



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agrícola

**Caracterización de suelos en la Quinta Experimental Punzara
de la Universidad Nacional de Loja, para su posible uso como
material de impermeabilización de reservorios.**

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de
Ingeniero Agrícola

AUTOR:

Renzo Rodrigo Nagua Medina

DIRECTOR:

Ing. Dans Ernesto Vilela Mora, Mg.Sc.

Loja – Ecuador

2024

Certificación

Loja, 10 de marzo de 2023

Ing. Dans Ernesto Vilela Mora M.Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Caracterización de suelos en la Quinta Experimental Punzara de la Universidad Nacional de Loja, para su posible uso como material de impermeabilización de reservorios.**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Agrícola**, de la autoría del estudiante **Renzo Rodrigo Nagua Medina**, con cédula de identidad Nro.**0707028320**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



DANS ERNESTO VILELA
MORA

Ing. Dans Ernesto Vilela Mora M.Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

Yo, **Renzo Rodrigo Nagua Medina**, declaro ser autor del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula de identidad: 0707028320

Fecha: 8 de abril de 2024

Correo electrónico: renzo.nagua@unl.edu.ec

Teléfono celular: 0993860118

Carta de autorización

Yo, **Renzo Rodrigo Nagua Medina**, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Caracterización de suelos en la Quinta Experimental Punzara de la Universidad Nacional de Loja, para su posible uso como material de impermeabilización de reservorios**, como requisito para optar el título de **Ingeniero Agrícola**, 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 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 Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los ocho días del mes de abril de dos mil veinticuatro.

Firma:



Autor: Renzo Rodrigo Nagua Medina

Cédula: 0707028320

Dirección: La Argelia, Loja Ecuador

Correo electrónico: renzo.nagua@unl.edu.ec

Teléfono celular: 0993860118

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director del Trabajo de Integración Curricular: Ing. Dans Ernesto Vilela Mora, Mg.Sc.

Dedicatoria

Dedico este proyecto de investigación principalmente a mi madre Nelly por ser mi mayor soporte en todo este recorrido académico, por su gran esfuerzo y amor que siempre me ha brindado, a mis hermanos, quienes me apoyaron en todo momento con sus palabras de aliento y motivación, a mis amigos que de la misma manera fueron parte de este proceso.

Quiero dedicar también a los estudiantes, compañeros de la carrera, que, con el mismo anhelo de portar la capa de graduación, se esfuerzan a diario para resolver inconvenientes, ser mejores y llenarse de conocimiento para estar preparados a enfrentarse a la vida profesional.

Renzo Rodrigo Nagua Medina

Agradecimiento

Agradezco principalmente a Dios por su gran bondad y misericordia, por sus desafíos y alegrías, siendo mi luz y guía en mi camino. A mi madre Nelly Medina por brindarme siempre su apoyo incondicional, a mis hermanos, Andrea, Leonardo, Mishel y Nailette, por su gran cariño, estima y confianza que tienen en mí.

A la noble institución Universidad Nacional de Loja por acogerme, forjarme y formarme como profesional, sus docentes y personal administrativo. A mi director Ing. Dans Vilela, por su orientación y conducción a que este trabajo se lo realizara de la mejor manera.

Finalmente agradezco al Ing. Fernando Cuenca y Ing. Cristian por su gran empatía, generosidad y amistad, quienes cada vez me ayudaron en la ejecución de los ensayos en laboratorio de mecánica de suelos.

Renzo Rodrigo Nagua Medina

Índice de Contenidos

Portada	i
Certificación de director	ii
Autoría	iii
Carta de autorización del estudiante	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de Contenidos	vii
1. Título	1
2. Resumen	2
3. Introducción	4
4. Marco teórico	6
4.1 El suelo como material de construcción	6
4.1.1 Fase solida.....	6
4.1.2 Fase liquida	7
4.1.3 Fase gaseosa.....	7
4.2 La Arcilla	7
4.2.1 Arcillas comunes y especiales	8
4.3 Clasificación mineral arcilloso	8
4.3.1 Colinita y Haloisita	8
4.3.2 Illita y Montmorillonita	9
4.4 Arcillas caoliníferas	9
4.5 Arcillas refractarias	10
4.6 Caolín.....	10
4.6.1 Cuarzo.....	11
4.7 Propiedades de la Arcilla	11
4.7.1 Plasticidad.....	11
4.7.2 Capacidad de Intercambio catiónico.....	11
4.7.3 Capacidad de absorción	12
4.7.4 Hidratación e hinchamiento	12
4.8 Consistencia del suelo.....	13
4.8.1 Estados de consistencia.....	13
4.8.2 Índice de plasticidad	14
4.8.3 Actividad de la arcilla	14
4.9 Permeabilidad	15
4.9.1 Conductividad hidráulica.....	15
5. Metodología	17
5.1 Ubicación de la zona de estudio	17
5.2 Materiales.....	18
5.2.1 Materiales de oficina.....	18
5.2.2 Materiales de Campo	18
5.2.3 Materiales y Equipos de Laboratorio.....	18
5.3 Diseño de investigación	19

5.4	Muestra	19
5.5	Metodología para el primer objetivo	20
5.6	Metodología para el segundo objetivo.....	20
5.6.1	Determinación de contenido de humedad, ASTM D22 16.....	21
5.6.2	Análisis granulométrico por tamizado, ASTM D422.....	21
5.6.3	Análisis granulométrico por método del hidrómetro, ASTM D422-63.....	21
5.6.4	Determinación del límite líquido y límite plástico del suelo, ASTM D4318	21
5.6.5	Ensayo de compactación de suelo con Proctor Estándar, ASTM D698	21
5.6.6	Determinación del límite contracción por método del Mercurio, ASTM D427.....	22
5.6.7	Ensayo de permeabilidad, ASTM 2434-68.....	22
5.7	Metodología para el tercer objetivo	22
5.7.1	Método para clasificar al suelo por SUCS.....	22
5.7.2	Método para clasificar al suelo por AASHTO.....	23
6.	Resultados.....	25
6.1	Análisis de la normativa vigente ASTM para los procedimientos de realización de ensayos físicos- mecánicos de muestras de suelo	25
6.1.1	Determinación de contenido de humedad, ASTM D22 16-98	25
6.1.2	Análisis granulométrico por tamizado, ASTM D422.....	26
6.1.3	Análisis granulométrico por método del hidrómetro, ASTM D422-63.....	27
6.1.4	Determinación del límite líquido y límite plástico del suelo, ASTM D4318.....	30
6.1.5	Ensayo de compactación de suelo con Proctor Estándar, ASTM D698	31
6.1.6	Determinación del límite contracción por método del Mercurio, ASTM D427.....	33
6.1.7	Ensayo de permeabilidad, ASTM 2434-68.....	35
6.2	Resultados para el segundo objetivo específico	36
6.2.1	Contenido de humedad de campo.	36
6.2.2	Análisis granulométrico por tamizado.	36
6.2.3	Análisis de tamaño de partículas por hidrómetro.	37
6.2.4	Límites de consistencia e índice de plasticidad.	37
6.2.5	Compactación con Proctor estándar.	38
6.2.6	Permeabilidad del suelo.	38
6.3	Resultados para el tercer objetivo específico.....	39
6.4	Clasificación de las muestras de suelo según los sistemas SUCS y AASHTO.....	39
7.	Discusión	40
7.1	Análisis de la normativa vigente ASTM para los procedimientos de realización de ensayos físico-mecánicos de muestras de suelo.....	40
7.2	Caracterización de suelos.....	40
7.2.1	Humedad.....	40
7.2.2	Granulometría	41
7.2.3	Límites de consistencia.....	41
7.2.4	Densidad máxima y humedad óptima.....	42
7.2.5	Permeabilidad	43
7.3	Clasificación de suelos.....	43
7.4	Aptitud de los suelos como material de impermeabilización	47
8.	Conclusiones	49

9. Recomendaciones	50
10. Bibliografía	51
11. Anexos	55

Índice de tablas

Tabla 1	Clasificación de los suelos según su índice de plasticidad.....	14
Tabla 2	Actividad de las arcillas.	15
Tabla 3	Coordenadas planas del lugar de estudio.	17
Tabla 4	Ubicación de puntos de muestreo.....	19
Tabla 5	Serie de tamices para el presente ensayo, según la norma ASTM D 422.	26
Tabla 6	Valores de K para aplicar en el cálculo de diámetro de partícula.	29
Tabla 7	Valores de profundidad efectiva de acuerdo a la lectura tomada por el hidrómetro 152H.	30
Tabla 8	Contenido de humedad de los suelos.	36
Tabla 9	Granulometría de los suelos de estudio.....	37
Tabla 10	Granulometría de finos.	37
Tabla 11	Límites de consistencia de los suelos.	38
Tabla 12	Densidades máximas seca y humedades óptimas de los suelos estudiados.	38
Tabla 13	Rango de permeabilidad de los suelos estudiados.	39
Tabla 14	Clasificación de los suelos estudiados por los sistemas SUCS y AASHTO.....	39

Índice de figuras

Figura 1 Límites de Atterberg.	14
Figura 2 Condiciones del suelo de acuerdo a los valores de K (cm/s).....	16
Figura 3 Ubicación de la zona de estudio.	17
Figura 4 Mapa de ubicación de puntos de muestreo.	20
Figura 5 Clasificación de suelos SUCS.	23
Figura 6 Clasificación de suelos AASHTO.	24

Índice de anexos

Anexo 1 Reconocimiento de campo y de puntos de muestreo.	55
Anexo 2 Muestreo y preparación de suelo.	55
Anexo 3 Ensayos de análisis granulométrico	56
Anexo 4 Ensayo de límites de consistencia.	56
Anexo 5 Ensayo de compactación con Proctor Estándar.	57
Anexo 6 Ensayo de Limite de Contracción.	57
Anexo 7 Ensayo de permeabilidad del suelo.	58
Anexo 8 Formato para determinar el contenido de humedad de suelos.	58
Anexo 9 Formato para ensayo de granulometría.	59
Anexo 10 Formato de granulometría por hidrómetro.	59
Anexo 11 Formato para ensayo de Limites de Atterberg	60
Anexo 12 Formato para ensayo de compactación con Proctor Estándar.	61
Anexo 13 Formato para ensayo de permeabilidad de los suelos.	62
Anexo 14 Formato para ensayo de Limite de Contracción.	62
Anexo 15 Ensayo de Capacidad de Intercambio Catiónico.	63
Anexo 16 Certificado de traducción.	64

1. Título

Caracterización de suelos en la Quinta Experimental Punzara de la Universidad Nacional de Loja, para su posible uso como material de impermeabilización de reservorios.

2. Resumen

En respuesta a la necesidad de garantizar la disponibilidad del recurso hídrico durante épocas de estiaje, el estudio de los suelos se centra en buscar alternativas como material impermeabilizante en la construcción de reservorios. Siendo muy relevante principalmente para zonas rurales donde existen embalses construidos de manera empírica, los cuales llegan a presentar fallas principalmente por la infiltración de agua. En este contexto, el trabajo tiene como objetivo conocer las características de los suelos presentes en la Quinta Experimental Punzara de la Universidad Nacional de Loja, identificando aquellos que son adecuados como material impermeabilizante. Como metodología se planteó primeramente la salida y reconocimiento del lugar de estudio, después, la colocación de puntos a muestrear en un mapa de ubicación en donde se estableció 10 muestras de acuerdo a sus características encontradas visualmente y seguido a esto el muestreo de las mismas, luego, se analizó la normativa ASTM a fin de caracterizar los suelos a través de las pruebas realizadas en los laboratorios de Materiales de Construcción y de Suelos y Bromatología, posteriormente se clasificó por los sistemas SUCS y AASHTO y finalmente se compararon con base en investigaciones previas. Los resultados muestran que los suelos corresponden a arenas con limos y arcillas de alta y baja plasticidad, con cambio volumétrico bajo. En cuanto a la permeabilidad, se logra conocer que los suelos al elevar su densidad por compactación alcanzan coeficientes hidráulicos bajos que oscilan entre $1,81 \cdot 10^{-6}$ a $9,3 \cdot 10^{-8}$ cm/s, particularmente las muestras P4, P7 y P9 siendo estos de buen comportamiento por ser mínimamente permeables.

Palabras clave: características, permeabilidad, compactación.

Abstract

In response to the need to guarantee the availability of water resources during low water levels, the study of soils is focused on the search for alternatives as waterproofing material in the construction of reservoirs. This is very relevant mainly for rural areas where there are reservoirs built in an empirical way, which fail mainly due to water infiltration. In this context, the objective of this work is to know the characteristics of the soils present in the Punzara Experimental Farm of the National University of Loja, identifying those that are suitable as waterproofing material. As a methodology, the first step was to go out and reconnoiter the study site, then, the placement of points to be sampled on a location map where 10 samples were established according to their characteristics found visually and followed by their sampling, then, the ASTM standards were analyzed in order to characterize the soils through the tests performed in the Construction Materials and Soils and Bromatology laboratories, then they were classified by the SUCS and AASHTO systems and finally they were compared based on previous research. The results show that the soils correspond to sands with silts and clays of high and low plasticity, with low volumetric change. Regarding permeability, it was found that the soils reach low hydraulic coefficients ranging from $1.81 \cdot 10^{-6}$ to $9.3 \cdot 10^{-8}$ cm/s when their density is increased by compaction, particularly samples P4, P7 and P9, which have a good behavior because they are minimally permeable.

Keywords: soil characterization, permeability, compaction.

3. Introducción

El presente trabajo de investigación pretende dar a conocer al sistema de producción campesina una alternativa para mitigar el problema de escasez hídrica en épocas de sequía a través de la construcción de embalses para la cosecha de agua, centrándose en la evaluación de la idoneidad del suelo como material impermeabilizante. Muchos de los pequeños productores que optan por construir su propio reservorio familiar lo hacen de manera rústica, dado que la construcción técnica y el uso de materiales sintéticos como la geomembrana para el recubrimiento representan un desafío financiero. Este análisis permitirá determinar si el sitio es adecuado para la construcción directa del embalse o si se requiere la utilización de material de mejora, como otro tipo de suelo, para reducir la infiltración de agua y garantizar la funcionalidad eficaz de la obra.

La gestión eficiente del recurso hídrico se ha vuelto crucial en la producción agrícola y pecuaria, siendo indispensable para el desarrollo sostenible de estas actividades. Como menciona Basán y Sánchez (2016), en el contexto climático signado por déficit hídrico resulta clave aprovechar una fuente potencial de recurso hídrico, como es la cosecha de agua, que permita garantizar agua en cantidad y calidad. Es muy importante tomar en cuenta características físicas y mecánicas del sustrato disponible en el sitio para su construcción, de esta manera se prevé una correcta y viable ejecución, asegurando una prolongada vida útil de la infraestructura.

De acuerdo a Calderón (2021) el suelo, como recurso natural esencial, no solo es fundamental para la vida, sino que también sirve como material de construcción universal. Compuesto por diversos minerales, sobresale la arcilla como componente principal con propiedades físicas, químicas y mecánicas únicas, destacando su versatilidad, maleabilidad y firmeza, características cruciales para su aplicación en la construcción. La clasificación de arcillas según sus propiedades físicas y mineralógicas, como la caolinita, la illita y la montmorillonita, abre oportunidades para diversas aplicaciones (García et al., 2018).

En la región Sierra del Ecuador, específicamente en zonas rurales, el uso predominante de arcillas como material de construcción para viviendas e infraestructuras agropecuarias es evidente. Aunque las técnicas tradicionales de producción de materiales como el adobe y el ladrillo son bien conocidas, existe la necesidad de explorar estas arcillas desde una perspectiva investigativa (Calva, 2015).

Este estudio se llevó a cabo en la Quinta Experimental Punzara, con el propósito de caracterizar los suelos presentes en este entorno a través de ensayos físicos y mecánicos conforme a la normativa ASTM correspondiente a cada prueba, mismos que fueron realizados en el laboratorio de Materiales de Construcción y de Suelos y Bromatología, con la finalidad de conocer las propiedades sus propiedades e idoneidad como material impermeabilizante en la construcción de reservorios de agua. Esta iniciativa busca abordar la problemática de escasez de agua durante épocas de estiaje, proporcionando una solución sostenible para los pequeños productores que enfrentan limitaciones en sus actividades productivas.

De acuerdo a lo anterior se plantea los siguientes objetivos:

Objetivo general

- Identificación de los suelos existentes en la Quinta Experimental Punzara mediante ensayos de caracterización físico-mecánica en laboratorio, para su posible uso como material de impermeabilización de reservorios de agua.

