



unl

Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agrícola

Caracterización de los Suelos Arcillosos existentes en el sector Rural del
Noroccidente del Cantón Loja

Trabajo de Integración Curricular
previo a la obtención del Título
de Ingeniero Agrícola

AUTOR:

Juan Carlos Cabrera Piedra

DIRECTOR:

Ing. Dans Ernesto Vilela Mora, Mg. Sc.

Loja - Ecuador

2024

Educamos para Transformar

Certificación

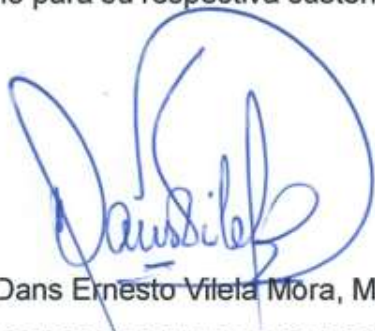
Loja 23 de agosto de 2022

Ing. Dans Ernesto Vilela Mora, Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR

CERTIFICO

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Caracterización de los Suelos Arcillosos existentes en el sector Rural del Noroccidente del Cantón Loja**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Agrícola**, de la autoría del estudiante **Juan Carlos Cabrera Piedra**, con **cédula de identidad Nro. 1150335139**, un vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Ing. Dans Ernesto Vilela Mora, Mg.Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

Yo, **Juan Carlos Cabrera Piedra**, declaro ser el autor del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo 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: 1150335139

Fecha: 8 de marzo del 2024

Correo electrónico: juan.c.cabrera@unl.edu.ec

Teléfono: 0967900530

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

Yo, **Juan Carlos Cabrera Piedra**, declaro ser el autor del presente Trabajo de Integración Curricular denominado: **Caracterización de los Suelos Arcillosos existentes en el sector Rural del Noroccidente del Cantón Loja**, como requisito para optar por 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 Digital 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 marzo de dos mil veinticuatro

Firma:



Autor: Juan Carlos Cabrera Piedra

Cédula: 1150335139

Dirección: San Isidro, Loja Ecuador

Correo electrónico: juan.c.cabrera@unl.edu.ec

Teléfono: 0967900530

DATOS COMPLEMENTARIOS

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

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo a mis padres Guilman Cabrera y Elsa Piedra, por el amor y apoyo incondicional que me han brindado, por haber formado de mí una persona de bien para la sociedad. A mis hermanos por estar siempre conmigo en los buenos y malos momentos

Juan Carlos Cabrera Piedra

Agradecimiento

Con el más sincero respeto y consideración dejo la constancia de mi gratitud a la Universidad Nacional de Loja, a la Facultad Agropecuaria de Recursos Naturales Renovables.

A mi director Ing. Dans Ernesto Vilela Mora, por la oportunidad de realizar este Trabajo de Integración Curricular bajo su tutela, su continuo apoyo, orientación y confianza brindada.

A todos los docentes que conforman la Carrera de Ingeniería Agrícola, quienes contribuyeron a mi formación académica.

A la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT).

A mi familia, amigos, por su apoyo, amistad y confianza a lo largo de mi carrera universitaria.

Juan Carlos Cabrera Piedra

Índice de Contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de Contenidos	vii
Índice de Tablas	x
Índice de Figuras	xi
Índice de Anexos	xii
1. Título	1
2. Resumen	2
Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	6
4.1. Mecánica de suelos	6
4.2. Suelo	6
4.3. Fases de un suelo.....	6
4.4. Arcilla	6
4.4.1. <i>Caolinita</i>	7
4.4.2. <i>Illita</i>	7
4.4.3. <i>Montmorillonita</i>	7
4.4.4. <i>Vermiculita</i>	7
4.5. Propiedades de las arcillas	8
4.5.1. <i>Cohesión</i>	8
4.5.2. <i>Plasticidad</i>	8
4.5.3. <i>Compresibilidad</i>	9
4.5.4. <i>Superficie específica</i>	9
4.5.5. <i>Capacidad de absorción</i>	9
4.5.6. <i>Actividad de la arcilla</i>	10

4.6. Determinación de propiedades físico mecánicas del suelo	10
4.6.1. <i>Análisis granulométrico</i>	10
4.6.2. <i>Plasticidad del suelo</i>	12
4.7. Clasificación de suelos.....	12
4.7.1. <i>Sistema de clasificación AASHTO</i>	13
4.7.2. <i>Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS</i>	15
4.8. American Society for Testing and Materials ASTM	18
5. Metodología	19
5.1. Ubicación del área de estudio	19
5.1.1. <i>Ubicación política</i>	19
5.1.2. <i>Ubicación geográfica</i>	19
5.2. Materiales y Equipos.....	19
5.3. Muestra.....	20
5.4. Trabajo de campo	21
5.5. Preparación de las muestras	21
5.6. Metodología para el primer objetivo	21
5.7. Metodología para el segundo objetivo.....	22
5.8. Metodología para el tercer objetivo	22
6. Resultados	24
6.1. Resultados del primer objetivo	24
6.1.1. <i>Contenido de humedad natural.</i>	24
6.1.2. <i>Análisis del tamaño de las partículas.</i>	24
6.1.3. <i>Límites de Atterberg.</i>	25
6.1.4. <i>Características de compactación del suelo.</i>	25
6.1.5. <i>Actividad de la arcilla.</i>	26
6.2. Resultados del segundo objetivo	26
6.3. Resultados del tercer objetivo	30
7. Discusión	32
8. Conclusiones	35
9. Recomendaciones	36
10. Bibliografía	37

