0.1806	0.1666
9.657	0.79	0.0155	1.32%	0.06%	27.61	1.086	0.3497	0.3219
11.880	0.88	0.0177	1.47%	0.07%	27.56	1.089	0.4310	0.3960
13.593	0.97	0.0190	1.62%	0.08%	27.51	1.091	0.4942	0.4531
15.051	1.07	0.0204	1.79%	0.08%	27.45	1.093	0.5484	0.5017
15.724	1.16	0.0217	1.94%	0.09%	27.39	1.095	0.5740	0.5241
15.857	1.26	0.0222	2.11%	0.09%	27.33	1.098	0.5801	0.5286
15.622	1.36	0.0223	2.27%	0.09%	27.27	1.100	0.5728	0.5207
16.948	1.46	0.0226	2.44%	0.09%	27.21	1.102	0.6228	0.5649
18.508	1.55	0.0232	2.59%	0.09%	27.16	1.105	0.6815	0.6169
19.833	1.64	0.0240	2.74%	0.10%	27.11	1.107	0.7317	0.6611
21.281	1.74	0.0244	2.91%	0.10%	27.05	1.109	0.7869	0.7094
22.536	1.84	0.0252	3.08%	0.10%	26.99	1.112	0.8351	0.7512
23.719	1.94	0.0257	3.24%	0.10%	26.93	1.114	0.8809	0.7906
24.922	2.04	0.0257	3.41%	0.10%	26.87	1.117	0.9276	0.8307
25.636	2.14	0.0263	3.58%	0.11%	26.81	1.119	0.9563	0.8545
26.900	2.24	0.0263	3.75%	0.11%	26.75	1.122	1.0057	0.8967
27.889	2.34	0.0263	3.91%	0.11%	26.69	1.124	1.0450	0.9296
28.878	2.43	0.0263	4.06%	0.11%	26.63	1.126	1.0843	0.9626
29.878	2.54	0.0263	4.25%	0.11%	26.57	1.129	1.1246	0.9959
30.806	2.64	0.0263	4.41%	0.11%	26.51	1.132	1.1621	1.0269
31.203	2.74	0.0264	4.58%	0.11%	26.45	1.134	1.1798	1.0401
31.938	2.83	0.0264	4.73%	0.11%	26.39	1.137	1.2100	1.0646
32.804	2.92	0.0264	4.88%	0.11%	26.34	1.139	1.2454	1.0935
33.202	3.02	0.0264	5.05%	0.11%	26.28	1.142	1.2633	1.1067
34.344	3.12	0.0264	5.22%	0.11%	26.22	1.144	1.3098	1.1448
34.976	3.22	0.0264	5.38%	0.11%	26.16	1.147	1.3369	1.1659
35.354	3.32	0.0264	5.55%	0.11%	26.10	1.149	1.3544	1.1785
35.894	3.41	0.0264	5.70%	0.11%	26.05	1.152	1.3780	1.1965
36.608	3.50	0.0264	5.85%	0.11%	25.99	1.154	1.4083	1.2203
37.067	3.60	0.0264	6.02%	0.11%	25.93	1.157	1.4292	1.2356
37.546	3.70	0.0264	6.19%	0.11%	25.87	1.159	1.4511	1.2515
38.076	3.80	0.0264	6.35%	0.11%	25.82	1.162	1.4749	1.2692
38.504	3.90	0.0263	6.52%	0.11%	25.76	1.165	1.4950	1.2835
38.892	4.00	0.0257	6.69%	0.10%	25.70	1.167	1.5135	1.2964
39.290	4.10	0.0243	6.86%	0.10%	25.64	1.170	1.5326	1.3097
39.534	4.19	0.0233	7.01%	0.09%	25.58	1.173	1.5454	1.3178
39.769	4.29	0.0221	7.17%	0.09%	25.52	1.175	1.5582	1.3256
39.912	4.40	0.0208	7.36%	0.08%	25.46	1.178	1.5678	1.3304
40.065	4.50	0.0197	7.53%	0.08%	25.40	1.181	1.5775	1.3355
40.238	4.60	0.0188	7.69%	0.08%	25.34	1.184	1.5880	1.3413
40.320	4.70	0.0182	7.86%	0.07%	25.28	1.187	1.5950	1.3440
40.452	4.80	0.0168	8.03%	0.07%	25.22	1.190	1.6040	1.3484
40.656	4.89	0.0160	8.18%	0.06%	25.17	1.192	1.6156	1.3552
40.768	4.98	0.0137	8.33%	0.06%	25.11	1.195	1.6235	1.3589
40.717	5.09	0.0123	8.51%	0.05%	25.05	1.198	1.6257	1.3572
40.748	5.19	0.0104	8.68%	0.04%	24.99	1.201	1.6308	1.3583
40.595	5.29	0.0084	8.85%	0.03%	24.93	1.204	1.6286	1.3532
40.554	5.38	0.0068	9.00%	0.03%	24.87	1.206	1.6304	1.3518
40.564	5.47	0.0056	9.15%	0.02%	24.82	1.209	1.6344	1.3521
40.646	5.57	0.0040	9.31%	0.02%	24.76	1.212	1.6416	1.3549
40.442	5.68	0.0021	9.50%	0.01%	24.69	1.215	1.6377	1.3481
40.452	5.78	0.0021	9.67%	0.01%	24.64	1.218	1.6421	1.3484
40.401	5.88	0.0012	9.83%	0.00%	24.58	1.221	1.6440	1.3467
40.279	5.99	0.0003	10.02%	0.00%	24.51	1.224	1.6434	1.3426
40.167	6.08	0.0004	10.17%	0.00%	24.46	1.227	1.6424	1.3389
40.054	6.18	0.0009	10.33%	0.00%	24.40	1.230	1.6418	1.3351
40.034	6.28	0.0029	10.50%	0.01%	24.34	1.233	1.6449	1.3345
40.024	6.39	0.0039	10.69%	0.02%	24.27	1.236	1.6490	1.3341
40.034	6.49	0.0049	10.85%	0.02%	24.21	1.239	1.6534	1.3345