Objetivos específicos

- Analizar la normativa vigente ASTM para los procedimientos de realización de ensayos físico-mecánicos de muestras de suelo.
- Realizar los ensayos pertinentes para la caracterización del suelo objeto de estudio, de acuerdo a la normativa ASTM.
- Clasificar las muestras de suelos, según los sistemas SUCS y AASHTO.

4. Marco teórico

4.1 El suelo como material de construcción

Velasquez (2003) manifiesta que el suelo es una estructura dinámica que está sujeta a cambios con el paso del tiempo, del entorno en que se encuentra y de los fenómenos naturales que pueda ocurrir; la roca madre es la principal causa de que los suelos posean alto o bajo contenido de elementos minerales, definidos como propiedades físicas, químicas y biológicas, esto debido a la disgregación y descomposición.

El principal material de construcción utilizado desde hace miles de años hasta el tiempo actual es la tierra, constituyéndose fundamental para que el hombre pueda disponer de una vivienda mínimamente apta para habitar. En América muchas de las primeras viviendas estaban construidas con piedras asentadas en arcillas, la utilización de este material se ve reflejada por su gran disponibilidad y su bajo costo, las técnicas de construcción aplicadas, mismas que no requerían de grandes herramientas y equipos, facilitando así el trabajo de construcción (Toirac, 2008).

El suelo está constituido por varios horizontes o capas, variando de acuerdo a la meteorización que ha tenido el sitio, estos horizontes poseen características físicas y químicas distintas entre sí, reflejándose en su apariencia. La suma de los horizontes forma el perfil del suelo, por lo general la primera capa (A) es la más oscura y fértil, en esta se puede llegar a apreciar mayor cantidad de raíces; la segunda capa (B) es la que contiene mayor arcilla, la presencia de raíces es menor respecto a la primera capa, y la tercera capa (C) es la que tiene mayor profundidad, se puede encontrar material parental y ausencia de raíces (INIA, 2015).

Es un material no consolidado y es uno de los más utilizados a nivel mundial en la construcción, por su disponibilidad y propiedades que lo caracteriza, en especial las arcillas, siendo el principal elemento en la construcción agropecuaria en zonas rurales, con estas se elaboran adobes, bareques, ladrillos, tejas, entre otros (Calderón, 2021).

Está constituido por partículas y fases sólidas, líquidas y gaseosa, originado por la desintegración química de rocas preexistentes (Acevedo, 2004 citado por Calva, 2015).

4.1.1 Fase sólida

Esta fase está compuesta por partículas minerales de diferentes tamaños que se clasifican como: gravas, arenas gruesas, arenas finas, arcillas y limos, en algunos casos contiene materia orgánica. Igualmente, esta fase comprende un 50 % del volumen total del

suelo, de este total un 48% corresponde a minerales y el 2% restante a material orgánico. Es considerado el componente más estable, caracterizándolo al suelo (Cuadrado, 1980).

4.1.2 Fase líquida

Esta fase está conformada por la presencia de agua en estado puro y cargada de iones, por sales disueltas; la forma de desplazarse es por el fenómeno de capilaridad, transportando diversas sustancias de un nivel a otro, del cual también influye la permeabilidad del suelo. La procedencia de este elemento se debe a las precipitaciones atmosféricas y de capas freáticas (Universidad Nacional De La Plata, 2022).

4.1.3 Fase gaseosa

La fase gaseosa y líquida constituyen la porosidad, que junto con la fase sólida conforman el volumen total del suelo; en esta fase predomina el aire (O₂ y CO₂) que se ubican en los poros pequeños del suelo, también puede existir otros gases producto de la descomposición de sustancias orgánicas, como el metano. Actividades como la remoción del suelo mejoran la porosidad favoreciendo la capacidad de aireación de este (Cuadrado, 1980).

4.2 La Arcilla

Según Estrada (1997) el suelo está compuesto por partículas minerales como arcillas, que aportan cohesión en el suelo uniendo partículas gruesas; limos, que en presencia de agua su cohesión y volumen aumenta en relación cuando está seco, esto producto de su capacidad de expansión y contracción; arenas, consideradas estables y poseyendo propiedades mecánicas no alterables sensiblemente con el agua, produciendo desplazamientos mínimos entre partículas y con fuerte fricción interna; y gravas, siendo el componente más estable en presencia del agua, no obstante, carecen de cohesión en estado seco por lo que se requiere de limos y arcillas para crear una estructura estable.

Conceptualmente la arcilla consiste en un grupo de minerales aluminio silicatos de textura escamosa, producidos por la meteorización de rocas feldespáticas, con un diámetro menor a 0,002 mm, según el sistema de clasificación de suelos USDA (Departamento de Agricultura de E.U.), químicamente está formado por un silicato hidratado de aluminio, hierro o magnesio. Al estar presente con el agua se vuelve un material plástico, dúctil y maleable, mientras que al estar en estado seco se endurece de manera que es un material muy resistente y quebradizo (Zea, 2005).

Las arcillas y sus minerales constituyentes son excelentes materias primas con un amplio campo de aplicación, estos minerales tienen propiedades físicas y químicas propias

para ser utilizados en procesos industriales. Dentro de las arcillas es posible diferenciar los caolines y arcillas caoliníferas, las arcillas comunes y especiales (Cuevas et al., 2022).

4.2.1 Arcillas comunes y especiales

Son arcillas comunes aquellas de amplia distribución de afloramiento, con propiedades físicas y especificaciones químicas mineralógicas no muy exigentes, propias para el sector cerámico y alfarería. Está constituida por minerales arcillosos variados del grupo de micas y en menor proporción los del grupo del caolín, cloritas, esmectitas y hormitas. Las propiedades cerámicas pueden estar sujetas a la presencia de desgrasantes como el cuarzo y carbonatos, tamaño de grano, lo cual provoca plasticidades bajas. Mientras que las especiales comprende de un conjunto de arcillas comerciales con propiedades mineralógicas y físicas concretas, están compuestas por minerales arcillosos de origen geológico relacionados, del grupo de esmectitas y de hormitas, se destaca sus propiedades reológicas, su alta superficie específica y su alto poder de adsorción (Díaz & Torrecillas, 2002).

4.3 Clasificación mineral arcilloso

Los minerales arcillosos del grupo de esmectitas pertenecen a clase de silicatos laminares con relación 2:1 de hojas de tetraedros y octaedros en su unidad estructural. Además, se presenta en dos subgrupos según la naturaleza de la hoja de octaedros, las esmectitas dioctaédricas; en la que están las montmorillonitas, y trioctaédricas que son ricas en magnesio. Su composición química puede ser cambiante principalmente relacionado con la amplia gama de sustituciones isomórficas dentro de los miembros del Grupo y espaciado interlaminares. Una de las arcillas compuestas por minerales de este grupo es la bentonita, siendo un material con gran capacidad de intercambio catiónico, elevada área superficial y particulares propiedades coloidales; frecuentemente clasificada por su relación de capacidad de cambio catiónico e hinchamiento, habiendo así bentonitas muy hinchables y poco hinchables. Su campo de aplicación es amplio, como aglomerante de arenas de moldeo en la industria refractaria y mínimamente en la industria cerámica de los esmaltes y porcelana para optimizar la plasticidad y resistencia en verde (Díaz y Torrecillas, 2002).

4.3.1 Colinita y Haloisita

La caolinita es uno de los minerales mayoritarios en los diez primeros metros de la corteza continental. Comparte la clasificación en abundancia con minerales como cuarzo, micas, feldespato y calcita. Los caolines pueden contener uno o varios silicatos polimorfos

(caolinita, nacrita y dickita), su estructura está constituida por una capa de tetraedros de sílice y otra de octaedros de alúmina, combinadas de forma que los vértices libres de los tetraedros de sílice están en uno de los planos aniónicos de los octaedros. De estas capas se forma una lámina de 7,14 angstrom de espesor, siendo contiguas según a y b apilándose en orden determinado según su eje c. Se unen mediante enlaces de hidrogeno entre grupos OH de la capa octaédrica y átomos de oxígeno de la capa tetraédrica. Su estructura cristalina es generalmente resistente a la mayoría de los fluidos corrosivos por lo que se considera como un polvo blanco inerte que no reacción con muchos medios en los que se encuentre presente, siendo una gran propiedad comercial (Bartolomé, 1997). Otros de los minerales más comunes esta la Haloisita la cual posee similar característica que la Caolinita, en su estructura existe una capa de moléculas de agua interlaminar por celda unidad que eleva su espaciado basal de 7,14 en la caolinita a 10,10 angstrom.

4.3.2 Illita y Montmorillonita

La illita es un mineral arcilloso, siendo miembro del grupo de las micas dentro de los filosilicatos, es de carga eléctrica elevada, pero con niveles bajos de capacidad de intercambio catiónico, de 20 a 50 meq por cada 100 g de arcilla (Jara, 2018). Sus capas están entrelazadas entre sí por iones de potasio, y para poder balancearla se utiliza la carga negativa proveniente de la sustitución de aluminio por silicio en la laminas tetraédricas. Y su estructura no es expansiva, no admite el ingreso de átomos de agua entre capas, con una superficie específica de 80 m²/g (Garay y Mena, 2007). La montmorillonita se caracteriza por la presencia de complejos silicatos aluminicos y sílice, siendo muy plásticas y de color ocre o rojo, absorben grandes cantidades de agua y aumentan su volumen significativamente. Pertenecen a la familia de esmectitas y son consideradas minerales expansibles, presenta estructuras que permiten que el agua penetre entre las láminas tetraédricas y octaédricas mediante de puentes de hidrogeno (Cáceres et al., 2021).

4.4 Arcillas caoliníferas

Las arcillas caoliníferas están compuestas por arcillas sedimentarias con gran contenido de caolinita y otros minerales detríticos (micas, feldespatos, óxidos de hierro), la granulometría fina de estos impide la separación y concentración de fracciones ricas en caolinita. Entre estas se encuentran la Ball Clay, la cual tiene una alta plasticidad y es dispersa con el agua, posee gran resistencia mecánica en verde y alto poder ligante en su composición y grano, es de color oscuro producto de la presencia de materia orgánica, pero

que al ser cocidas se tornan de color blanco. En su composición mineralógica predomina la caolinita desordenada con tamaño partículas inferiores a dos micrómetros (Bartolomé, 1997).

El principal uso de estos materiales arcillosos se da en el campo de la cerámica de construcción, alfarería tradicional, lozas, azulejos y gres. Son también utilizadas en la manufactura de cementos, como fuente de alúmina y sílice (Cerámica y Cristal, 2006)

4.5 Arcillas refractarias

Son arcillas de plasticidad menor a las Ball Clay, con presencia de óxidos de hierro que impiden la cocción blanca y que posee en su mayoría caolinita desordenada. Entre la cual está la Flint Clay, estas son masivas y duras de baja plasticidad que llegan a presentar fractura concoidea, contienen en su mayoría caolinita muy ordenada y bien cristalizada de tamaño de partícula pequeño. También se encuentra la denominada Tonsteins, siendo un material rocoso de similares características que la Flint Clay, con niveles volcánicos interestratificados o no, en los paquetes de carbón de ciertas cuencas hulleras. En algunos casos contienen pequeñas y variables porcentajes de caolinita (Bartolomé, 1997).

Son arcillas con elevado punto de fusión, superior a 1.434° C, la cual está en función del contenido de caolinita presente. Generalmente usadas para la elaboración de refractarios del tipo silicoaluminosos y aluminosos. Se utilizan en forma de ladrillo o gránulos en paredes, pisos, bóvedas y partes en general de instalaciones o artefactos sometidos a elevadas temperaturas y ataque químico por parte de los materiales tratados (Cerámica y Cristal, 2006).

4.6 Caolín

El caolín es material rocoso compuesto por minerales como la caolinita, haloisita, cuarzo, feldespatos y micas, pueden contener otros minerales como óxidos de hierro y titanio, gibbsite, alofana, esmectitas, cloritas, carbonatos y pirita. El lavado de fracciones considerables conduce a un material con alto contenido de caolinita y pequeñas cantidades de otros minerales dado que la caolinita tiene un tamaño de partícula muy pequeña. Cuanto mayor sea el contenido en fracciones finas de un caolín en bruto, mayor será el porcentaje de caolinita. La mineralogía, granulometría y composición química están estrechamente relacionadas. Las arenas caoliníferas suelen contener pequeñas proporciones de caolinita (< 20 %), siendo el resto esencialmente cuarzo. El lavado de estas arenas proporciona, en líneas generales, caolín compuesto de caolinita y cuarzo, y arenas silíceas. La distribución de

tamaño de partícula y la forma de estas partículas son dos de las más importantes características con las que se controlan las propiedades reológicas de las mezclas arcilla/agua.

La clasificación de depósitos de caolín se puede definir en dos grupos: los caolines primarios, que mantienen relación directa con la roca madre heredando en gran parte su textura y estructura, y han sido formados por su alteración en procesos volcánicos, hidrotermales o meteorización, y los caolines secundarios formados a partir de masas que han sido arrastradas por el agua y luego depositadas formando así yacimientos (Bartolomé, 1997).

4.6.1 Cuarzo

El cuarzo, también llamado sílice y cuya fórmula es SiO_2 , es el mineral más común puesto que se encuentra distribuido por toda la superficie terrestre formando parte de rocas o en forma de depósitos puros. El cuarzo es un mineral que se destaca por contener volúmenes elevados de sílice (más del 97 %), y se lo utiliza en distintos procesos productivos en virtud de sus características de dureza y refractariedad, funde a elevadas temperaturas y siendo el material refractario de las cerámicas tradicionales (Sarango, 2011).

4.7 Propiedades de la Arcilla

4.7.1 Plasticidad

Es la propiedad que permite moldear ciertos suelos aplicando fuerzas externas y mantener las formas adquiridas aun cuando la humedad y dichas fuerzas desaparecen. Los suelos tienen diferente plasticidad dependiendo de su composición. Las arenas y los limos tienen una plasticidad baja mientras que suelos con alto contenido de arcillas tienen una plasticidad mayor debido a sus propias características. La plasticidad de un suelo, así como los límites entre diferentes estados de consistencia, están determinados por los límites de Atterberg que define los límites de plasticidad: máximo y mínimo. Si sobrepasamos el límite máximo de plasticidad el material adquiere fluidez y pierde su capacidad de mantener la forma. Si el material tiene un porcentaje de humedad por debajo del límite mínimo de plasticidad, la masa se vuelve quebradiza y no se puede moldear. La diferencia entre los dos porcentajes límites de humedad (máximo y mínimo) se llama número o índice de plasticidad (Houben y Guillaud, 1994 citado por Calderón, 2021).

4.7.2 Capacidad de Intercambio catiónico

Es una propiedad fundamental de las esmectitas en cambiar fácilmente los iones fijados en la superficie exterior de sus cristales, en los espacios interlaminares, o en otros espacios interiores de las estructuras, por otros existentes en las soluciones acuosas

envolventes. Se puede definir como la suma de todos los cationes de cambio que un mineral puede adsorber a un determinado pH. Es equivalente a la medida del total de cargas negativas del mineral. Estas cargas negativas pueden ser generadas de tres formas diferentes, en sustituciones isomórficas dentro de la estructura, en enlaces insaturados en los bordes y superficies externas y disociación de los grupos hidroxilos accesibles.

El primer caso trata de la carga permanente que supone un 80 % de la carga neta de la partícula; siendo independiente de las condiciones de pH y actividad iónica del medio. Los dos siguientes actúan de forma inversa al primero, en función del pH y de la actividad iónica. Corresponden a bordes cristalinos, químicamente activos y representan el 20 % de la carga total de la lámina (García y Suárez, 2008).

4.7.3 Capacidad de absorción

Una de las características predominantes de las arcillas es la capacidad de absorber agua u otras moléculas en el espacio interlaminar o en los canales estructurales. Esta propiedad está directamente relacionada con las características texturales (superficie específica y porosidad) y dos tipos de procesos que difícilmente se dan de forma aislada: absorción (procesos físicos como la retención por capilaridad) y adsorción (interacción química entre la arcilla, y el líquido o gas adsorbido, denominado adsorbato).

La capacidad de adsorción se expresa en porcentaje de adsorbato con respecto a la masa y depende, para una misma arcilla, de la sustancia de que se trate. La absorción de agua de arcillas absorbentes es mayor del 100% con respecto al peso (Morales y Vega, 2011 citado por Calva, 2015).

4.7.4 Hidratación e hinchamiento

La hidratación y deshidratación en el espacio interlaminar ocurren con independencia del tipo de catión de cambio presente, el grado de hidratación está ligado a la naturaleza del catión interlaminar y a la carga de la lámina. La absorción de agua en el espacio interlaminar tiene como consecuencia la separación de las láminas dando lugar al hinchamiento.