11. Anexos.....	41
------------------------	-----------

Índice de Tablas

Tabla 1. <i>Actividad de las arcillas.</i>	10
Tabla 2. <i>Serie de tamices empleados para el análisis granulométrico ASTM D-422.</i>	11
Tabla 3. <i>Grado de plasticidad de los suelos.</i>	12
Tabla 4. <i>Clasificación de materiales de subrasantes de carreteras.</i>	14
Tabla 5. <i>Sistema Unificado de Clasificación para suelos de grano grueso.</i>	17
Tabla 6. <i>Sistema Unificado de Clasificación para suelos de grano fino y orgánicos.</i>	17
Tabla 7. <i>Ubicación los lugares de muestreo.</i>	20
Tabla 8. <i>Aptitud de los suelos como material para la construcción de reservorios con revestimiento de arcilla.</i>	22
Tabla 9. <i>Representación de los resultados de Contenido de Humedad de campo.</i>	24
Tabla 10. <i>Representación de los resultados del tamaño de las partículas del suelo.</i>	25
Tabla 11. <i>Representación de resultados de Consistencia del Suelo.</i>	25
Tabla 12. <i>Representación de resultados a partir de la curva de compactación.</i>	26
Tabla 13. <i>Actividad y tipo de arcilla.</i>	26
Tabla 14. <i>Clasificación de los suelos de acuerdo con la normativa AASHTO y SUCS.</i>	28
Tabla 15. <i>Banco de datos de arcillas con potencial de impermeabilizar reservorios.</i>	31

Índice de Figuras

Figura 1. Estructura de los principales grupos de arcillas.	8
Figura 2. Curva de distribución granulométrica de un suelo.	11
Figura 3. Carta de plasticidad según AASHTO.....	15
Figura 4. Carta de plasticidad según SUCS.	16
Figura 5. Mapa de ubicación del área de estudio.	19

Índice de Anexos

Anexo 1. Muestreo y preparación del suelo.....	41
Anexo 2. Ensayo de contenido de humedad.....	41
Anexo 3. Ensayos de granulometría.....	41
Anexo 4. Ensayo de Límites de Atterberg.....	42
Anexo 5. Ensayo de Compactación.....	42
Anexo 6. Formato de Granulometría.....	44
Anexo 7. Formato para ensayo de Límites de Atterberg.....	45
Anexo 8. Formato para ensayo de Próctor.....	46
Anexo 9. Certificado de Traducción.....	47

1. Título

Caracterización de los Suelos Arcillosos existentes en el sector Rural del Noroccidente del cantón Loja.

2. Resumen

Con el objetivo de conocer las características de los suelos del noroccidente del cantón Loja, el presente Trabajo de Integración Curricular se planteó, conformar un banco de datos de arcillas con potencial para ser utilizado como material impermeabilizante en reservorios, para esto se realizó una caracterización de los suelos de Chuquiribamba, Taquil, Chantaco y Gualiel, mediante ensayos de laboratorio de acuerdo con la normativa ASTM, para su posterior clasificación con las normas SUCS y AASHTO, también se elaboró un banco de datos de acuerdo con la idoneidad de cada uno de los suelos estudiados. La metodología aplicada se respaldó en la estricta aplicación de la normativa ASTM para cada uno de los ensayos requeridos para la caracterización de las 12 muestras de suelo estudiadas, luego se procedió a clasificar cada uno de los suelos de acuerdo con la normativa SUCS y AASHTO y finalmente se elaboró el banco de datos con los resultados obtenidos a partir de los diferentes ensayos de laboratorio ejecutados para cada uno de los suelos, por medio de lo cual se pudo conocer limos arenosos de alta, mediana y baja plasticidad, en los lugares de Chantaco Alto, Romero, Palta, Guailas, San Sigre, Arcillas limo arenosas de baja plasticidad en el sector de Tesalia Alto, Limo orgánico de baja plasticidad en el sector de San Antonio, suelos arenosos no plásticos en los sectores de Guailas Grande y Cerro Santo Domingo y en los sectores de Llunlla, Gonzabal y Cahuachi son arcillas de alta plasticidad, están conformadas mayormente por arcilla de tipo montmorillonita, estos tres últimos son los suelos recomendados para ser utilizados como material de impermeabilización de reservorios.

Palabras claves: Caracterización, idoneidad.

Abstract

With the objective of knowing the characteristics of the soils of the northwest of Loja canton, this Curricular Integration Work was proposed to form a data bank of clays with potential to be used as waterproofing material in reservoirs, For this purpose, a characterization of the soils of Chuquiribamba, Taquil, Chantaco and Gualel was carried out through laboratory tests according to ASTM standards, for their subsequent classification with SUCS and AASHTO standards. A data bank was also prepared according to the suitability of each of the soils studied. The methodology applied was based on the strict application of ASTM standards for each of the tests required for the characterization of the 12 soil samples studied, then proceeded to classify each of the soils according to SUCS and AASHTO standards and finally the data bank was prepared with the results obtained from the various laboratory tests performed for each of the soils, through which it was possible to know sandy silts of high, medium and low plasticity, in the areas of Chantaco Alto, Romero, Palta, Guailas, San Sigre, low plasticity sandy silt clays in the sector of Tesalia Alto, low plasticity organic silt in the sector of San Antonio, non-plastic sandy soils in the sectors of Guailas Grande and Cerro Santo Domingo and in the sectors of Llunlla, Gonzabal and Cahuachi are high plasticity clays, they are mostly made up of montmorillonite type clay, these last three are the soils recommended to be used as waterproofing material for reservoirs.