Especimen 3

Carga (Kg)	Lectura del deformimetro horizontal (mm)	Lectura del deformimetro vertical(mm)	Deformación horizontal (%)	Deformación vertical (%)	Area corregida (cm2)	Esfuerzo normal (Kg/cm2)	Esfuerzo cortante (Kg/cm2)	Relación t/s
0.017	0.00	0.0000	0.00%	0.00%	28.09	2.136	0.0006	0.0003
8.184	0.33	0.0000	0.55%	0.00%	27.89	2.151	0.2934	0.1364
8.217	0.85	0.0000	1.42%	0.00%	27.58	2.176	0.2979	0.1370
15.848	1.37	0.0000	2.29%	0.00%	27.27	2.200	0.5812	0.2641
24.701	1.85	0.0000	3.10%	0.00%	26.98	2.224	0.9156	0.4117
25.639	2.35	0.0000	3.93%	0.00%	26.68	2.249	0.9610	0.4273
32.550	2.84	0.0000	4.74%	0.00%	26.39	2.274	1.2334	0.5425
38.927	3.36	0.0000	5.61%	0.00%	26.08	2.301	1.4926	0.6488
44.148	3.88	0.0000	6.48%	0.00%	25.77	2.328	1.7131	0.7358
49.035	4.39	0.0000	7.35%	0.00%	25.46	2.357	1.9259	0.8172
52.415	4.90	0.0000	8.19%	0.00%	25.16	2.385	2.0831	0.8736
56.365	5.40	0.0000	9.03%	0.00%	24.86	2.413	2.2670	0.9394
58.909	5.90	0.0320	9.87%	0.13%	24.56	2.443	2.3982	0.9818
61.620	6.40	0.0540	10.70%	0.22%	24.27	2.473	2.5394	1.0270
63.829	6.92	0.0660	11.57%	0.27%	23.96	2.504	2.6643	1.0638
65.268	7.42	0.0660	12.41%	0.27%	23.66	2.536	2.7587	1.0878
66.038	7.96	0.0960	13.31%	0.39%	23.34	2.571	2.8292	1.1006
66.724	8.46	0.1160	14.15%	0.47%	23.04	2.604	2.8955	1.1121
66.573	9.46	0.1180	15.82%	0.48%	22.45	2.672	2.9653	1.1096
66.389	10.00	0.1180	16.72%	0.48%	22.13	2.711	2.9994	1.1065
65.921	10.52	0.1420	17.59%	0.57%	21.83	2.749	3.0199	1.0987
65.218	11.57	0.1660	19.35%	0.67%	21.21	2.829	3.0751	1.0870

Anexo 9. Certificación de traducción del resumen

Loja, 13 de noviembre del 2023

El suscrito Jaime Patricio Serrano Torres.

Lcdo. En Ciencias de la Educación Mención Idioma Inglés

A petición de la parte interesada y en forma legal.

CERTIFICA:

Que **Aguilar Velázquez Evelyn Elizabeth** con cédula de identidad número **1105633281**, estudiante de la Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Loja, completó satisfactoriamente la presente traducción de español a inglés del resumen del Trabajo de Titulación denominado **Estudio geológico – geotécnico previo a la construcción del relleno sanitario en el sector la Sanguí, cantón Celica, provincia de Loja.**

Traducción que fue guiada y revisada minuciosamente por mi persona. En consecuencia, se da validez a la presentación de la misma. Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, pudiendo el interesado hacer uso del presente documento en lo que estimare conveniente.

Atentamente.



Jaime Patricio Serrano Torres

Lcdo. En Ciencias de la Educación Mención Idioma Inglés

Número de Registro Senescyt: 1031-2021-2372568