Este proceso depende del balance entre la atracción electrostática catión-lámina y la energía de hidratación del catión. A medida que se intercalan capas de agua y la separación entre las láminas aumenta, las fuerzas que predominan son de repulsión electrostática entre láminas, lo que contribuye a que el proceso de hinchamiento pueda llegar a disociar completamente unas láminas de otras.

Cuando el catión interlaminar es el sodio, las esmectitas tienen una gran capacidad de hinchamiento, pudiendo llegar a producirse la completa disociación de cristales individuales

de esmectita, teniendo como resultado un alto grado de dispersión y un máximo desarrollo de propiedades coloidales. Si, por el contrario, tienen calcio (Ca) o magnesio (Mg) como cationes de cambio, su capacidad de hinchamiento será mucho más reducida (Zea, 2005).

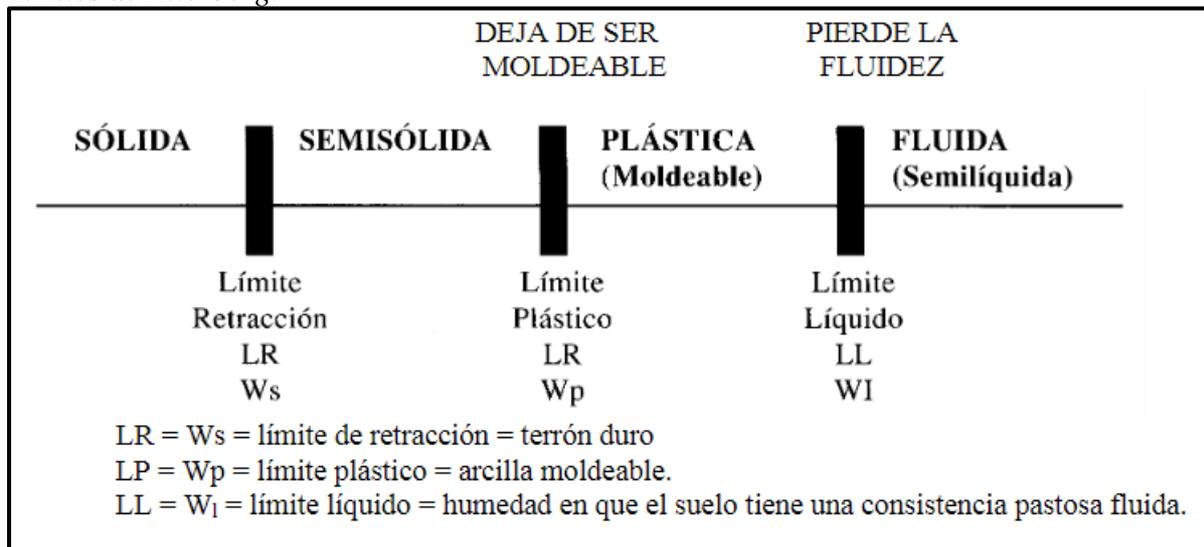
4.8 Consistencia del suelo

La consistencia se refiere al grado de cohesión o adhesión de la masa del suelo e incluye propiedades del suelo como la friabilidad, plasticidad, adhesividad, y resistencia a la compresión. Está sujeta a la cantidad y tipo de arcilla, materia orgánica y contenido de humedad del suelo. La consistencia en seco se determina por el rompimiento de la masa de suelo seco en la mano y la consistencia en húmedo por medio de una fuerza aplicada a la masa húmeda del suelo. La adhesividad del suelo depende de la magnitud a la que la estructura del suelo es destruida y a la cantidad de agua presente (FAO, 2009).

4.8.1 Estados de consistencia

Con la finalidad de dimensionar la plasticidad de los suelos, Atterberg precisó que la plasticidad no es una propiedad permanente de las arcillas, sino circunstancial y sujeta al contenido de agua. Una arcilla muy seca puede llegar a tener la misma consistencia que un ladrillo, sin plasticidad, mientras que una arcilla con gran contenido de humedad puede presentar propiedades de un lodo semilíquido. Entre estas dos medidas existe un intervalo de humedad el cual hace que la arcilla se comporte de manera plástica. Atterberg definió que, según contenido de agua creciente, el suelo puede encontrarse dentro de los estados líquido, semilíquido, plástico, semisólido y sólido (Juárez y Rico, 2005).

Figura 1
Límites de Atterberg.



Fuente: (Jara, 2018).

4.8.2 Índice de plasticidad

Consiste en la diferencia numérica del límite líquido y plástico, estos dos siendo dependientes de la cantidad y tipo de arcillas, mientras que el índice está sujeto a la cantidad de arcilla. El valor de este parámetro indica el rango de humedad a través del cual los suelos con cohesión tienen propiedades de material plástico (Crespo, 2004).

Tabla 1
Clasificación de los suelos según su índice de plasticidad.

IP	Clasificación
0	No plástico (suelos exentos de arcillas)
1-5	Ligeramente plástico
5-10	Baja plasticidad
10-20	Medianamente plástico
20-40	Alta plasticidad
>40	Muy alta plasticidad

Fuente: (Crespo, 2004).

4.8.3 Actividad de la arcilla

Para poder considerar de manera separada el efecto sobre el valor de los límites de Atterberg, de la cantidad y tipo del material arcilloso contenido en un suelo fino, se utiliza la relación entre el índice de plasticidad de la fracción arcillosa y la cantidad de material más fino que dos micras. Mientras más alto sea el valor de la actividad de un suelo más importante es la influencia de la fracción arcillosa sobre las propiedades intrínsecas y más susceptibles de intercambiar cationes (Junco del Pino y Tejeda, 2013).

Tabla 2*Actividad de las arcillas.*

Actividad	Tipo de arcilla
< 0.5	Arcilla con poca actividad (caolinítico)
0.5-1	Arcilla con actividad normal (ilítico)
>1	Arcillas más activas (montmorillonita)

Fuente: (Crespo, 2004).

4.9 Permeabilidad

Es la propiedad que tienen los suelos para permitir el paso del agua a través de los espacios vacíos y está condicionado por su porosidad, relación de vacíos, rugosidad de las partículas minerales y grado de saturación. Para el caso de suelos finos como arcillosos, la estructura presenta un rol importante en la permeabilidad como el espesor de capas de agua en las partículas de arcilla y la concentración iónica (Buitrón y Enríquez, 2018).

La permeabilidad influye decisivamente en la estabilidad de las cimentaciones, la pérdida de agua por infiltración a través de presas de tierra, el drenaje de subrasantes, la excavación de cortes abiertos en arena en cauces de agua, la tasa de flujo de agua hacia los pozos, entre otros (Fernandez y Holguino, 2021).

4.9.1 Conductividad hidráulica

El suelo está constituido por un medio poroso, vacíos interconectados por donde logra fluir el agua desde puntos de alta a baja energía. El estudio del flujo de agua a través de este medio es necesario para estimar la cantidad de infiltración subterránea bajo condiciones hidráulicas variadas, como para el análisis de estabilidad de presas y estructuras de retención de tierra que están sujetas a fuerzas de infiltración. La velocidad de descarga del agua está sujeta a la conductividad y gradiente hidráulico, siendo el primero un parámetro importante para el suelo en el estudio de filtración (Das, 2016).

Figura 2

Condiciones del suelo de acuerdo a los valores de K (cm/s).

	100	10	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}
Drenaje	Bueno						Pobre		Prácticamente impermeable			
Tipo de suelo	Grava limpia	Arenas limpias y mezclas limpias de arena y grava			Arenas muy finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena, limo y arcilla, morenas glaciares, depósitos de arcilla estratificada				Suelos "impermeables", es decir, arcillas homogéneas situadas por debajo de la zona de descomposición			
				Suelos "impermeables", modificados por la vegetación o la descomposición. ^d								

Fuente: (Angelone, Garibay y Cauhapé, 2006).

Para la realización de la caracterización de las muestras de suelo de la Quinta Experimental Punzara de la UNL, se consideró la normativa ASTM, con los siguientes ensayos:

- Método de prueba estándar para la determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelos y rocas por masa, ASTM D 2216 (ASTM, 2019).
- Granulometría por tamizado vía seca, ASTM D422 (ASTM, 2007).
- Método de análisis del tamaño de las partículas de suelo, ASTM D422-63 (ASTM, 2007).
- Métodos de prueba estándar para límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos, ASTM D4318 (ASTM, 2005).
- Compactación con Proctor estándar, ASTM D698 (ASTM, 2007).
- Permeabilidad, ASTM 2434-68 (ASTM, 2000).
- Límite de contracción, ASTM D427 (ASTM, 2006).

5. Metodología

5.1 Ubicación de la zona de estudio

El presente trabajo de investigación se realizó en la Quinta Experimental Punzara de la Universidad Nacional de Loja, ubicado al Sur Occidente del cantón Loja, limitado con los barrios Punzara Bajo y Nogales. Este predio universitario se encuentra ubicado geográficamente dentro de las siguientes coordenadas planas:

Tabla 3

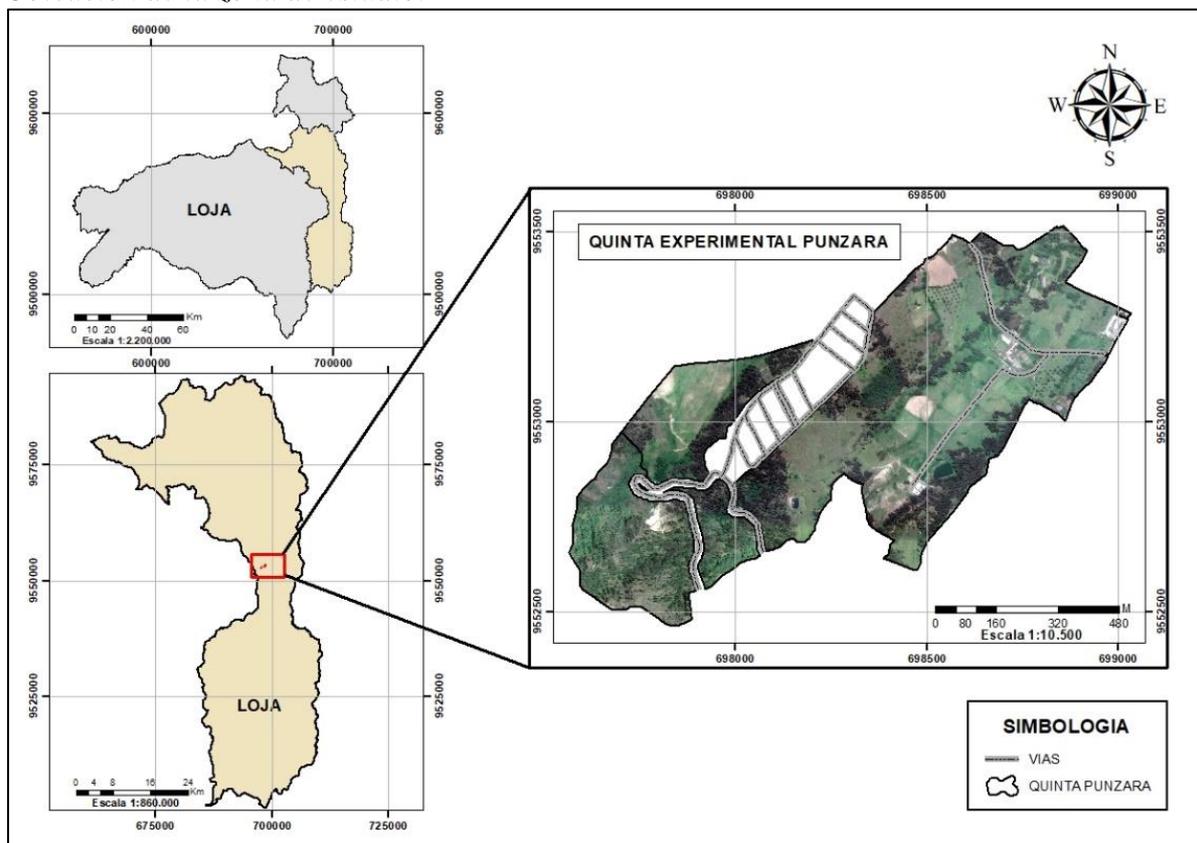
Coordenadas planas del lugar de estudio.

DATOS DE UBICACIÓN			
Datum:	UTM-WGS84-ZONA17S		
Latitud:	698315	699275	E
Longitud:	9552924	9553950	N
Altitud:	2100		msnm

Fuente: (Juárez, 2013).

Figura 3

Ubicación de la zona de estudio.



5.2 Materiales

5.2.1 *Materiales de oficina*

- Papel, lápiz, borrador
- Calculadora
- Computadora

5.2.2 *Materiales de Campo*

- GPS
- Fundas ziclop
- Palas, pico.
- Saquillos

5.2.3 *Materiales y Equipos de Laboratorio*

- Muestras de suelo
- Espátula
- Agua destilada
- Reactivos (hidróxido de sodio, oxalato de sodio)
- Cápsulas etiquetadas
- Estufa
- Balanza de precisión
- Tamices, vibradora- tamiz
- Equipo Proctor
- Permeámetro
- Hidrómetro
- Probetas
- Termómetro
- Cronómetro

5.3 Diseño de investigación

El diseño empleado en esta investigación es descriptivo el cual busca entender al fenómeno, en este caso al suelo, describiéndolo por sus características a través de la medición de variables con un enfoque cuantitativo y cualitativo.

Este proyecto comprendió de dos fases, la primera fue en campo en el que realizo recorridos con el fin de dar reconocimiento al lugar de estudio y con esto afinar los puntos específicos en donde se tomaron las muestras de suelo; la segunda fase comprende en la preparación de muestras y realización de los ensayos físicos y mecánico en laboratorio, de este modo de determina los valores de las variables de los suelos con el propósito de explicar y caracterizar el mismo.

5.4 Muestra

Con los puntos de muestreo establecidos dentro del predio universitario, se tomaron 10 muestras, una muestra por cada punto, a una profundidad de 1 m. La cantidad muestreada fue de 10 kg aproximadamente, mismos que fueron utilizados en los ensayos. En la **Tabla 4** se muestra los puntos de recolección de muestras con sus coordenadas de ubicación.

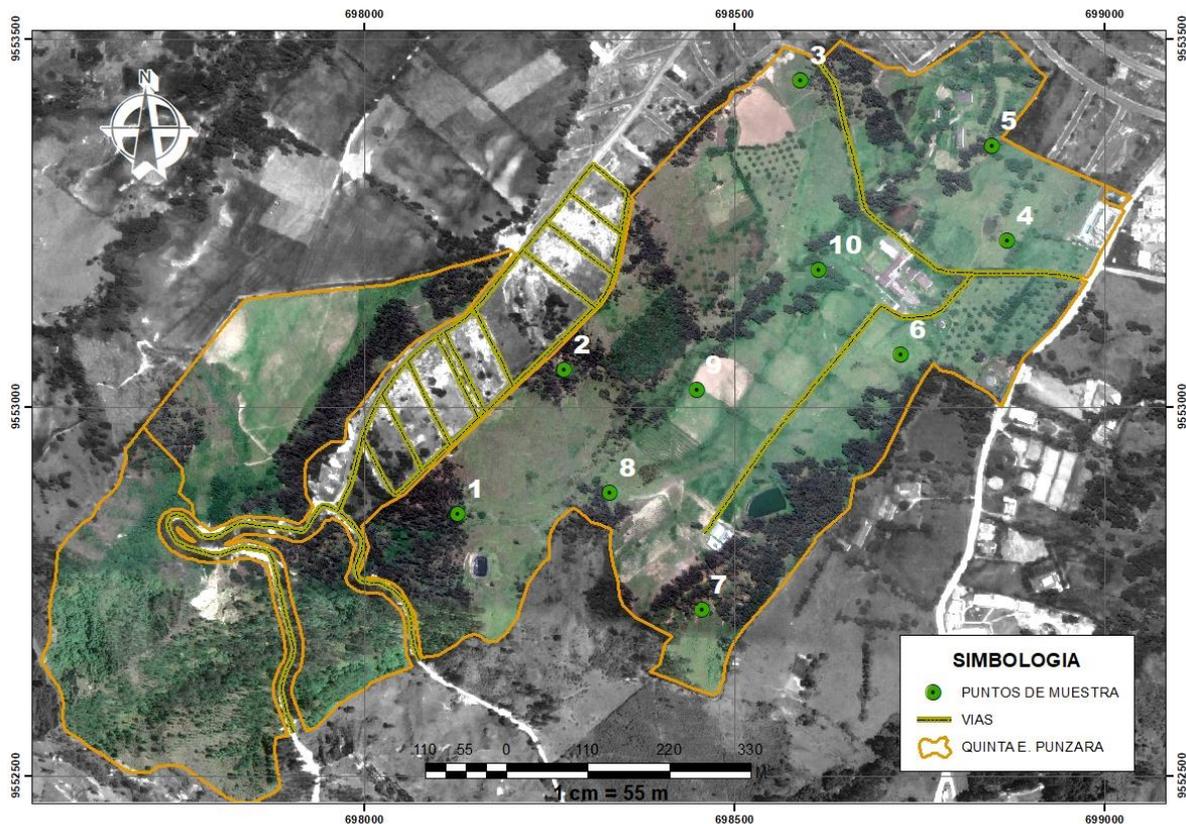
Tabla 4

Ubicación de puntos de muestreo.