Keywords: Characterization, suitability.

3. Introducción

La arcilla es un material de construcción ampliamente utilizado en todo el mundo debido a su disponibilidad, bajo costo y facilidad de procesamiento. Es un material natural que ha sido utilizado por la humanidad desde tiempos inmemoriales y ha sido fundamental en la construcción de viviendas y estructuras en todo el mundo (Romero & Barrios, 2006).

La arcilla se compone principalmente de minerales de silicato y aluminio, se encuentra en abundancia en todo el mundo. Además, la arcilla es fácil de trabajar y moldear, lo que la hace ideal para la construcción de estructuras diversas. A nivel mundial, la arcilla se ha utilizado para construir viviendas, edificios comerciales, monumentos y otros tipos de estructuras (García & Suárez, 2001).

En Ecuador, la arcilla ha sido utilizada en la construcción de viviendas durante siglos, especialmente en la región andina, donde se encuentra en abundancia. La arcilla se utiliza para construir paredes, pisos, techos y otras partes de las estructuras (Uribe et al., 2019).

Según Bailón Abad et al. (2019) en la provincia de Loja, por ejemplo, la arcilla es un material de construcción muy común, utilizado en la construcción de viviendas y edificios tanto públicos como comerciales. A pesar de los muchos beneficios de la arcilla como material de construcción, también presenta algunos desafíos. Por ejemplo, la arcilla puede ser vulnerable a la erosión y la deformación, lo que puede afectar la integridad de las estructuras construidas con este material. Por lo tanto, es importante utilizar técnicas de construcción adecuadas y mantener las estructuras adecuadamente para garantizar su durabilidad.

En resumen, la arcilla es un material de construcción valioso y versátil que se ha utilizado durante siglos en todo el mundo. En Ecuador, la arcilla es un material de construcción muy común, especialmente en la región andina y la provincia de Loja. Sin embargo, es importante tener en cuenta las limitaciones y desafíos de este material y utilizar técnicas de construcción adecuadas para garantizar su durabilidad y seguridad. El presente Trabajo de Integración Curricular tiene como objetivo explorar la utilización de la arcilla como material de construcción en Ecuador, con un enfoque especial en la provincia de Loja, y proponer estrategias para mejorar su uso en la construcción de estructuras seguras y duraderas.

Objetivo General

Conformar un banco de datos de arcillas con potencial de uso como material impermeabilizante en reservorios de agua.

Objetivos específicos

- Analizar las propiedades físico mecánicas de las arcillas a través de ensayos de laboratorio, de acuerdo con la normativa ASTM.
- Clasificar las arcillas de acuerdo a la normativa SUCS y ASSHTO para su caracterización físico mecánica.
- Establecer un banco de datos, de acuerdo a la potencialidad de cada uno de los yacimientos de arcilla.

4. Marco teórico

4.1. Mecánica de suelos

Según Duque & Escobar (2005) definen a la mecánica de suelos como la rama de la ciencia que estudia las propiedades físicas de los suelos, el comportamiento y su utilización como material estructural, de tal manera que ofrezca seguridad, durabilidad y estabilidad. Se apoya en otras ciencias tales como la Geología, topografía e Hidrología.

A su vez, Crespo (2007) define a la mecánica de suelos como una rama de la mecánica que trata de la acción que ejercen las fuerzas sobre la masa de los suelos, en la cual se aplican leyes de mecánica a hidráulica para resolver problemas relacionados con los sedimentos y otras acumulaciones, producto de la intemperización de las rocas.

4.2. Suelo

Duque & Escobar (2005) definen al suelo como los sedimentos no consolidados de partículas sólidas, producto de la alteración de la roca madre, o por transporte de agentes como el agua, viento, hielo, con la contribución con la gravedad como fuerza direccional selectiva.

Además, se menciona que el suelo puede ser natural (in situ), como un talud, canal de tierra, o artificial (suelo con material de construcción), como un terraplén o un relleno.

4.3. Fases de un suelo

Para Chacón et al. (2004), Saéz (2010) el suelo es un material que está constituido por 3 fases:

- Fase sólida o esquelética sólida constituida por partículas orgánicas y minerales.
- Una fase líquida constituida por el agua que ocupa los espacios porosos existentes entre las partículas sólidas. Si todos los poros están llenos de agua, el suelo está saturado, caso contrario el suelo está parcialmente saturado o no está saturado.
- En un suelo no saturado los poros están ocupados por agua y aire respectivamente.

La coexistencia de estas tres fases representa grandes diferencias en el comportamiento mecánico y el manejo de un suelo.