Muestra	Código	Coordenadas Y	Coordenadas X	Altitud	Profundidad (m)
1	P1	9552855	698128	2316	1
2	P2	9553052	698272	2298	1
3	P3	9553443	698590	2245	1
4	P4	9553226	698869	2222	1
5	P5	9553355	698848	2224	1
6	P6	9553072	698725	2239	1
7	P7	9552726	698457	2299	1
8	P8	9552885	698333	2275	1
9	P9	9553024	698450	2259	1
10	P10	9553187	698615	2241	1

En la Figura 4, se puede visualizar los puntos específicos en donde se tomaron las muestras de suelos, mismos que fueron considerados de acuerdo al reconocimiento en campo del lugar de estudio.

Figura 4
Mapa de ubicación de puntos de muestreo.



5.5 Metodología para el primer objetivo

Analizar la normativa vigente ASTM para los procedimientos de realización de ensayos físico-mecánicos de muestras de suelo.

Conforme a las normativas establecidas por la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales, ASTM por sus siglas en inglés (American Society for Testing and Materials) disponibles de acuerdo a cada prueba a realizarse; se reconoció, entendió y describió los componentes de estas, válidas para ejecución de los ensayos planteados y cumplimiento del segundo objetivo.

5.6 Metodología para el segundo objetivo

Realizar los ensayos pertinentes para la caracterización del suelo objeto de estudio, de acuerdo a la normativa ASTM.

Mediante la aplicación de la normativa citada se cumplió con el segundo objetivo, sirviendo como guía y modelo para efectuar de manera correcta cada ensayo planteado, estos fueron los siguientes:

5.6.1 *Determinación de contenido de humedad, ASTM D22 16*

El contenido de humedad es el porcentaje de la masa del agua contenida en los poros, o agua libre, en una masa dada de material con respecto a la masa del material sólido. Para determinar se usa una estufa a temperatura estándar de 110+/- 5°C hasta peso constante para determinar estas masas. Con este ensayo se expresa la relación de vacíos de aire, agua y sólidos presentes en un volumen dado de material (ASTM, 2019).

5.6.2 *Análisis granulométrico por tamizado, ASTM D422*

El propósito de este ensayo es de conocer la distribución de tamaños de partículas de una muestra de suelo de manera cuantitativa. Es necesario pasar al suelo por una serie de tamices hasta el tamiz con el tamaño de malla de 74 mm (No 200), de tal manera que se determina el porcentaje de suelo que es retenido por el tamiz y el porcentaje de suelo que pasa por el mismo, con esto se podrá graficar la curva granulométrica de la muestra de suelo (ASTM, 2007).

5.6.3 *Análisis granulométrico por método del hidrómetro, ASTM D422-63*

Mediante este método se determinó de manera cuantitativa la distribución del tamaño de partículas de los suelos estudiados, por sedimentación, con lecturas de hidrómetro, mismas que indican los gramos por litro de suelo en suspensión. Con el propósito de conocer el porcentaje de (finos) limos y arcillas presentes en el suelo (ASTM, 2007).

5.6.4 *Determinación del límite líquido y límite plástico del suelo, ASTM D4318*

Este ensayo permite conocer el contenido de humedad en porcentaje con el cual un suelo está al límite del estado plástico y líquido (límite líquido), utilizando el método del multipunto el cual consiste en utilizar pequeñas muestras de suelo con distintas humedades dentro de un determinado intervalo de golpes: de 15 a 25, de 20 a 30, de 25 a 35, y el contenido de humedad con el cual el suelo al ser formado de manera cilíndrica con un diámetro de aproximadamente 3,2 mm se desmorone, esto indica que está al límite del estado semisólido y plástico (límite plástico) (ASTM, 2005).

5.6.5 *Ensayo de compactación de suelo con Proctor Estándar, ASTM D698*

Este ensayo determina el contenido de humedad óptimo de un suelo y su densidad máxima que puede alcanzar, mediante compactación, añadiéndole progresivamente humedad a la muestra de suelo. Se utilizo el método A según la normativa, indica que se debe formar 3 capas con 25 golpes cada una, dentro del molde y que con cada espécimen realizado se toma una porción de muestra para determinar la humedad. Con el propósito de graficar la curva de

compactación, en que se encuentran las humedades y densidades secas, en el punto más alto de la curva se intercepta al eje de abscisas y ordenadas (ASTM, 2007).

5.6.6 *Determinación del límite contracción por método del Mercurio, ASTM D427*

Al realizar este ensayo se conoce el contenido de humedad que precisa el límite del estado semisólido y estado sólido, es decir, es el contenido de humedad que al seguir disminuyendo mantendrá el volumen del suelo. Se utilizó mercurio para conocer los volúmenes de recipientes y de la muestra de suelo contraída y, una muestra de suelo pasante del tamiz número 40 que se llevara hasta una humedad de cercana o levemente mayor al límite líquido (ASTM, 2006).

5.6.7 *Ensayo de permeabilidad, ASTM 2434-68*

Mediante este ensayo se determinó el coeficiente de permeabilidad, mismo que permite conocer cuan permeable es el suelo. Existiendo dos métodos, el primero por carga constante con suelos granulares y el otro por carga variable para suelo finos. En este caso se aplicó el segundo método. Tomando en consideración las medidas de volumen, tiempo, longitud de muestra, diámetro de muestra, área de bureta y diferencias de cargas (ASTM, 2000).

5.7 Metodología para el tercer objetivo

Clasificar las muestras de suelos, según los sistemas SUCS y AASHTO.

5.7.1 *Método para clasificar al suelo por SUCS*

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos es un método que fue desarrollado por Casagrande (1942) y revisado por el cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos (1952). La clasificación de los suelos se realizó por este sistema el cual consta de dos amplias categorías, los suelos de grano grueso y los suelos de grano fino. Cabe mencionar que es elemental conocer el análisis granulométrico y los límites de consistencia, previamente. Para considerarse como suelo de grano grueso, el porcentaje de masa retenida en el tamiz número 200 debe ser mayor a 50, en esta categoría se encuentran gravas y arenas, con simbología de G y S, respectivamente. Mientras que, para considerarse como suelo de grano fino, el porcentaje de suelo pasante el tamiz número 200 debe ser igual o mayor a 50, en esta categoría se encuentran limos y arcillas, con simbología de M y C, respectivamente. También existe otros símbolos que son utilizados para la clasificación, estos son: W (bien gradado), P (pobremente gradado), L (baja plasticidad, límite líquido menor a 50) y H (alta plasticidad, límite líquido mayor a 50) (ASTM, 2011). La **Figura 5** muestra de manera más

detallada las especificaciones que debe cumplir el suelo para considerarse en alguna de las categorías.

Figura 5
Clasificación de suelos SUCS.

DIVISIONES PRINCIPALES		Símbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACION DE LABORATORIO			
SUELOS DE GRANO GRUESO Más de la mitad del material retenido en el tamiz número 200	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4 (4,75 mm)	Gravas limpias (sin o con pocos finos)	GW Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: <5% -> GW, GP, SW, SP. >12% -> GM, GC, SM, SC. 5 al 12% -> casos límite que requieren usar doble símbolo.	Cu=D60/D10>4 Cc=(D30)/D10xD60 entre 1 y 3		
		Gravas con finos (apreciable cantidad de finos)	GP Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.		No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW.		
		ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,75 mm)	Arenas limpias (pocos o sin finos)		SW Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.	Limites de Atterberg debajo de la línea A o IP<4.	Encima de línea A con IP entre 4 y 7 son casos límite que requieren doble símbolo.
			Arenas con finos (apreciable cantidad de finos)		SP Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.	Limites de Atterberg sobre la línea A con IP>7.	
	SUELOS DE GRANO FINO Más de la mitad del material pasa por el tamiz número 200	Limo y arcillas: Limite liquido menor de 50	ML Limos orgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limos o arcillosos, o limos arcillosos con ligera plasticidad.				
			CL Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.				
		Limo y arcillas: Limite liquido mayor de 50	OL Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.				
			MH Limos orgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.				
Suelos muy orgánicos	CH Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.						
	OH Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada, limos orgánicos.						
	PT Turba y otros suelos de alto contenido orgánico						

Fuente: (González, 2011).

5.7.2 Método para clasificar al suelo por AASHTO

Este sistema fue introducido en 1929 por el Departamento de caminos de U. S. A. y adoptado por la Asociación Americana de funcionarios Estatales de Carreteras y Transporte.

La clasificación de los suelos se realizó por este método el cual consta de siete grupos, en la que se denominan materiales granulares a aquellos que se encuentren entre A-1, A-2 y A-3, siendo su característica principal el porcentaje de material pasante el tamiz número 200, el cual debe ser igual o menor a 35; mientras que para considerarse como materiales limo

arcilloso, el suelo debe encontrarse entre los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7, y el porcentaje del material pasante por el tamiz número 200 debe mayor a 35%.

Del mismo modo que en el sistema SUCS, la granulometría y límites de consistencia es de suma importancia para clasificar al suelo en relación a sus características. En la **Figura 6** se detalla de manera específica las condiciones que debe cumplir el suelo para clasificarse en alguno de los grupos antes mencionados.

Figura 6
Clasificación de suelos AASHTO.

Clasificación	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz N° 200)						Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz N° 200)				
	A-1		A-3	A-2-4				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Grupo:	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Porcentaje que pasa: N° 10 (2mm) N° 40 (0,425mm) N° 200 (0,075mm)	50 máx 30 máx 15 máx	- 50 máx 25 máx	- 51 mín 10 máx	- - 35 máx				- - 36 mín			
Características de la fracción que pasa por el tamiz N° 40 Límite líquido Índice de plasticidad	- 6 máx		- NP (1)	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín 11 mín	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín (2) 11 mín
Constituyentes principales	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Características como subgrado	Excelente a bueno						Pobre a malo				

(1): No plástico
(2): El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor al LL menos 30
El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL menos 30

Fuente: (González, 2011).

6. Resultados

6.1 Análisis de la normativa vigente ASTM para los procedimientos de realización de ensayos físicos- mecánicos de muestras de suelo

Según la revisión de la normativa vigente y disponible para cada tipo de prueba, se pudo comprender los procedimientos y especificaciones establecidas para la ejecución efectiva de los ensayos físico-mecánicos. Estos procedimientos se utilizaron para analizar el suelo de la Quinta Experimental Punzara con el objetivo de identificar los suelos óptimos como material en la impermeabilización de reservorios. Los procedimientos se describen a continuación:

6.1.1 *Determinación de contenido de humedad, ASTM D22 16-98*

El contenido de humedad es el porcentaje de la masa del agua contenida en los poros, o agua libre, con respecto a la masa del material sólido. Se utiliza una estufa a temperatura estándar de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ hasta peso constante. Con este ensayo se expresa la relación de vacíos de aire, agua y sólidos presentes en un volumen dado de material.

Equipo y materiales

- Muestra de suelo
- Horno secador
- Balanza
- Contenedores de especímenes y equipos de manipulación

Procedimiento

Primeramente, pese y registre el recipiente limpio y seco donde irá la muestra. A continuación, coloque el espécimen húmedo en el contenedor, registrando los valores de la masa del recipiente y del material con el uso de la balanza. Lleve la muestra al horno de secado, con una temperatura de $110^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ hasta masa constante. El tiempo requerido para obtener masa constante, variará según el tipo de material, el tamaño del espécimen, el tipo de horno y su capacidad, generalmente se deja secar por 12 a 16 horas.

Cumplido con el tiempo de secado retire la muestra del horno, dejando al material y recipiente enfriarse a temperatura ambiente o hasta que el recipiente pueda ser manipulado con las manos desnudas, con esto la operación de la balanza no será afectada por la convección de las corrientes de aire o por ser calentada. Por último, determine el peso del contenedor y el material secado usando la misma balanza y registrando su valor.

Cálculos

Con la siguiente ecuación se calcula el contenido de humedad del material (%):

$$w = \left(\frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \right) * 100 = \frac{M_w}{M_s} * 100$$

Donde:

M_{cws}= peso del recipiente y el espécimen húmedo, g.

M_{cs}= peso del recipiente y el peso del espécimen secado, g.

M_c= peso del recipiente, g.

M_w= masa de agua (M_w=M_{cws}-M_{cs}), g.

M_s= peso de las partículas sólidas (M_s=M_{cs}-M_c), g.

6.1.2 Análisis granulométrico por tamizado, ASTM D422

El propósito de este ensayo es conocer la distribución de tamaños de partículas de una muestra de suelo de manera cuantitativa. Es necesario pasar al suelo por una serie de tamices hasta el tamiz con el tamaño de malla de 74 mm (No 200), de tal manera que se determina el porcentaje retenido y el porcentaje pasante por los mismos, con esto se podrá graficar la curva granulométrica de la muestra de suelo.

Equipo y materiales

- Muestra de suelo
- Recipientes
- Brocha o cepillo
- Bandejas
- Serie de tamices, según la Tabla 5

Tabla 5

Serie de tamices para el presente ensayo, según la norma ASTM D 422.

Código Tamiz	Abertura (mm)	Código Tamiz	Abertura (mm)
3 in	75,00	No 4	4,750
2 in	50,00	No 10	2,000
1 ½ in	37,50	No 20	0,850
1 in	25,00	No 30	0,600
¾ in	19,00	No 40	0,425
½ in	12,50	No 60	0,250
3/8 in	9,50	No 100	0,150
¼ in	6,30	No 200	0,075

Procedimiento

En primer lugar, pese una muestra de suelo representativa seca y disgregada, registrando su valor inicial. Seguidamente coloque la serie de tamices a utilizar de mayor a menor diámetro de abertura, según la muestra de suelo a analizar. De manera manual o mecánica realice la agitación 5 min a 10 min de la muestra por la serie de tamices. Luego, retire, pese y registre el material retenido en cada tamiz cuidadosamente. Finalmente, con el peso inicial de la muestra y los pesos retenidos en cada tamiz se podrá determinar el porcentaje retenido y a su vez el pasante en los mismos, con esto podrá formar la curva granulométrica a partir de estos valores.

Cálculos

La siguiente ecuación muestra como calcular el porcentaje retenido en cada tamiz:

$$\%Retenido = \frac{W \text{ tamiz}}{W T} * 100$$

Donde:

W tamiz: peso del suelo retenido en cada tamiz, g.

W T: peso total de la muestra utilizada, g.

6.1.3 *Análisis granulométrico por método del hidrómetro, ASTM D422-63*

Mediante este método se determina de manera cuantitativa la distribución del tamaño de partículas de los suelos estudiados, por sedimentación, con lecturas de hidrómetro, mismas que indican los gramos por litro de suelo en suspensión. Con el propósito de conocer el porcentaje de finos (limos y arcillas) presentes en el suelo.

Equipos y materiales

- Muestra de suelo
- Agitador manual y mecánico
- Balanza y recipientes
- Probetas e hidrómetros ASTM 152H
- Solución dispersante (hexametáfosfato de sodio) y agua destilada
- Cronometro y termómetro

Procedimiento

Primeramente, tamice la muestra de suelo por la malla número 10 y el material pasante pese 50 g para suelos mayormente arcillosos o limosos, mientras que para suelos mayormente arenosos 100 g. Además, tome una porción auxiliar de 10 g de este suelo y séquelo al horno, posteriormente será usado para determinar factor de corrección de humedad

higroscópica. Luego, coloque los 50 g en recipientes de 250 ml y ponga 125 ml de solución dispersante. La solución dispersante se prepara previamente con una concentración de 40 g en 1 L y se deja reposar durante al menos 16 h. A continuación, coloque el suelo en el vaso de dispersión, procurando no dejar ningún resto en el recipiente y proceda a agitarlo mecánicamente durante un minuto.

Después, ubique la muestra en una probeta de 1000 ml y afore con agua destilada. Seguidamente, agite manualmente durante 1 min y al terminar este tiempo tome las lecturas con el hidrómetro y termómetro en los siguientes intervalos de tiempo: 2, 5, 15, 30, 60, 250 y 1440 min, registrando todos los valores de manera cuidadosa y atenta.

Cálculos

De acuerdo con las siguientes ecuaciones en este orden se puede calcular el porcentaje de suelo en suspensión y el diámetro de partícula.

Para calcular el factor de corrección por humedad higroscópica se aplica lo siguiente:

El valor de este cálculo debe ser menor a uno, a menos que no haya humedad higroscópica

$$Fh = \frac{\text{masa muestra seca al horno}}{\text{masa seca al aire}}$$

Donde:

Fh: factor de corrección de humedad higroscópica

Masa seca al aire: pequeña cantidad muestra de suelo auxiliar que se utilizó (10g), g

Masa muestra seca al horno: misma muestra, pero secada al horno, g

Para calcular la masa seca al horno del suelo usado en el análisis se aplica lo siguiente:

$$Msh = \text{masa seca al aire} * Fh$$

Donde:

Msh= masa seca al horno, g

Masa seca al aire= masa usada para el ensayo (50g), g

Fh= factor de corrección de humedad higroscópica

Para calcular la masa total de una muestra representativa por la masa de suelo en el ensayo se aplica lo siguiente:

$$W = \frac{Msh}{\%pasa\ tamiz\ 10} * 100$$

Donde:

Msh: masa secada al horno, g

% pasa tamiz 10: 50g (100 %) de suelo usados en el ensayo

Para calcular el porcentaje de suelo que permanece en suspensión aplicar la siguiente ecuación:

$$P = \left(\frac{R * a}{W} \right) * 100$$

Donde:

P= porcentaje en suspensión, %

a= factor de corrección del hidrómetro 152H (1)

R= Lectura del hidrómetro

W= masa seca al horno

Para calcular el diámetro de partículas se aplica lo siguiente:

$$D = K \sqrt{\frac{L}{t}}$$

Donde:

D: diámetro de partículas, mm

K: factor en dependencia de temperatura y gravedad específica, ver Tabla 6.

L: profundidad efectiva en dependencia de la lectura tomada, ver Tabla 7, cm

t: tiempo transcurrido, min

Tabla 6

Valores de K para aplicar en el cálculo de diámetro de partícula.

Temperatura (°C)	Valores del factor K para gravedad específica de partículas de suelo de 2.65
16	0,01435
17	0,01417
18	0,01399
19	0,01382
20	0,01365
21	0,01348
22	0,01332
23	0,01317
24	0,01301
25	0,01286
26	0,01272
27	0,01258
28	0,01244
29	0,01230
30	0,01217

Tabla 7*Valores de profundidad efectiva de acuerdo a la lectura tomada por el hidrómetro 152H.*

Lectura	P. efectiva (cm)						
0	16,3	16	13,7	32	11,1	48	8,4
1	16,1	17	13,5	33	10,9	49	8,3
2	16,0	18	13,3	34	10,7	50	8,1
3	15,8	19	13,2	35	10,6	51	7,9
4	15,6	20	13,0	36	10,4	52	7,8
5	15,5	21	12,9	37	10,2	53	7,6
6	15,3	22	12,7	38	10,1	54	7,4
7	15,2	23	12,5	39	9,9	55	7,3
8	15,0	24	12,4	40	9,7	56	7,1
9	14,8	25	12,2	41	9,6	57	7,0
10	14,7	26	12,0	42	9,4	58	6,8
11	14,5	27	11,9	43	9,2	59	6,6
12	14,3	28	11,7	44	9,1	60	6,5
13	14,2	29	11,5	45	8,9		
14	14,0	30	11,4	46	8,8		
15	13,8	31	11,2	47	8,6		

6.1.4 Determinación del límite líquido y límite plástico del suelo, ASTM D4318

Este ensayo permite conocer el contenido de humedad con el cual un suelo está al límite del estado plástico y líquido (límite líquido), utilizando el método del multipunto el cual consiste en tomar pequeñas muestras de suelo con distintas humedades que deben encontrarse en tres rangos de número de golpes. Y el contenido de humedad con el cual el suelo al ser formado de manera cilíndrica con un diámetro de aproximadamente 3,2 mm se desmorone, esto indica que está al límite del estado semisólido y plástico (límite plástico).

Equipos y materiales

- Equipo de casa grande
- Muestra de suelo
- Horno secador
- Contenedores de especímenes y balanza
- Tamiz N° 40 y placa de vidrio

Procedimiento

Para determinar el límite líquido del suelo realice lo siguiente: tamice y pese una muestra de suelo de 150 a 200 g pasante del tamiz número 40 (425 micras), coloque este suelo en una capsula de porcelana para mezclarlo con agua, de manera que el suelo pueda encontrarse dentro de los rangos de 25 a 35, luego de 20 a 30 y por último de 15 a 25 golpes una vez utilizado el equipo de casa grande. Usando la espátula coloque la mezcla

uniformemente dentro de la copa, sin burbujas de aire y con una profundidad de 1cm en la zona más baja de la copa. Enseguida, con el ranurador forme un surco dividiendo la muestra en dos partes y proceda a girar la manivela del equipo de manera que se de 2 golpes por segundo o encienda el motor si éste es eléctrico. Cuando el surco se haya cerrado 13 mm pare el equipo y registre el número de golpes, tome una muestra de este suelo para determinar su humedad, dejándolo secar en el horno por 24 horas a temperatura de 110 +-5 °C. Añada más agua a la mezcla de suelo para encontrarse dentro del segundo rango y posteriormente de la misma manera para el tercer rango.

Para determinar el límite plástico del suelo realice lo siguiente: a partir de la mezcla de suelo inicial o de la segunda mezcla del ensayo de límite líquido, tome una cantidad de 20 g aproximadamente y seleccione una pequeña porción de 2 a 3 g de esta cantidad para proceder a hacer los cilindros (rollos) con la masa de suelo, estos cilindros se realizan con la palma de la mano, considerando que, tienen que ir deformándose a medida que se da los movimientos de arriba abajo y llega a un diámetro de 3,2 mm. Por último, recoja la muestra, pese y lleve a secar al horno, determinando así su contenido de agua.

Cálculos

Para conocer el límite líquido es necesario contar los registros del ensayo, el contenido de humedad con el número de golpes correspondiente, representándolos en un gráfico semilogarítmico, el primero como ordenada en escala aritmética y el segundo como abscisa en escala logarítmica, la curva de flujo es una línea recta promedia formada por los tres puntos realizados en el ensayo. La ordenada de 25 golpes intercepta a la curva de flujo y con esto se conoce el contenido de humedad de este, se debe aproximar a un valor entero.

Para conocer el límite plástico de las muestras simplemente de debe determinar el contenido de humedad de las repeticiones y establecer un promedio de esta.

Para calcular el contenido de humedad del suelo aplicar lo siguiente:

$$W = \frac{SH - SS}{SS} * 100$$

Donde:

W: contenido de humedad del suelo, %

SH: suelo húmedo, g

SS: suelo seco, g

6.1.5 Ensayo de compactación de suelo con Proctor Estándar, ASTM D698

Este ensayo determina el contenido de humedad óptimo y densidad máxima que un suelo puede alcanzar, mediante compactación, añadiéndole progresivamente humedad a la

muestra de suelo. Utilizando el método A el cual indica que se debe formar 3 capas con 25 golpes cada una, dentro del molde y que con cada espécimen realizado se toma una porción de muestra para determinar la humedad, con el propósito de graficar la curva de compactación, en que se encuentran las humedades y densidades secas, en el punto más alto de la curva se intercepta al eje de abscisas y ordenadas.

Equipos y materiales

- Martillo de 2.5 kg estandarizado por la norma
- Molde de 4 pulgadas de diámetro estandarizado por la norma
- Tamiz numero 4
- Contenedores de especímenes
- Balanza y horno secador
- Agua
- Equipo de manipulación

Procedimiento

Utilice de 2,5 a 3 kg del material pasante por la malla número cuatro, esta debe estar secada al ambiente. Por otra parte, determine el contenido de humedad higroscópica con la finalidad de conocer porcentaje de humedad en el que se encuentra el suelo y con el que podrá elevarlo gradualmente en el ensayo. Asimismo, registre el peso y volumen del molde.

Luego, coloque la muestra en una bandeja esparciéndola uniformemente, a continuación, agregue agua y mezcle la muestra, ésta ubíquela dentro del molde para compactarlo en tres capas con 25 golpes cada una. Después, enrase la muestra con el borde del cilindro y péselo, registrando el valor del molde más suelo, también, tome una porción de esta muestra para determinar su contenido de humedad. Desmunte la muestra del molde y reintegre a la bandeja de muestra total usada en el ensayo. Nuevamente repita el procedimiento aumentando el contenido de agua hasta que se pueda obtener de 3 a 5 especímenes realizados, como resultado se podrá graficar la curva de compactación y por consiguiente conocer la densidad máxima y humedad optima.

Cálculos

En primera instancia calcular la densidad humedad de los especímenes, con la siguiente ecuación:

$$\rho_m = \frac{M_e - M_{md}}{V_{md}}$$

Donde:

dm: densidad húmeda de la muestra, g/cc

Me: Masa del espécimen húmedo más el molde, g

Mmd: Masa del molde, g

Vmd: Volumen del molde, cc

Calcular la densidad seca de la muestra de suelo con lo siguiente:

$$\rho d = \frac{\rho m}{1 + \frac{W}{100}}$$

Donde:

dd: densidad seca de la muestra, g/cc

dm: densidad humedad de la muestra, g/cc

W: contenido de humedad de la muestra de suelo, %

6.1.6 Determinación del límite contracción por método del Mercurio, ASTM D427

Al realizar este ensayo se conoce el contenido de humedad que precisa el límite del estado semisólido y estado sólido, es decir, es el contenido de humedad que al seguir disminuyendo mantendrá el volumen del suelo. Se utilizó mercurio para conocer los volúmenes de recipientes y de la muestra de suelo contraída. La muestra es pasante del tamiz número 40 que se llevará hasta una humedad cercana o levemente mayor al límite líquido.

Equipos y materiales

- Equipo para límite de contracción
- Mercurio metálico
- Muestra de suelo
- Tamiz número 40
- Equipo de protección
- Contenedores de especímenes y vaselina

Procedimiento

Tome una muestra de suelo de cerca de 40 g de material pasante del tamiz número 40 y mézclelo con agua hasta limite liquido o levemente mayor. Previamente cubra con una capa fina de vaselina la capsula de contracción y registre su masa. Después, coloque la mezcla de suelo en la capsula en 3 capas, compactándola con golpes en una superficie rígida, enrasede el suelo y asegúrese que la parte exterior quede limpia antes de su pesaje. A continuación, deje secar la muestra al ambiente hasta que cambie de color para luego secarla a 110±5 °C en el horno, luego, retire la muestra y deje que se enfríe al ambiente para registrar su masa.

Por último, retire el suelo seco de la cápsula y determine los volúmenes de la muestra, el volumen inicial corresponde al mismo volumen de la capsula, mientras que, el volumen final corresponde a la muestra seca extraída de la capsula, la cual se conoce a través del desplazamiento del mercurio por inmersión de la muestra. El mercurio desplazado se lo mide en una probeta graduada y así se conoce el volumen final.

Cálculos

Para calcular el contenido de humedad, aplicar lo siguiente:

$$W = \left(\frac{M - M0}{m0} \right) * 100$$

Donde:

W: contenido de humedad, %

M: masa de suelo húmedo= Mw -MT

Mw: masa capsula más suelo húmedo

M0: masa de suelo seco= Ms-MT

Ms: masa de capsula más suelo seco

MT: masa capsula engrasada

Para calcular el límite de contracción, aplica lo siguiente:

$$LC = W - \left[\frac{(V - V0) * \rho_w}{M0} \right] * 100$$

Donde:

LC: límite de contracción, %

W: contenido de humedad, %

V: volumen inicial, cc

V0: volumen final, cc

dw: densidad del agua, (1 g/cc)

M0: masa de suelo seco, g

Para calcular la relación de contracción, aplicar lo siguiente:

$$R = \frac{M0}{V0 * \rho_w}$$

Donde:

R: relación de contracción, parámetro adimensional

6.1.7 Ensayo de permeabilidad, ASTM 2434-68

Mediante este ensayo se determinó el coeficiente de permeabilidad, mismo que permite conocer cuan permeable es el suelo. Existiendo dos métodos, el primero por carga constante con suelos granulares y el otro por carga variable para suelo finos. Tomando en consideración las medidas de volumen, tiempo, longitud de muestra, diámetro de muestra, área de bureta y diferencias de cargas.

Equipos y materiales

- Equipo de permeabilidad
- Cronometro
- Bandeja
- Muestra de suelo
- Martillo compactador
- Agua
- Papel filtro

Procedimiento

Primeramente, prepare la muestra de suelo en una bandeja hasta llevarla visualmente a una humedad que pueda ser compactada levemente para ser ubicada dentro del cilindro del equipo (la compactación puede ser en relación a los parámetros obtenidos en el ensayo Proctor), coloque la muestra dentro del cilindro y compacta por capas de cerca de dos cm en una superficie firme, enrasc el suelo con el borde del cilindro y limpie cuidadosamente su exterior, luego, coloque papel filtro en sus dos extremos sobre las piedras porosas y ensamble el equipo.

A continuación, deje saturar la muestra, ya sea por inmersión o por capilaridad y cuando la muestra se encuentre saturada asegúrese de cerrar las válvulas de entrada y salida. Luego, coloque agua dentro de la bureta para establecer la carga inicial que será desde la superficie del agua hasta el orificio de salida del equipo y, registre el valor inicial. Seguidamente, abra las válvulas, dejando pasar el agua. Es importante mencionar que debe tener a mano un cronometro con el cual se pueda tomar el tiempo de carga inicial a carga final, para aplicar estos valores dentro de la ecuación para determinar el coeficiente K.

Cálculos

Para calcular el valor de K, aplicar lo siguiente:

$$K = \frac{a * L}{A * t} * \ln \frac{h_0}{h_1}$$

Donde:

K: coeficiente de permeabilidad, cm/s

a: área de la sección del tubo estrecho, cm²

L: longitud de la muestra, cm

A: área de la muestra, cm²

t: tiempo, s

6.2 Resultados para el segundo objetivo específico

Realización de ensayos pertinentes para la caracterización del suelo objeto de estudio, de acuerdo a la normativa ASTM.

6.2.1 *Contenido de humedad de campo.*

El contenido de humedad de campo es importante porque permite conocer el contenido agua que posee el suelo al ser muestreado, en este sentido, la Tabla 8 indica que las muestras estudiadas tienen variados niveles de humedad, en la que se destaca el suelo P8 con 33%, siendo el de mayor humedad y el suelo P6 con 12 %, siendo aquel con menor humedad.

Tabla 8

Contenido de humedad de los suelos.

Muestra	Contenido de humedad %
P1	16
P2	19
P3	27
P4	17
P5	23
P6	12
P7	26
P8	33
P9	21
P10	20

6.2.2 *Análisis granulométrico por tamizado.*

Mediante el tamizado vía seca se determinó los porcentajes del material retenido y pasantes en cada tamiz utilizado, permitiendo conocer la granulometría de cada suelo. La Tabla 9, indica que los suelos contienen de 69 a 87% de arenas y de finos de 6 a 30%, considerándolo como arenas con presencias de finos, con buena y mala gradación, esto en relación a la curva granulometría y coeficientes de uniformidad y curvatura.

Tabla 9*Granulometría de los suelos de estudio.*

Muestra	Promedio		%Finos	D10	D30	D60	Cu	Cc
	% Gravas	% Arenas						
P1	9	75	16	0,06	0,22	0,64	10,28	1,20
P2	6	85	9	0,10	0,39	1,36	13,30	1,10
P3	9	82	9	0,10	0,47	1,54	15,31	1,45
P4	10	81	8	0,11	0,75	2,17	20,44	2,42
P5	2	71	27	0,03	0,18	0,46	17,18	2,70
P6	8	87	6	0,14	0,64	1,59	11,43	1,85
P7	0	77	23	0,03	0,34	0,13	4,00	25,76
P8	1	70	29	0,03	0,11	0,02	0,97	19,81
P9	1	69	30	0,03	0,08	0,02	0,85	10,17
P10	2	73	25	0,03	0,18	0,20	7,46	5,78

6.2.3 Análisis de tamaño de partículas por hidrómetro.

Por medio de este ensayo se conoce el porcentaje de finos, tanto limos como arcillas presentes en los suelos de estudio. De acuerdo a la Tabla 10, los suelos con mayor presencia de arcillas son P5, P6 y P7, con 58,2 %, 52,8 % y 68,8 %, respectivamente. Además, las muestras presentan baja actividad y caolinita como material arcilloso, esto producto de la relación entre el índice de plasticidad y el porcentaje de arcilla.