4.4. Arcilla

De acuerdo con Crespo (2007), Zapata (2018) mencionan que se denominan arcillas a las partículas sólidas con diámetro menor de 0.005 mm y cuya masa tiene la propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua. Químicamente es un silicato de alúmina hidratado, aunque en no pocas ocasiones contienen también silicatos de hierro o magnesios hidratados, la

estructura de estos minerales es, generalmente, cristalina y sus átomos están dispuestos en planos. Duque & Escobar (2005) a su vez, manifiestan que las arcillas como tal, son grupos minerales definidos, como la caolinita, illita, montmorillonita y vermiculita, donde participan estructuras tetraédricas y octaédricas, como se observa en la Figura 1.

4.4.1. Caolinita

Son el principal grupo de arcillas que presenta baja capacidad de intercambio, 10 – 12 me (millequivalentes) por cada 100 gr de suelo, y con dos capas de cationes, las llamadas arcillas 1:1 (capa tetraédrica más capa octaédrica de alúmina hidratada). El arreglo, que se repite indefinidamente da una carga eléctrica neutra del mineral caolinita, cuya estructura no es expansiva, por no admitir agua en sus retículos. Estas arcillas son moderadamente plásticas, de mayor permeabilidad y fricción interna. Del grupo son: Halosita, Caolinita (por definición), Endellita, Dickita, Alofano, Nacrita y Anauxita (Duque & Escobar, 2005).

4.4.2. Illita

Es una arcilla 2:1, cuya capacidad de intercambio es de unos 40 me/100 gr, lo que las hace algo expansivas. Las láminas de alúmina están entre dos láminas de SiO₄, y estas se ligan por iones de potasio, que le dan cierta estabilidad al conjunto. La actividad de la Illita es 0,9, de la caolinita es de 0,38. El coeficiente de fricción interno y la permeabilidad son menores que en la caolinita y mayores que en la montmorillonita (Duque & Escobar, 2016).

4.4.3. Montmorillonita

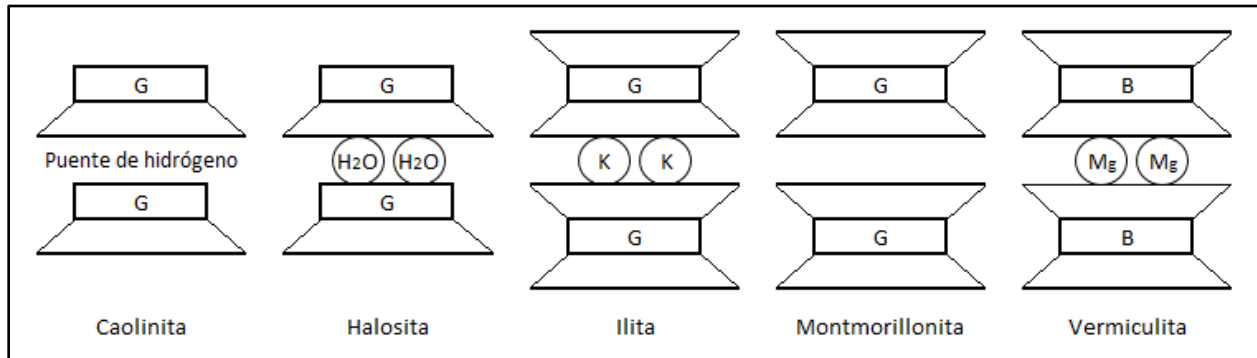
Se trata de una arcilla 2:1 cuya capacidad de intercambio es de unos 120 me/100gr, lo que las hace muy expansivas. Entre las dos láminas de sílice se encuentra una brucita o una gibsita, y este arreglo se repite indefinidamente. La unión entre minerales individuales es débil, por lo cual el agua se inserta, introduciendo n moléculas para producir el hinchamiento del suelo. Además de ser expansiva, la montmorillonita es muy plástica y se contrae al secarse, mejorando su resistencia y haciéndose impermeable. La actividad de la montmorillonita es de 7,2. Entre las montmorillonitas tenemos: La Montmorillonita (por definición), Hectorita, Saponita, Beidellita, Sauconita, Talco, Porfilita y Nontronita (Duque & Escobar, 2016).

4.4.4. Vermiculita

Está compuesta principalmente de productos de la meteorización de la biotita y la clorita. Su estructura es idéntica a la montmorillonita, solo que este grupo es el catión Mg el que proporciona los enlaces entre láminas, acompañados por algunas moléculas de agua (Duque & Escobar, 2016).

Figura 1.

Estructura de los principales grupos de arcillas.



Fuente: (Whitlow, 1994).

4.5. Propiedades de las arcillas

La determinación de estas propiedades es de gran importancia para el cálculo de la firmeza del terreno, y para apreciar el comportamiento que tendrá con el transcurrir del tiempo, las mismas se pueden determinar por medio de ensayos hechos ya sea en laboratorio o in situ.

Así mismo, las propiedades de las arcillas están determinadas por el tamaño de sus granos, es decir, arena, grava, limo y arcilla, dado a que hay un variado margen en el tamaño de las arcillas, sus propiedades también varían mucho. Muchas arcillas tienen un porcentaje elevado de partículas de forma delgada, plana y alargada, la combinación del tamaño de las partículas y su forma hace que la arcilla tenga un área superficial por unidad de volumen muy grande (Botía Díaz, 2015).

A continuación, se describen las propiedades de las arcillas:

4.5.1. Cohesión

Por la cohesión de una tierra, se expresa la capacidad de sus partículas para mantenerse unidas cuando se ejerce sobre el material una fuerza de tracción. La cohesión de una tierra depende de las características de pegarse o de cimentación de su mortero grueso (fracción de granos de diámetro menor que 2 mm) que une entre sí los granos inertes (García & Suárez, 2001).

4.5.2. Plasticidad

La arcilla es esencialmente maleable, esto significa que puede deformarse bajo cargas de compresión, dicha cualidad se debe a la estructura laminar de las partículas de la arcilla en el agua. Entre más plástica es una arcilla, podrá el material que la conforma estar en suspensión coloidal de forma muy uniforme con mayor cantidad de agua, aumentando su volumen, esta relación de capacidad de suspensión coloidal y aumento de volumen es la causa primigenia de

la plasticidad, sin embargo, si el agua es demasiada la plasticidad se pierde convirtiéndose en una materia pegajosa gracias a que las partículas de la arcilla pierden adherencia entre sí (Garay-Díaz & Mena-Gómez, 2007).

4.5.3. Compresibilidad

La compresibilidad de la tierra su aptitud a ser comprimida al máximo, por una energía de compresión, con una tasa dada de humedad (Contenido Optimo de Agua COA). Cuando un volumen de tierra se somete a presión el material se comprime y el índice de vacíos se reduce. Además, la densidad de una tierra puede ser aumentada, y se bloquea la porosidad, disminuyendo la cantidad de agua que puede penetrar. Esta propiedad resulta de la imbricación más estrecha de las partículas lo que reduce los riesgos de alteración de la estructura bajo la acción del agua (García & Suárez, 2001).

4.5.4. Superficie específica

Según Garay-Díaz & Mena-Gómez (2007) la superficie específica o área superficial de una arcilla se define como el área de la superficie externa más el área de la superficie interna (en el caso de que esta exista) de las partículas constituyentes, por unidad de masa, expresada en metros cuadrados por gramos (m^2/g). Las arcillas poseen una elevada superficie específica, muy importante para ciertos usos industriales en los que la interacción sólido-fluido depende directamente de esta propiedad. A continuación, se muestran algunos ejemplos de superficies específicas de arcillas: Caolinita de baja cristalinidad hasta $50 m^2/g$; Halloisita hasta $60 m^2/g$; Illita hasta $80 m^2/g$; Montmorillonita entre $80 - 300 m^2/g$ y Vermiculita entre $600 - 800 m^2/g$.

4.5.5. Capacidad de absorción

Algunas arcillas encuentran su principal campo de aplicación en el sector de los absorbentes ya que pueden absorber agua u otras moléculas en el espacio interlaminar (esmeclitas) o en los canales estructurales (sepiolita y paligorskita).

La capacidad de absorción está directamente relacionada con las características texturales (superficie específica y porosidad) y se puede hablar de dos tipos de procesos que difícilmente se dan de forma aislada: absorción (cuando se trata fundamentalmente de procesos físicos como la retención por capilaridad) y adsorción (cuando existe una interacción de tipo químico entre el adsorbente, en este caso la arcilla, y el líquido o gas adsorbido, denominado adsorbato). La capacidad de adsorción se expresa en porcentaje de absorción 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 (Zapata, 2018).

4.5.6. Actividad de la arcilla

Aplicada a suelos plásticos propensos a presentar cambios en su volumen ante la presencia de diferentes porcentajes de contenido de humedad. Dicho número es definido por la siguiente ecuación:

$$A = \frac{IP}{\% \text{ finos}}$$

En el cual A representa la actividad, IP corresponde al Índice de plasticidad del suelo y % finos es el porcentaje de partículas con diámetro menor a 0.002 mm.

Los altos valores de A corresponden a suelos que contienen minerales arcillosos de mayor actividad, mientras que si los valores de A son bajos corresponden a suelos de arcillas inactivas o parcialmente inactivas. En la Tabla 1 se menciona la actividad para cada una de las arcillas (Crespo, 2007).

Tabla 1.

Actividad de las arcillas.

Valor	Correspondencia
Menor a 0,5	Arcilla relativamente inactiva, tipo caolinítico
0,5 – 1	Arcilla con actividad normal, tipo illítico.
Mayor a 1	Arcillas progresivamente más activas, tipo montmorillonítico

Fuente: (Crespo, 2007).

4.6. Determinación de propiedades físico mecánicas del suelo

4.6.1. Análisis granulométrico

Para realizar una adecuada clasificación se necesitan conocer la distribución granulométrica de sus partículas, la cual varía de acuerdo con cada suelo. Para ellos es necesario realizar un análisis granulométrico de mallas o tamices

Para el análisis granulométrico por tamices es necesario contar una cantidad medida de muestra, debidamente seca y pulverizada, la cual se la pasa por una serie de tamices con aberturas que van desde el más grande al más pequeño. Se toma la cantidad de suelo retenido en cada tamiz, para posteriormente determinar el porcentaje acumulado en cada una de las mallas. En la Tabla 2 se detalla una serie de tamices estándar de acuerdo a la American Society for Testing and Materials (ASTM) (Braja & Das, 2002).

Tabla 2.

Serie de tamices empleados para el análisis granulométrico ASTM D-422.

Tamiz N°	Abertura (mm)	Tamiz N°	Abertura (mm)
3"	80	4	4.73
2 ½ "	63	10	2
2"	50.8	20	0.85
1 ½ "	38.1	40	0.425
1"	25.4	60	0.25
¾ "	19.1	100	0.148
½ "	12.7	200	0.075
3/8 "	9.52		

Fuente: (Yvan, 2016).