Tabla 10*Granulometría de finos.*

Muestra	Promedio		Actividad	Característica
	% Limo	%Arcilla		
P1	56,73	43,27	0,32	Baja actividad, caolinitica
P2	59,73	40,27	0,48	Baja actividad, caolinitica
P3	59,07	40,93	0,21	Baja actividad, caolinitica
P4	51,60	48,40	0,16	Baja actividad, caolinitica
P5	41,78	58,22	0,32	Baja actividad, caolinitica
P6	47,19	52,81	0,45	Baja actividad, caolinitica
P7	31,15	68,85	0,48	Baja actividad, caolinitica
P8	50,54	49,46	0,27	Baja actividad, caolinitica
P9	49,02	50,98	0,23	Baja actividad, caolinitica
P10	50,11	49,89	0,40	Baja actividad, caolinitica

6.2.4 Límites de consistencia e índice de plasticidad.

La Tabla 11 indica que los suelos tienen diverso grado de plasticidad, aquellos con presencia de arcillas de alta plasticidad son las muestras P7, P9 y P10, mientras que las demás son arcillas de baja plasticidad, excepto por los suelos P3, P4 y P8, con presencia de limos de plasticidad baja, esto en consideración a la carta de plasticidad. A demás, son suelos de cambio volumétrico bajo, de acuerdo al límite de contracción que presenta.

Tabla 11*Limites de consistencia de los suelos.*

Muestra	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice de plasticidad (%)	Límite de contracción (%)	Característica del suelo
P1	35	21	14	31	Arcilla de baja plasticidad
P2	41	22	19	36	Arcilla de baja plasticidad
P3	33	24	9	32	Limo de baja plasticidad
P4	31	23	8	29	Limo de baja plasticidad
P5	34	15	19	32	Arcilla de baja plasticidad
P6	37	13	24	35	Arcilla de baja plasticidad
P7	56	23	33	40	Arcilla de alta plasticidad
P8	43	30	13	38	Limo de baja plasticidad
P9	32	20	12	34	Arcilla de alta plasticidad
P10	34	14	20	34	Arcilla de alta plasticidad

6.2.5 Compactación con Proctor estándar.

Este ensayo permitió conocer la densidad máxima seca y humedad óptima que puede llegar a alcanzar los suelos, teniendo en cuenta que estas características son propias para cada una de estas. En relación con lo anterior, la Tabla 12 indica que los suelos tienen una densidad máxima de 1,53 g/cc, con una humedad óptima de 25 %, siendo este el más bajo; y una densidad máxima de 1,83 g/cc, con humedad óptima de 13%.

Tabla 12*Densidades máximas seca y humedades óptimas de los suelos estudiados.*

Muestra	Densidad Máxima (g/cc)	Humedad Óptima (%)
P1	1,58	22
P2	1,53	25
P3	1,58	22
P4	1,68	16
P5	1,74	17
P6	1,57	22
P7	1,63	21
P8	1,60	22
P9	1,70	19
P10	1,83	13

6.2.6 Permeabilidad del suelo.

De acuerdo al ensayo realizado, los suelos presentan características de muy baja a bajísima permeabilidad, como la muestra la Tabla 13, en donde las conductividades hidráulicas van desde 10^{-6} a 10^{-8} cm/s.

Tabla 13*Rango de permeabilidad de los suelos estudiados.*

Muestras	Conductividad hidráulica (cm/s)	Permeabilidad
P1	3,81E-06	Muy Baja
P2	1,81E-06	Muy Baja
P3	7,73E-06	Muy Baja
P4	7,00E-08	Bajísima
P5	7,42E-07	Muy Baja
P6	2,30E-06	Muy Baja
P7	5,15E-07	Bajísima
P8	3,57E-07	Muy Baja
P9	9,30E-08	Bajísima
P10	9,16E-08	Muy Baja

6.3 Resultados para el tercer objetivo específico

6.4 Clasificación de las muestras de suelo según los sistemas SUCS y AASHTO.

De acuerdo al análisis de granulometría por tamizado vía seca y a los límites de consistencia con la carta de plasticidad se pudo clasificar a los suelos en conformidad a los sistemas de clasificación. La Tabla 14 se muestra cada uno de ellos.

Tabla 14*Clasificación de los suelos estudiados por los sistemas SUCS y AASHTO.*

Muestra	SUCS	AASHTO	Descripción
P1	SC	A-2-6 (0)	Arenas con arcillas de baja plasticidad
P2	SW-SC	A-2-7 (0)	Arenas bien graduada con arcillas de baja plasticidad
P3	SW-SM	A-2-4 (0)	Arenas bien graduada con limos de baja plasticidad
P4	SW-SM	A-2-4 (0)	Arenas bien graduada con limos de baja plasticidad
P5	SC	A-2-6 (1)	Arenas con arcillas de baja plasticidad
P6	SW-SC	A-2-6 (0)	Arenas bien graduada con arcillas de baja plasticidad
P7	SC	A-2-7 (2)	Arenas con arcillas de baja plasticidad
P8	SM	A-2-7 (0)	Arenas con limos de baja plasticidad
P9	SC	A-2-6 (0)	Arenas con arcillas de baja plasticidad
P10	SC	A-2-6 (1)	Arenas con arcillas de baja plasticidad

7. Discusión

7.1 Análisis de la normativa vigente ASTM para los procedimientos de realización de ensayos físico-mecánicos de muestras de suelo.

Las normativas utilizadas en la ejecución de los ensayos establecidos fueron de suma importancia por su confiabilidad, rigurosidad y practicidad para el análisis de las propiedades del suelo objeto de estudio, resaltando los criterios y especificaciones técnicas. Las mismas que permitieron conocer de manera clara el objetivo o alcance de cada prueba realizada de manera acertada. Existen varias normas conocidas y adaptadas internacionalmente, tales como la ISO, AASHTO e INEN, en este caso se utilizó la ASTM por su originalidad y confiabilidad para la caracterización de suelos. Muchos de los trabajos académicos en los que se requiere evaluar un material o producto optaron por utilizar estas normas técnicas, en particular para analizar un suelo, tal como muestra Chamba et al., (2019), en su investigación sobre la “Caracterización de arcillas con fines de impermeabilización de reservorios”, en la que utilizaron las siguientes normas: contenido de agua, ASTM D2216; granulometría por tamizado e hidrómetro, ASTM D422 y límites de consistencia, ASTM D4318. También lo indica Calva (2015) en su trabajo de titulación denominado “Determinación de la resistencia a la compresión y la durabilidad del adobe prensado a máquina para la construcción de infraestructura agropecuaria rural en la Parroquia Chuquiribamba” en el que para caracterizar el suelo aplicó las siguientes normas: contenido de agua, ASTM D2216; límites de consistencia, ASTM D4318; Proctor estándar, ASTM D698 y otras normas adoptadas por INEN de ASTM para el contenido de humedad y granulometría. Del mismo modo, varios trabajos de titulación como los de Cullquipuma y Maldonado (2014) y de González (2020) optaron por aplicar estas normas con el propósito de caracterizar, mismas que se adaptan plenamente para el estudio del suelo.

7.2 Caracterización de suelos

7.2.1 Humedad

De acuerdo a la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, los suelos presentan variados porcentajes de humedad, teniendo así que la muestra 8, contiene mayor humedad, con un 32,5 %, mientras que la muestra 6 tiene menor cantidad de agua, con un 12 %, lo que se debe a que las muestras fueron tomadas en distintos lugares de la zona de estudio y en diferentes días, esto indica en primera instancia que la humedad de las muestras están condicionadas al tiempo atmosférico y tipo de suelo, lo que concuerda con Jaramillo

(2002), quien menciona que puede ser por distintas influencias como la textura, contenido de materia orgánica, composición de sus fracciones mineral y orgánica y el arreglo que presente el medio físico edáfico, por el aporte natural agua, así como por el consumo causado por evapotranspiración.

La humedad higroscópica de estos suelos varía por sus características físicas como la textura, la muestra 5 indica que luego de haber permanecido en el lugar de secado a condiciones ambiente, ha perdido peso, que se refleja en contenido de humedad, el cual está en equilibrio con el vapor de agua atmosférico (ambiente), tendiendo así una humedad higroscópica de 14,1 %, siendo el más alto con respecto a las otras muestras de suelo, por otra parte, el punto 7 es el que tiene menor cantidad de humedad higroscópica, con 4,7 %.

7.2.2 Granulometría

La granulometría de los suelos por medio del tamizado mecánico indica que, son suelos de grano grueso, con más del 70 % de arenas en su mayoría, con gradación buena y mala. La Tabla 9 sostiene que las muestras P5, P7, P8, P9, P10, son las que tienen mayor contenido de partículas finas, con 27%, 23%, 29%, 30 % y 25 % respectivamente. De acuerdo a Chacón et al., (2004), un suelo bien gradado tiene una buena representación en la curva granulométrica de los tamaños de partículas desde el diámetro más grande al más pequeño y, que un suelo mal gradado es aquel en el que hay ausencia o exceso de ciertos tamaños, se puede decir que existe un salto o discontinuidad en el material. Los materiales bien gradados son fáciles de trabajar en obra, produciendo una reducción en la permeabilidad, disminuye la compresibilidad y aumenta la resistencia al esfuerzo cortante. Los suelos de grano grueso están influenciados por las características y cantidad de finos, si estos son arcillosos la cohesión del suelo aumenta.

Con relación a la granulometría de finos presentes en los suelos, se logra determinar que de acuerdo a la Tabla 10, las muestras comparten en su mayoría similar porcentaje de limos y arcillas, teniendo que, las muestras P5, P6, P7 contienen más del 50 % de arcillas, con un 58,22 %, 52,81 % y 68,85 % respectivamente. Por otra parte, de acuerdo a lo dicho por Crespo (2004) estas muestras son relativamente inactivas con presencia de caolinitas, por su actividad menores a 0.5.

7.2.3 Límites de consistencia

De acuerdo a la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, las muestras P 1, P2, P5 y P6 corresponden a suelos con arcillas de baja plasticidad, mientras que, las

muestras P3, P4 y P8 corresponden a suelos con limos de baja plasticidad y, por último, las muestras P7, P9 y P10 corresponden a suelos con arcillas de alta plasticidad, la variación del grado de plasticidad se da por el índice de plasticidad que presenta cada uno de estos, de acuerdo a Chacón et al., (2004) cuanto mayor sea éste, menor será la permeabilidad del suelo. A demás, con estos valores de los límites de consistencia se permite clasificar al suelo por los sistemas SUCS y AASTHO.

FAO (2003), menciona que para la construcción de diques con núcleo de arcilla es recomendable que el suelo presente valores de límite líquido menores a 60%, límites plásticos menores a 20% y con un índice de plasticidad superior a 30%, considerándolo como material de buenas características plásticas e impermeable. De acuerdo a lo anterior, las muestras más semejantes a estas condicionantes son las muestras P6 y P7, mismas que podrían ser válidas para este fin.

En lo que refiere a la contracción, los suelos presentan variados porcentajes, consecuentemente a la cantidad y tipo arcilla que puedan contener, en su mayoría el comportamiento es distinto, indicado por su contenido de humedad obtenido al conocer su límite entre el estado semisólido y sólido. De acuerdo a Aguilar y Mendoza (2019), suelos expansivos pueden lograr provocar mala operabilidad de obras de construcción, en este caso presas, dado que se forman grietas y asentamientos indeseados, ocasionando daños significativos a la infraestructura. A demás, menciona que suelos con límite de contracción de 0 a 10, de 10 a 12 y mayores a 12, tienen un cambio volumétrico o peligro de hinchamiento alto, medio y bajo, respectivamente.

7.2.4 Densidad máxima y humedad óptima

En la Tabla 12 se presenta las condiciones de los suelos como la densidad máxima y humedad óptima que son de suma importancia en lo que concierne a compactación; de acuerdo a Das (2016) el tipo de suelo, es decir, la distribución y formas de tamaños de partículas, el peso específico de sólidos, y la cantidad y tipo de minerales de arcilla presentes, tienen gran influencia en estos parámetros. A demás, Cullquipuma y Maldonado (2014) consideran que la compactación es plenamente necesario para tener una buena estabilidad, flexibilidad y mínima permeabilidad posible, como en el caso de los requerimientos para el funcionamiento de terraplenes en reservorios.

En suelos secos la compactación es mejor al agregar humedad de manera moderada; sin embargo, si la humedad es excesiva hay una pérdida de densidad, la densidad máxima y humedad óptima es único para cada suelo y para cada sistema de compactación. De acuerdo a

la finalidad ingenieril en el que se va a emplear el suelo, interesa más que esté más seco o húmedo que el valor de humedad óptima. En presas con núcleos impermeables, se debe evitar formar micro fisuras; esto se puede lograr compactando unos puntos de 1 a 2 % por encima de la humedad óptima (Chacón et al., 2004).

Así mismo, estos parámetros pueden ser tomados para realizar el ensayo de permeabilidad, con la finalidad de conocer el coeficiente y grado de permeabilidad con cierta densidad.

7.2.5 Permeabilidad

Los valores de los coeficientes de permeabilidad de los suelos estudiados, fueron obtenidos por la prueba con el equipo del permeámetro, con muestras alteradas, ubicadas dentro del cilindro a una cierta densidad, con relación a los datos de compactación; densidad máxima y humedad óptima, como resultado de esto se obtuvo el coeficiente hidráulico de cada suelo, mismos que se presentan en la Tabla 13, dichos valores indican que son suelos de muy baja a bajísima permeabilidad, en las que se relacionan a arenas muy finas con mezclas de finos y arcillas.

De acuerdo a Fenucci (1988), la composición ideal de un suelo para la construcción de estanques es de 70% arena y 25% arcilla, se debe remover el suelo y agregar uno más impermeables, rico en arcillas, en una capa de 30 a 40 cm para ser compactado de acuerdo a la densidad previamente determinada. Así mismo, según (FAO, 2003) para la ubicación y construcción de estanques, el coeficiente de permeabilidad es de suma importancia para determinar la aptitud del suelo a utilizar, se puede construir diques sin núcleo de arcilla impermeable en suelos cuyo coeficiente sea menor a $1 \cdot 10^{-2}$ cm/s y, se puede construir fondos de estanques en suelos con el coeficiente menor a $5 \cdot 10^{-4}$ cm/s.

7.3 Clasificación de suelos

La clasificación de la muestra número uno indica que es un suelo arenoso con arcilla de baja plasticidad, el cual tiene una simbología según SUCS (2011), de SC, detalladamente se puede describir que el porcentaje pasante del tamiz 200 es inferior al 50 % de la muestra (16 %), el porcentaje pasante del tamiz número cuatro es mayor al 50% (91.1%) y que el porcentaje de finos corresponde al 16.1 %. A demás, con la carta de plasticidad se puede conocer el tipo de suelo. Según AASHTO (2008), el suelo corresponde a la simbología de A-2-6 con índice de grupo de cero. Detalladamente se describe que el porcentaje pasante del tamiz 200 es inferior al 35 % de la muestra (16.1 %), que el límite líquido es menor o igual a 40 (35 %), que el índice de plasticidad es mayor o igual a 11 (14 %) y que su índice de grupo

es menor a cuatro (0). Teniendo así la tipología de arenas arcillosas y la calidad de aceptable a mala.

La clasificación de la muestra número dos indica que es un suelo arenoso bien graduado con arcilla de baja plasticidad, el cual tiene denominación doble según SUCS (2011), de SW-SC, detalladamente se puede describir que el porcentaje pasante del tamiz 200 es inferior al 50 % de la muestra (9.3 %), el porcentaje pasante del tamiz número cuatro es mayor al 50% (94.3 %) y que el porcentaje de finos corresponde al 9.3 %. A demás, con la carta de plasticidad se puede conocer el tipo de suelo. Según AASHTO (2008), el suelo corresponde a la simbología de A-2-7 con índice de grupo de cero. Detalladamente se describe que el porcentaje pasante el tamiz 200 es inferior al 35 % de la muestra (9.3 %), que el límite líquido es mayor o igual a 41 (41 %), que el índice de plasticidad es mayor o igual a 11 (19 %) y que su índice de grupo es menor a cuatro (0). Teniendo así la tipología de arenas arcillosas y la calidad de aceptable a mala.

La clasificación de la muestra número tres indica que es un suelo arenoso bien graduado con limo de baja plasticidad, el cual tiene denominación doble según SUCS (2011), de SW-SM, detalladamente se puede describir que el porcentaje pasante del tamiz 200 es inferior al 50 % de la muestra (9.3 %), el porcentaje pasante del tamiz número cuatro es mayor al 50% (91.1 %) y que el porcentaje de finos corresponde al 9.3 %. A demás, con la carta de plasticidad se puede conocer el tipo de suelo. Según AASHTO (2008), el suelo corresponde a la simbología de A-2-4 con índice de grupo de cero. Detalladamente se describe que el porcentaje pasante el tamiz 200 es inferior al 35 % de la muestra (9.3 %), que el límite líquido es menor o igual a 40 (33 %), que el índice de plasticidad es menor o igual a 10 (9 %) y que su índice de grupo es menor a cuatro (0). Teniendo así la tipología de arenas limosas y la calidad de excelente a buena.

La clasificación de la muestra número cuatro indica que es un suelo arenoso bien graduado con limo de baja plasticidad, el cual tiene denominación doble según SUCS (2011), de SW-SM, detalladamente se puede describir que el porcentaje pasante del tamiz 200 es inferior al 50 % de la muestra (8.3 %), el porcentaje pasante del tamiz número cuatro es mayor al 50% (89.5 %) y que el porcentaje de finos corresponde al 8.3 %. A demás, con la carta de plasticidad se puede conocer el tipo de suelo. Según AASHTO (2008), el suelo corresponde a la simbología de A-2-4 con índice de grupo de cero. Detalladamente se describe que el porcentaje pasante el tamiz 200 es inferior al 35 % de la muestra (8.3 %), que el límite líquido es menor o igual a 40 (31 %), que el índice de plasticidad es menor o igual a

10 (8 %) y que su índice de grupo es menor a cuatro (0). Teniendo así la tipología de arenas limosas y la calidad de excelente a buena.

La clasificación de la muestra número cinco indica que es un suelo arenoso con arcilla de baja plasticidad, el cual tiene una simbología según SUCS (2011), de SC, detalladamente se puede describir que el porcentaje pasante del tamiz 200 es inferior al 50 % de la muestra (27.4 %), el porcentaje pasante del tamiz número cuatro es mayor al 50% (98.4 %) y que el porcentaje de finos corresponde al 27.4 %. A demás, con la carta de plasticidad se puede conocer el tipo de suelo. Según AASHTO (2008), el suelo corresponde a la simbología de A-2-6 con índice de grupo de uno. Detalladamente se describe que el porcentaje pasante el tamiz 200 es inferior al 35 % de la muestra (27.4 %), que el límite líquido es menor o igual a 40 (34 %), que el índice de plasticidad es mayor o igual a 11 (19 %) y que su índice de grupo es menor a cuatro (1). Teniendo así la tipología de arenas arcillosas y la calidad de aceptable a mala.

La clasificación de la muestra número seis indica que es un suelo arenoso bien graduado con arcilla de baja plasticidad, el cual tiene denominación doble según SUCS (2011), de SW-SC, detalladamente se puede describir que el porcentaje pasante del tamiz 200 es inferior al 50 % de la muestra (5.6 %), el porcentaje pasante del tamiz número cuatro es mayor al 50% (92.2 %) y que el porcentaje de finos corresponde al 5.6 %. A demás, con la carta de plasticidad se puede conocer el tipo de suelo. Según AASHTO (2008), el suelo corresponde a la simbología de A-2-6 con índice de grupo de cero. Detalladamente se describe que el porcentaje pasante el tamiz 200 es inferior al 35 % de la muestra (5.6 %), que el límite líquido es menor o igual a 40 (37 %), que el índice de plasticidad es mayor o igual a 11 (24 %) y que su índice de grupo es menor a cuatro (0). Teniendo así la tipología de arenas arcillosas y la calidad de aceptable a mala.

La clasificación de la muestra número siete indica que es un suelo arenoso con arcillas de alta plasticidad, el cual tiene denominación según SUCS (2011), de SC, detalladamente se puede describir que el porcentaje pasante del tamiz 200 es inferior al 50 % de la muestra (22.7 %), el porcentaje pasante del tamiz número cuatro es mayor al 50% (99.6 %) y que el porcentaje de finos corresponde al 22.7 %. A demás, con la carta de plasticidad se puede conocer el tipo de suelo. Según AASHTO (2008), el suelo corresponde a la simbología de A-2-7 con índice de grupo de dos. Detalladamente se describe que el porcentaje pasante el tamiz 200 es inferior al 35 % de la muestra (22.7 %), que el límite líquido es mayor o igual a 40 (56 %), que el índice de plasticidad es mayor o igual a 11 (33

%) y que su índice de grupo es menor a cuatro (2). Teniendo así la tipología de arenas arcillosas y la calidad de aceptable a mala.

La clasificación de la muestra número ocho indica que es un suelo arenoso con limos de baja plasticidad, el cual tiene denominación según SUCS (2011), de SM, detalladamente se puede describir que el porcentaje pasante del tamiz 200 es inferior al 50 % de la muestra (28.9 %), el porcentaje pasante del tamiz número cuatro es mayor al 50% (99.1 %) y que el porcentaje de finos corresponde al 28.9 %. A demás, con la carta de plasticidad se puede conocer el tipo de suelo. Según AASHTO (2008), el suelo corresponde a la simbología de A-2-7 con índice de grupo de cero. Detalladamente se describe que el porcentaje pasante el tamiz 200 es inferior al 35 % de la muestra (28.9 %), que el límite líquido es mayor o igual a 40 (43 %), que el índice de plasticidad es mayor o igual a 11 (13 %) y que su índice de grupo es menor a cuatro (0). Teniendo así la tipología de arenas limosas y la calidad de aceptable a mala.

La clasificación de la muestra número nueve indica que es un suelo arenoso con arcillas de baja plasticidad, el cual tiene denominación según SUCS (2011), de SC, detalladamente se puede describir que el porcentaje pasante del tamiz 200 es inferior al 50 % de la muestra (30 %), el porcentaje pasante del tamiz número cuatro es mayor al 50% (99.4 %) y que el porcentaje de finos corresponde al 30 %. A demás, con la carta de plasticidad se puede conocer el tipo de suelo. Según AASHTO (2008), el suelo corresponde a la simbología de A-2-6 con índice de grupo de cero. Detalladamente se describe que el porcentaje pasante el tamiz 200 es inferior al 35 % de la muestra (30 %), que el límite líquido es menor o igual a 40 (32 %), que el índice de plasticidad es mayor o igual a 11 (12 %) y que su índice de grupo es menor a cuatro (0). Teniendo así la tipología de arenas arcillosas y la calidad de aceptable a mala.

La clasificación de la muestra número diez indica que es un suelo arenoso con arcilla de baja plasticidad, el cual tiene una simbología según SUCS (2011), de SC, detalladamente se puede describir que el porcentaje pasante del tamiz 200 es inferior al 50 % de la muestra (25.1 %), el porcentaje pasante del tamiz número cuatro es mayor al 50% (98.2 %) y que el porcentaje de finos corresponde al 25.1 %. A demás, con la carta de plasticidad se puede conocer el tipo de suelo. Según AASHTO (2008), el suelo corresponde a la simbología de A-2-6 con índice de grupo de uno. Detalladamente se describe que el porcentaje pasante el tamiz 200 es inferior al 35 % de la muestra (25.1 %), que el límite líquido es menor o igual a

40 (34 %), que el índice de plasticidad es mayor o igual a 11 (20 %) y que su índice de grupo es menor a cuatro (1). Teniendo así la tipología de arenas arcillosas y la calidad de aceptable a mala.

7.4 Aptitud de los suelos como material de impermeabilización

Los suelos fueron clasificados por las dos normas antes mencionadas y con esto se obtuvo el grupo de suelo al que pertenecen, en las que, cinco muestras corresponden a la clasificación SC, dos a la SW-SC, dos a la SW-SM y uno a la SM, según FAO (2003) considera que; los primeros cinco son relativamente estables, utilizados en núcleos impermeables para control de inundaciones y con una permeabilidad baja en condiciones de compactación; los siguientes dos indican que el suelo contiene propiedades de dos grupos, de la fracción gruesa y la fracción de finos, en este caso arenas bien gradadas con limos y arcillas, respectivamente; y por último el suelo con estabilidad regular, no siendo apto particularmente para recubrimiento, pero pudiéndose utilizar en núcleos impermeables y, su permeabilidad bajo compactación es de baja a media.

De acuerdo a Abad y Zambrano (2019) en su investigación considera que, los suelos con denominación SM, con una densidad de 1.6 g/cc compactado a una humedad óptima de 17%, logra un coeficiente de hidráulico de $1 \cdot 10^{-7}$ cm/s, lo que asegura tener buenas características para ser utilizado en obras como la construcción de presas. Con lo mencionado se comprende que el suelo P8, con simbología SM y, densidad máxima seca de 1,6 g/cc compactada a una humedad óptima de 22% tiene una permeabilidad muy baja, debido a su coeficiente hidráulico de $3.6 \cdot 10^{-7}$ cm/s. No obstante, las muestras P1, P5, P7, P9 y P10, con clasificación SC, también presentan similares características. Como asegura Aguilar (2006), las características óptimas de suelos para ser utilizados en la construcción de reservorios deben cumplir con ciertas especificaciones para el correcto funcionamiento, en la que destacan la permeabilidad, con el fin de evitar que su estabilidad se vea afectada. Los suelos con denominación SM tiene un grado de permeabilidad bajo y buena trabajabilidad como material de terraplén, mientras que, aquellos con denominación SC son considerados impermeables con regular trabajabilidad como material de terraplén.

En la investigación realizada por Chamba et al., (2019) uno de los suelos analizados presenta características precisas para ser utilizado como material en la construcción de embalses, siendo este limo arcilloso con presencia del mineral arcilloso montmorillonita, debido a su actividad de 1,5 y, con coeficiente de permeabilidad de $6.9 \cdot 10^{-6}$ y $9.72 \cdot 10^{-7}$ cm/s

determinado con densidades de 1,34 y 1,52 g/cc, y a un espesor de 10 y 20 cm, respectivamente. Estas características definen al suelo como adecuado, con permeabilidad muy lenta y mínima pérdida de agua por filtraciones. Con relación a lo anterior, los suelos estudiados presentan similares coeficientes de permeabilidad e incluso algunos menores a lo mencionado, entre $1.81 \cdot 10^{-6}$ a $9.3 \cdot 10^{-8}$ cm/s, esto luego ser compactadas hasta su densidad máxima, mismas que están entre 1.53 a 1.83 g/cc.

8. Conclusiones

- De acuerdo a la distribución de tamaño de partículas, los suelos son considerados como arenas finas con mezclas de finos, por su gran porcentaje de arenas y su regular cantidad de limos y arcillas, siendo estos últimos minerales de tipo caolinita.
- Los suelos presentan una consistencia variada en consecuencia a los Límites de Atterberg, se tiene suelos con baja y alta plasticidad; producto del nivel de cohesión de las partículas finas, como los limos y los minerales arcillosos presentes, en este caso caolinitas, determinadas por la actividad, entre el índice de plasticidad y el porcentaje de arcillas. A demás, por medio de la contracción de los suelos se conoce que estos tienen un cambio volumétrico bajo.
- Los suelos de estudio clasificados por SUCS de acuerdo a sus características corresponden a arenas con arcillas SC, para las muestras P1, P5, P7, P9 y P10; a arenas bien gradadas con arcillas de baja plasticidad SW-SC para las muestras P2 y P6; a arenas bien gradadas con limos de baja plasticidad SW-SM para las muestras P3 y P4; y a arenas con limos de baja plasticidad SM para la muestra P8.
- De acuerdo al sistema AASHTO con respecto a las características de los suelos corresponden a arenas con limos y arcillas, con características buenas como subrasante, A-2-6 para las muestras P1, P5, P6, P9 y P10, clasificándose como arenas arcillosas; A-2-7 para las muestras P2, P7 y P8, clasificándose como arenas arcillosas; y A-2-4 para las muestras P3 y P4, clasificándose como arenas limosas.
- Respecto a la permeabilidad, los suelos al ser compactados favorecen a la reducción de vacíos, aumenta la densidad y, en consecuencia, se tiene un suelo muy estable, con baja permeabilidad, mismos que presentan coeficientes hidráulicos entre $1.81 \cdot 10^{-6}$ a $9.3 \cdot 10^{-8}$ cm/s, la infiltración casi nula, siendo ideal como material en la construcción de embalses, precisamente como base.
- Teniendo en cuenta que el fin de uso de los suelos es como material impermeabilizante para la construcción de reservorios se logra identificar que los suelos con mejores condiciones son P4, P7 y P9, por su baja conductividad hidráulica como resultado de la compactación.

9. Recomendaciones

- Se sugiere coordinar de manera conjunta con el director del trabajo de integración curricular la planificación de actividades a realizarse tanto en campo como en laboratorio, destacando la elaboración de un cronograma detallado y una comunicación regular, con el fin de optimizar el uso del tiempo y recursos disponibles.
- Es recomendable acordar con el responsable de laboratorio los días disponibles para utilización de los equipos y materiales necesarios para los ensayos físicos y mecánicos del suelo, asegurando así una ejecución sin interrupciones y la fiabilidad de los resultados.
- Con base a la identificación de los suelos con mejores características, se promueve la implementación práctica de estos en la construcción de un reservorio de agua con el objetivo de evaluar su funcionamiento.

10. Bibliografía

- AASHTO. (2008). Standard specification for classification of soils and soil-aggregate mixtures for highway construction purposes. *AASHTO*, 1–9. <https://dokumen.tips/download/link/aashto-m-145-91-2008>
- Abad, N., & Zambrano, C. (2019). *Estudios y diseños de reservorios de aguas lluvias para favorecer el desarrollo del Recinto Mero-Secco*. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/51421/1/T-70536%20Abad-Zambrano.pdf>
- Aguilar, K., & Mendoza, S. (2019). *Determinación del límite de contracción en arcillas inorgánicas utilizando métodos alternativos para estimar el volumen seco y húmedo*. <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/8613/39432.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Aguilar, W. (2006). *Análisis técnico-económico comparativo entre dique construido en material granular compactado y dique en gaviones en el embalse del proyecto hidroeléctrico Cariblanco*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- ASTM. (2000). *Standard test method for permeability of granular soils*. 1–5. <https://civillabs.kashanu.ac.ir/file/download/page/1506248775-d-2434-68-r00-rdi0mzq-.pdf>
- ASTM. (2005). *Limites consistencia*. www.civilgeeks.com
- ASTM. (2006). *Determinación de los factores de contracción de los suelos*. Universidad Nacional de Ingeniería-Perú. <https://docplayer.es/65279604-Determinacion-de-los-factores-de-contraccion-de-los-suelos-astm-d-427-aashto-t-92-j-e-bowles-experimento-no-4-mtc-e.html>
- ASTM. (2007a). *Método de ensayo estándar para el análisis granulométrico*. <https://pdfcoffee.com/astm-d422-07-analisis-granulometrico-5-pdf-free.html>
- ASTM. (2007b). Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using standard effort (12 400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m³)). *ASTM*, 1–13. <https://www.resolutionmineeis.us/sites/default/files/references/astm-D698.pdf>
- ASTM. (2011). *Práctica Estándar para la Clasificación de suelos para propósitos de ingeniería (Sistema de Clasificación Unificada de Suelos)*. *ASTM*, 1–21. <https://doi.org/10.1520/D2487--11>
- ASTM. (2019). Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass. *ASTM*, 1–7. <https://doi.org/10.1520/D2216-19>