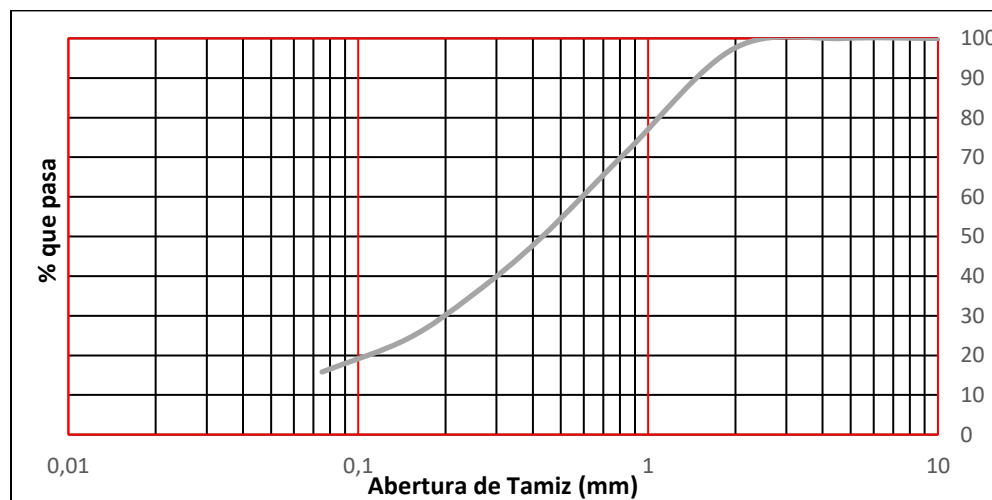
También se determina un porcentaje pasante acumulado en cada una de las mallas, la cual se la representa en un gráfico semilogarítmico ver Figura , en el eje de las abscisas se coloca el diámetro de las partículas (mm) en escala logarítmica y en las ordenadas el porcentaje pasante acumulado de cada uno de los tamices, a partir de este gráfico se determinan dos parámetros, que son: el coeficiente de uniformidad (Cu) y el coeficiente de curvatura (cc), para esto se utiliza las siguientes ecuaciones:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}; Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}}$$

Donde D10 D30 y D60 son diámetros correspondientes al porcentaje de suelo que pasa el 10, 60 y 60 % respectivamente.

Figura 2.

Curva de distribución granulométrica de un suelo.



Fuente: (Brajá, Das, 2002).

Es importante determinar cada uno de estos parámetros, ya que son necesarios para realizar la clasificación de acuerdo con el Sistema SUCS.

4.6.2. Plasticidad del suelo

Saéz (2010) define a la plasticidad como el grado de resistencia de un suelo a fluir o deformarse sin romperse. Jaramillo (2002) a su vez, menciona que esta depende única y exclusivamente del contenido de humedad del suelo. En medida que el contenido de humedad se incrementa el suelo pasa por 3 estados que son:

- Estado Líquido (no posee resistencia y se desparrama con facilidad).
- Estado Plástico (suelo estable, maleable).
- Estado Sólido (se deforma ante la aplicación de cargas).

Los contenidos de humedad asociados a cada uno de los estados antes mencionados se los conoce como:

1. Límite líquido w_L : estado entre líquido y plástico, se lo determina por medio de un aparato conocido como Casagrande.
2. Límite plástico w_P : estado entre plástico y sólido, para su determinación se debe confeccionar de manera manual un como de aproximadamente 3mm de diámetro sin que se rompa o fisure.

El índice de plasticidad es la diferencia entre el Límite Líquido y el Límite Plástico, en la Tabla 3 se presentan el grado de plasticidad de los suelos con respecto al Índice de Plasticidad.

Tabla 3. Grado de plasticidad de los suelos.

Índice de Plasticidad (IP)	Grado de Plasticidad
$0 < IP < 1$	No plástico
$1 < IP < 5$	Ligeramente plástico
$5 < IP < 10$	Baja plasticidad
$10 < IP < 20$	Mediana plasticidad
$20 < IP < 35$	Alta plasticidad
$IP > 35$	Muy alta plasticidad

Fuente: (FAO, 2013a)

4.7. Clasificación de suelos

Para Casanellas et al. (1999) los suelos con propiedades similares pueden clasificarse en grupos y subgrupos de acuerdo a su función con propósitos de ingeniería. Los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común para expresar las características de cada uno de los suelos. La mayoría de los sistemas de clasificación han sido desarrollados con propósitos de ingeniería y están basados en el tamaño de la partícula y en la plasticidad. De todos los sistemas

de clasificación que se utilizan en la actualidad, ninguno es totalmente definitivo, debido a la amplia diversidad y aplicación de los suelos.

En el campo se pueden encontrar diferentes tipos de suelos, los cuales, de acuerdo con su ubicación y profundidad a la que se formaron presentan una variedad de características. Los suelos con propiedades similares se pueden clasificar en grupos y subgrupos, de acuerdo con sus propiedades. Los sistemas de clasificación de suelos son un lenguaje común que se utiliza para describir un suelo. Los dos sistemas que más se utilizan son el American Association of State Highway Transportation Officials (AASHTO) y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), estos requieren principalmente de la distribución granulométrica y la plasticidad (Garzón-Roca et al., 2017).