- Bartolomé, J. (1997). *El Caolín: composición, estructura, génesis y aplicaciones*.
<http://boletines.secv.es/upload/111222333.199736007.pdf>
- Basán, M., & Sánchez, L. (2016). *Agua: construir represas para asegurar su abastecimiento*.
 24–25. <https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/15765>
- Buitrón, S., & Enríquez, A. (2018). *Estudio de la estabilización de arcillas expansivas de Manabí con ceniza del volcán Tungurahua*.
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19654/1/CD-9058.pdf>
- Cáceres, V. I., Chaparro, A. L., & Sánchez, J. (2021). *Caracterización de materiales arcillosos y su potencial aplicación en la industria cerámica*. Universidad de Pamplona.
https://repositorio.ufps.edu.co/bitstream/handle/ufps/6398/libro_car_materialesarcillosos.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Calderón, J. C. (2021). *La “Tierra”: Un material compuesto*. 1–19.
- Calva, A. de los Á. (2015). “*Determinación de la resistencia a la compresión y la durabilidad del adobe prensado a máquina para la construcción de infraestructura agropecuaria rural en la Parroquia Chuquiribamba*.” 134.
- Ceramica y Cristal. (2006). *Arcillas*. www.ceramicaycristal.com.ar
- Chacón, J., Hamdouni, R., Irigaray, C., & Lamas, F. (2004). *Mecánica de suelos y rocas: Prácticas y ensayos*. <https://www.researchgate.net/publication/258857638>
- Chamba, M., Bailon, E., Calva, D., Chamba, M., & Vásquez, E. (2019). Caracterizaciones físico-mecánicas de las arcillas de Loja y Azuay con fines de impermeabilización de reservorios. In *Bosques Latitud Cero* (Vol. 9, Issue 2).
<https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/688>
- Crespo, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. Limusa.
<https://stehven.files.wordpress.com/2015/06/mecanica-desuelos-y-cimentaciones-crespo-villalaz.pdf>
- Cuadrado, L. M. (1980). *Estudio del suelo*. 1–39.
<https://digital.csic.es/bitstream/10261/23336/1/TEMASMONOGRAFICOS1.pdf>
- Cuevas, J., Aranda, P., Aróstegui, J., López, A., Nieto, F., Pozo, M., Ruiz, E., & Suarez, M. (2022). *Las arcillas en la sociedad: Reconstruyendo el pasado y modelando el futuro*. *La Sociedad Española de Arcillas (SEA)*. 1–9. <http://www.encuentros-multidisciplinares.org/revista-71/j-cuevas-y-otros.pdf>
- Cullquipuma, E., & Maldonado, W. (2014). *Estudio del procedimiento de compactación a aplicar en la construcción de las presas del proyecto Pacalori*.
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/19880>

- Das, B. M. (2016). *Fundamentos de ingeniería geotécnica* (4th ed.). CENGAGE Learning. <https://www.geologiaviva.info/wp-content/uploads/2022/01/fundamentos-de-ingenieria-geotecnica-BMD.pdf>
- Díaz, L., & Torrecillas, R. (2002). *Arcillas cerámicas: una revisión de sus distintos tipos, significados y aplicaciones*. <https://digital.csic.es/bitstream/10261/4676/1/arcillas.pdf>
- Estrada, D. de la P. (1997). *Adobe, características y sus principales usos en la construcción* [Instituto Tecnológico de la Construcción]. https://infontavit.janium.net/janium/TESIS/Licenciatura/De_la_Pena_Estrada_Diego_44659.pdf
- FAO. (2003). *Permeabilidad del suelo*. FAO. https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm
- FAO. (2009). *Guía para la descripción de suelos*. <https://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf>
- Fenucci, J. (1988). Manual para la cría de camarones peneidos. In FAO. <https://www.fao.org/3/AB466S/AB466S00.htm#TOC>
- Fernandez, J., & Holguino, L. (2021). *Impermeabilización de suelo de subrasante de la calle Alto Qosqo adicionando grasa porcina proveniente de desechos alimentarios, Cusco, 2021*. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/83877/Fernandez_GJ-Holguino_RLE-SD.pdf;jsessionid=F31593F0CC8C40CE89F14BF5B851D467?sequence=1
- Garay, R., & Mena, M. (2007). *Clasificación de arcillas presentes en los bancos de Guatajiagua, departamento de Morazán, y Facultad Multidisciplinaria Oriental*. https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2113/1/Clasificaci%C3%B3n_de_arcillas_presentes_en_los_bancos_de_Guatajiagua%2C_departamento_de_Moraz%C3%A1n%2C_y_Facultad_Multidisciplinaria_Oriental.pdf
- García, E., & Suárez, M. (2008). *Las arcillas: Propiedades y usos*. http://nutritime.com.br/arquivos_internos/artigosBK/Arcillas_%20propiedades%20y%20usos.pdf
- García, R., Flórez, E., & Medina, Y. (2018). Caracterización física de las arcillas utilizadas en la fabricación de productos de mampostería para la construcción en Ocaña Norte de Santander. *Espacios*, 39(53).
- González, L. (2020). *Estudio de propiedades físico-mecánicas de arcillas existentes en el cantón Gonzanamá como material impermeabilizante en pequeños embalses de uso*

agrícola.

<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/23449/1/Leonso%20Ismael%20Gonzalez%20Gonzalez%20%281%29.pdf>

INIA. (2015). *Semana de la ciencia y tecnología. Jornada de puertas abiertas.* <http://inia.uy/Documentos/P%C3%BAblicos/INIA%20Tacuaremb%C3%B3/2015/EI%20Suelo%2020%20de%20mayo.pdf>

Jara, H. (2018). *Caracterización de las propiedades fisicoquímicas de minerales arcillosos de la provincia de Chimborazo y propuesta de potenciales aplicaciones industriales.* <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/8636/1/96T00438.pdf>

Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo.* <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/70085/70060838.2002.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Juárez, E., & Rico, A. (2005). *Mecánica de suelos.* <https://veteranos1927.files.wordpress.com/2014/05/mecanica-de-suelos-tomo-1-juarez-badillo.pdf>

Junco del Pino, J., & Tejeda, E. (2013). Consideraciones acerca de la actividad de las arcillas en la estabilización de suelos con sales cuaternarias de amonio. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 7, 1–13. <https://www.redalyc.org/pdf/1939/193930080004.pdf>

Sarango, M. (2011). *Estudio de la densificación de una colección de arcillas ecuatorianas en función del tamaño de partícula y de la temperatura de sinterización.* <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/3771/1/CD-3552.pdf>

Toirac, J. (2008). *El suelo-cemento como material de construcción.* 33(4), 1–53. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87012672003>

Universidad Nacional De La Plata. (2022). *El suelo: Un universo invisible.* <https://unlp.edu.ar/wp-content/uploads/98/27598/3f23fc987dbbeda82587753c9796000a.pdf>

Velasquez, J. (2003). *El Suelo.* https://www.psi.gob.pe/wp-content/uploads/2016/03/biblioteca_boletines_el_suelo.pdf

Zea, N. L. (2005). *Caracterización de las arcillas para la fabricación de ladrillos artesanales.* 1–165. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2549_C.pdf

11. Anexos

Anexo 1 Reconocimiento de campo y de puntos de muestreo.



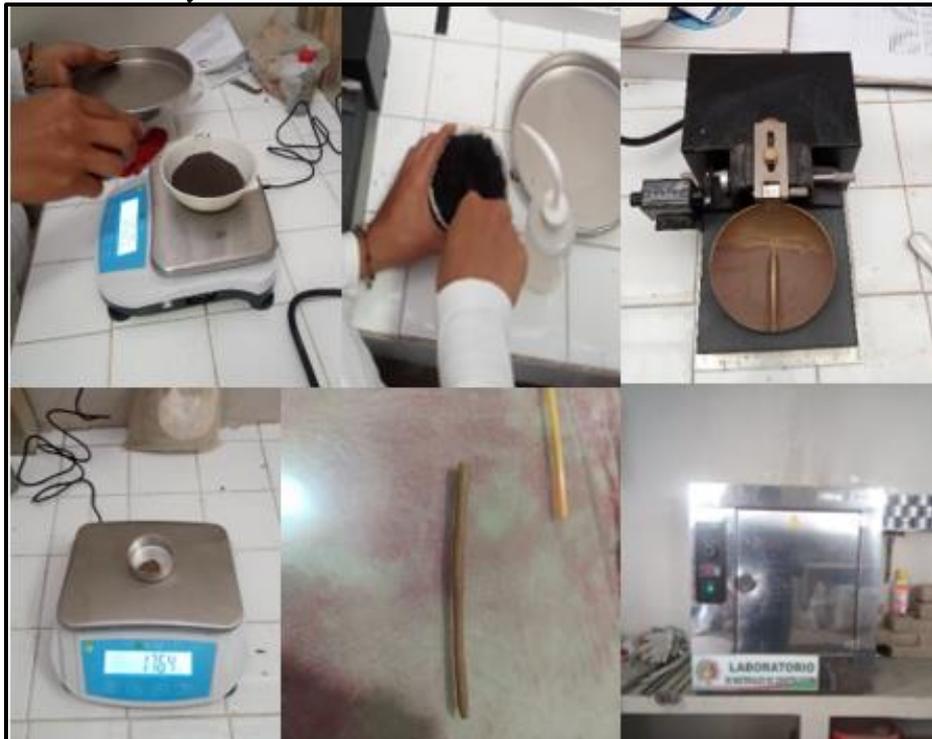
Anexo 2 Muestreo y preparación de suelo.



Anexo 3 Ensayos de análisis granulométrico



Anexo 4 Ensayo de límites de consistencia.



Anexo 5 Ensayo de compactación con Proctor Estándar.



Anexo 6 Ensayo de Limite de Contracción.



Anexo 7 Ensayo de permeabilidad del suelo.



Anexo 8 Formato para determinar el contenido de humedad de suelos.

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS SUELOS ASTM D 2216 98			
Nombre:	Renzo Rodrigo Nagua Medina	Fecha:	
Muestra de:	Quinta Experimental Punzara	Nº:	P1
Muestra N°	P1		
Recipiente N°			
peso del recipiente	g		
Peso del recip. + S. Humedo	g		
Peso del recip. + S. Seco	g		
Peso del agua	g		
Peso del S. Seco	g		
Contenido de humedad	%		
Promedio	%		

Anexo 9 Formato para ensayo de granulometría.

GRANULOMETRIA POR TAMIZADO DE LOS SUELOS D 422				ASTM
Nombre:	Renzo Rodrigo Nagua Medina	Fecha:		
Muestra de:	Quinta Experimental Punzara	Nº:	P1	

Tamiz	Abertura (mm)	W. retenido (g)	% retenido	% que pasa
3/8"	9.520			
4	4.730			
10	2.000			
20	0.850			
40	0.425			
60	0.250			
100	0.148			
200	0.075			
Fondo				
Σ		0		

% gravas	
% arenas	
% finos	

CURVA GRANULOMETRICA

D60 (mm)		Cu	
D30 (mm)		Cc	
D10 (mm)			

Anexo 10 Formato de granulometría por hidrómetro.

DETERMINACION DE FINOS POR HIDROMETRO ASTM D422-63									
Nombre:	Renzo Rodrigo Nagua Medina	Fecha:							
Muestra de:	Quinta Experimental Punzara	Nº:	P1						

DATOS GENERALES		DATOS	
Lugar:	QUINTA EXPERIMENTAL PUNZARA UNL	1	Lectura corregida (Rc)= lectura real+valores de corrección por temperatura-calibración por ceros
Muestra:	P1	2	Lectura corregida por menisco R =lectura corregida +factor por menisco
Gs:	2.65	6	Altura de caída H=15.5-0.16*lectura corregida por menisco R
Factor a:	1	7	Velocidad de caída cm/s = Altura de caída H / (60*TIEMPO (min))
Factor por menisco:	1	8	% que pasa=((Lectura corregida (Rc)*Factor a)/Peso del suelo seco)*100
Peso del suelo seco:	50 g	REVISAR SOLO LAS HOJAS QUE ESTAN CON ESTE COLOR	
Actividad:			

REPETICIÓN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
TIEMPO	TIEMPO (min)	LECTURA REAL (Ra) ->	T (°C)	CALIBRACION POR	VALORES DE CORRECCIÓN	Lectura corregida	Lectura corregida por	Long. efectiva	K (tabla)	D (mm)	Altura de caída H	Velocidad de caída cm/s	% que pasa	% Retenido	Tipo de partícula	% Limo	% Arcilla
0 min	0																
2 min	2																
5 min	5																
15 min	15															0.00	
30 min	30																
60 min	60																
250 min	250																0.00
24 Horas	1440																0.00

Anexo 11 Formato para ensayo de Limites de Atterberg

DETERMINACION DE LIMITES ATTERBERG ASTM D4318			
Nombre:	Renzo Rodrigo Nagua Medina	Fecha:	
Muestra de:	Quinta Experimental Punzara	Nº:	P1
LÍMITE LÍQUIDO			
Nº DE GOLPES			
Nº de TARA			
PESO DE TARA (gr)			
PESO DE SUELO HÚMEDO + TARA (gr)			
PESO DE SUELO SECO + TARA (gr)			
PESO DE SUELO SECO (gr)			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)			
PROMEDIO			
LÍMITE PLÁSTICO			
Nº de TARA			
PESO DE TARA (gr)			
PESO DE SUELO HÚMEDO + TARA (gr)			
PESO DE SUELO SECO + TARA (gr)			
PESO DE SUELO SECO (gr)			
PESO DE AGUA (gr)			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)			
PROMEDIO			
LL			
LP			
IP			
CLASIFICACION:			

LÍMITE LÍQUIDO

Carta de plasticidad

Anexo 12 Formato para ensayo de compactación con Proctor Estándar.

Ensayo	N°	1	2	3	4	5
ENSAYO DE COMPACTACION - CONTENIDO DE HUMEDAD						
ASTM D698						
ENSAYO DE COMPACTACION						
Proyecto:	TIC	Trabajo: Suelos de la Quinta Experimental Punzara-UNL				
Localización del Proyecto:		Muestra N° P1				
Profundidad de la Muestra:		Realizada por: Renzo Nagua				
PESO ESPECIFICO						
Peso de muestra húmeda + molde	Grs.					
Peso del molde	Grs.					
Peso de la muestra húmeda	Grs.					
Volumen del molde	c.c.					
Densidad húmeda	Gr/c.c.					
CONTENIDO DE HUMEDAD						
Tara	N°					
Peso muestra húmeda + tara	Grs.					
Peso muestra seca + tara	Grs.					
Peso del agua	Grs.					
Peso de la tara	Grs.					
Peso de la muestra seca	Grs.					
Contenido de humedad	%					
PESO ESPECIFICO SECO						
Densidad seca	Gr/c.c.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

RELACION HUMEDAD-DENSIDAD

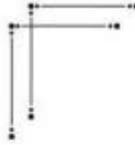
OBSERVACIONES: TERRENO NATURAL

Densidad máxima = gr/cc
 Humedad óptima = %

Anexo 15 Ensayo de Capacidad de Intercambio Catiónico.

		ACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLE					
UNL		LABORATORIO DE SUELOS, AGUAS Y BROMATOLOGÍA					
QUINTA EXPERIMENTAL PUNZARA							
Nombre: Renzo Rodrigo Nagua Medina							
DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO							
FECHA	CÓD. LABORATORIO	CÓDIGO CAMPO	GASTO NaOH (MUESTRA)	GASTO NaOH (BLANCO)	CIC (meq/100gsuelo)	CIC (meq/100gsuelo)	Interpretacion
29/3/2023	1.1	P1	11.4	1.6	19.6	20	ILLITA
29/3/2023	1.2		12.15		21.1		
29/3/2023	2.1	P2	14.9		26.6	27	ILLITA
29/3/2023	2.2		15.55		27.9		
29/3/2023	3.1	P3	11.1		19.0	19	ILLITA
29/3/2023	3.2		11.25		19.3		
29/3/2023	4.1	P4	8.55		13.9	14	CAOLINITA
29/3/2023	4.2		8.2		13.2		
29/3/2023	5.1	P5	8.35		13.5	14	CAOLINITA
29/3/2023	5.2		8.35		13.5		
29/3/2023	6.1	P6	10		16.8	17	ILLITA
29/3/2023	6.2		10.55		17.9		
29/3/2023	7.1	P7	8.95		14.7	15	CAOLINITA
29/3/2023	7.2		9.3		15.4		
31/3/2023	8.1	P8	11.3	1.6	19.4	19	ILLITA
31/3/2023	8.2		10.95		18.7		
31/3/2023	9.1	P9	9.15		15.1	15	CAOLINITA
31/3/2023	9.2		8.65		14.1		
31/3/2023	10.1	P10	8.85		14.5	16	ILLITA
31/3/2023	10.2		9.85		16.5		

Anexo 16 Certificado de traducción.



unl Universidad Nacional de Loja

Loja, 07 de abril de 2024

Lic. Marlon Armijos Ramírez Mgs.
DOCENTE DE PEDAGOGIA DE LOS IDIOMAS NACIONALES Y EXTRANJEROS – UNL

CERTIFICA:

Que el documento aquí compuesto es fiel traducción del idioma español al idioma inglés del resumen del Trabajo de Integración Curricular: **Caracterización de suelos en la Quinta Experimental Punzara de la Universidad Nacional de Loja, para su posible uso como material de impermeabilización de reservorios**, autoría de **Renzo Rodrigo Nagua Medina** con CI: 0707028320 de la Carrera Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional de Loja.

Lo certifica en honor a la verdad y autorizo a la parte interesada hacer uso del presente en lo que a sus intereses convenga.

Atentamente,



MARLON ARMIJOS RAMÍREZ
DOCENTE DE LA CARRERA PINE-UNL
1031-12-1131340
1031-2017-1905329

Educamos para Transformar