4.7.1. Sistema de clasificación AASHTO

Según Loo et al. (2018) este sistema fue desarrollado en 1929 por el Public Road Administration System. Después de varias revisiones, con la presente versión propuesta por el Committee on Classification of Materials for grades and Granular Type Roads of the Highway Research Board en 1975. La clasificación AASHTO usada actualmente se la presenta en la Tabla 4 y Figura 2.

De acuerdo con este sistema, el suelo es clasificado en siete grupos principales: A-1 hasta A-7. Los suelos clasificados bajo los grupos A-1, A-2, A-3 son materiales granulares de los cuales el 35% o menos de las partículas pasan a través del tamiz N° 200. Suelos de los cuales más del 35% pasan a través del tamiz N° 200 se clasifican bajo los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. Estos suelos son en su mayoría limos y arcillas. Este sistema de clasificación se basa en los siguientes criterios:

1. Tamaño del grano
 - a. Grava: fracción que pasa el tamiz de 75 mm (3 pulg) y es retenido en el tamiz N° 10 (2mm).
 - b. Arena: fracción que pasa el tamiz N° 10 (2mm) y es retenido por el tamiz N° 200 (0.075mm).
 - c. Limo y arcilla: fracción que pasa el tamiz N° 200.

2. Plasticidad: el término limoso (silty) es aplicado cuando la fracción de finos del suelo tienen un índice de plasticidad de 10 o menor. El término arcilloso (clayey) es aplicado cuando la fracción de finos tienen un índice de plasticidad de 11 o mayor.
3. Si se encuentra cascajo (cobble) y canto rodado (boulders) (tamaño mayor a 75 mm), estos son excluidos de la porción de la muestra de suelo de la cual se realiza la clasificación. Sin embargo, el porcentaje de este material es registrado.

Tabla 4.

Clasificación de materiales de subrasantes de carreteras.

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz Nº 200)						Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz Nº 200)				
	A-1		A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Grupo:	A-1-a	A-1-b									
Porcentaje que pasa: Nº 10 (2mm) Nº 40 (0,425mm) Nº 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 Nº 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	Fracmentos 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				

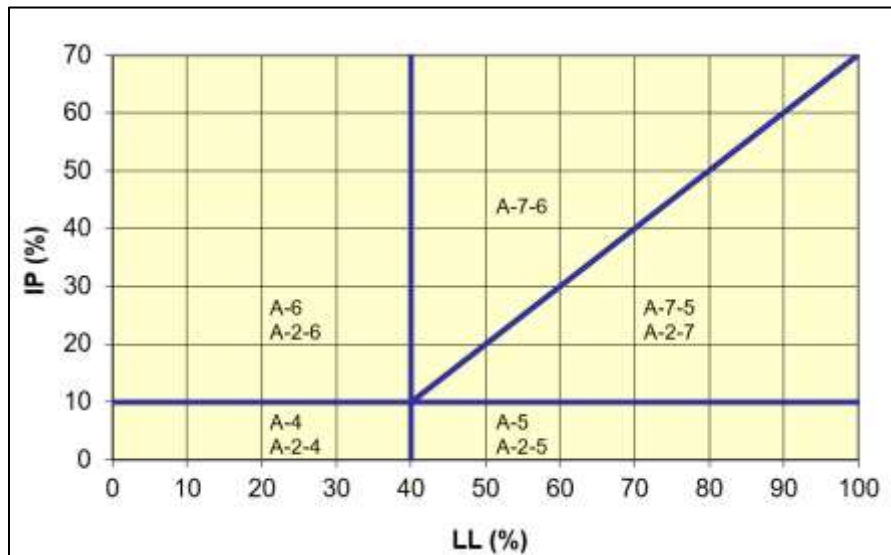
Fuente: (ASTM, 2000).

Para clasificar un suelo de acuerdo con lase debe aplicar los datos de izquierda a derecha. Por procesos de eliminación, el primer grupo de la izquierda en el cual los datos del ensayo se

ajusten, es la clasificación correcta. La Figura 2 muestra unos trazos del ensayo de límite líquido e índice de plasticidad para suelos que caen en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6, A-7.

Figura 2.

Carta de plasticidad según AASHTO.



Fuente: (ASTM, 2000)

4.7.2. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS

Garzón-Roca et al. (2017) mencionan que la forma original de este sistema fue propuesta por Casagrande en 1942 para su uso en trabajos de construcción de aeropuertos por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército durante la segunda guerra mundial en cooperación con la Agencia de Reclamos de Estados Unidos, el Cuerpo (Corps) revisó este sistema en 1952.

Este sistema es presentado de la Tabla 5, Tabla 6 y Figura 3. Este sistema clasifica a los suelos en dos grandes grupos:

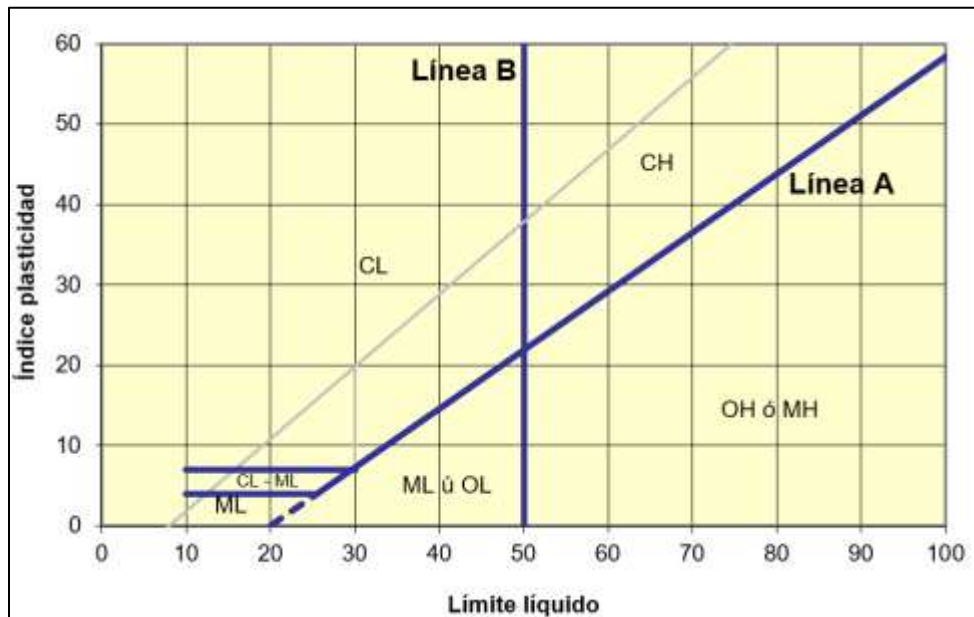
1. Suelos Granulado-grosso que en la naturaleza son gravosos y arenosos con menos del 50% que pasa a través del tamiz N° 200. Los símbolos de grupo comienzas con los prefijos **G** ó **S** o ambos. **G** simboliza suelo con grava o gravoso, y **S** es para suelos con arena o arenosos.
2. Suelos de Granulado-fino con 50% o más que pasa a través del tamiz N° 200. Los símbolos de grupo comienzan con el prefijo de **M**, el cual simboliza limos inorgánicos, **C** para arcillas inorgánicas, y **O** para limos y arcillas orgánicos. El símbolo **Pt** es usado para la turba (peat), fango (muck), y otros suelos con alto contenido de materia orgánica.

Otros símbolos utilizados por la clasificación son:

- W = bien gradado (Well graded)
- P = Pobremente gradado (poorly graded)
- L = Baja plasticidad (límite líquido menos a 50)
- H = Alta plasticidad (límite líquido mayor a 50)

Figura 3.

Carta de plasticidad según SUCS.



Fuente: (ASTM, 2000).

Tabla 5.

Sistema Unificado de Clasificación para suelos de grano grueso.

DIVISIONES PRINCIPALES		Símbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO		
SUELOS DE GRANO GRUESO	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Gravas limpias	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: $Cu = D_{60}/D_{10} > 4$ $Cc = (D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3 No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW. Límites 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. Límites de Atterberg sobre la línea A con $IP > 7$.	
		(sin o con pocos finos)	GP	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.		
		Gravas con finos	GM	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.		
		(apreciable cantidad de finos)	GC	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.		
		ARENAS	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		
	Más de la mitad del material retenido en el tamiz número 200	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm)	(pocos o sin finos)	SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.	$< 5\% \rightarrow$ GW, GP, SW, SP. $> 12\% \rightarrow$ GM, GC, SM, SC. 5 al 12% -> casos límite que requieren usar doble símbolo. $Cu = D_{60}/D_{10} > 6$ $Cc = (D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3 Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW. Límites de Atterberg debajo de la línea A o $IP < 4$. Los límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan
			Gravas con finos	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	
		(apreciable cantidad de finos)	SC	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.		
		ARENAS con finos				
		(apreciable cantidad de finos)				

Fuente: (ASTM, 2000).

Tabla 6.

Sistema Unificado de Clasificación para suelos de grano fino y orgánicos.

SUELOS DE GRANO FINO	Limos y arcillas:	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosa, o limos arcillosos con ligera plasticidad.
		CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.
		OL	Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.
	Limos y arcillas:	MH	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.
		CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.

Fuente: (ASTM, 2000)

4.8. American Society for Testing and Materials ASTM

La norma ASTM conocida como Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, es una de las organizaciones que desarrolla y publica normas técnicas para una variedad de materiales, productos, sistemas y servicios.

Las normas se elaboran por consenso de quienes tienen intereses en su uso o desarrollo. Hasta la actualidad se han creado alrededor de 12 000 normas que están en vigencia a nivel mundial para todas las áreas, desde el acero hasta la sustentabilidad, con fines de mejorar las labores de millones de personas. Se distinguen algunos tipos de normas:

Normas de Construcción: Conformada por más de 1 300 normas separadas, entre ellas para: adhesivos, cemento, albañilería, techos y madera.

Normas de acero: Con esta se clasifican, evalúan y especifican los diferentes tipos de acero que utilizan en las diversas aplicaciones industriales.

Normas de metal: Proporciona estándares para metales como: cobre, hierro fundido y aluminio.

Normas para plásticos: Garantiza las variedades de plásticos, así como también los derivados de los polímeros.

Norma para pintura: Abarca a los recubrimientos, además de la normalización de las propiedades de la pintura, revestimientos, esmaltes, barnices, electrodeposición, pigmentos y disolventes.

5. Metodología

5.1. Ubicación del área de estudio

5.1.1. Ubicación política

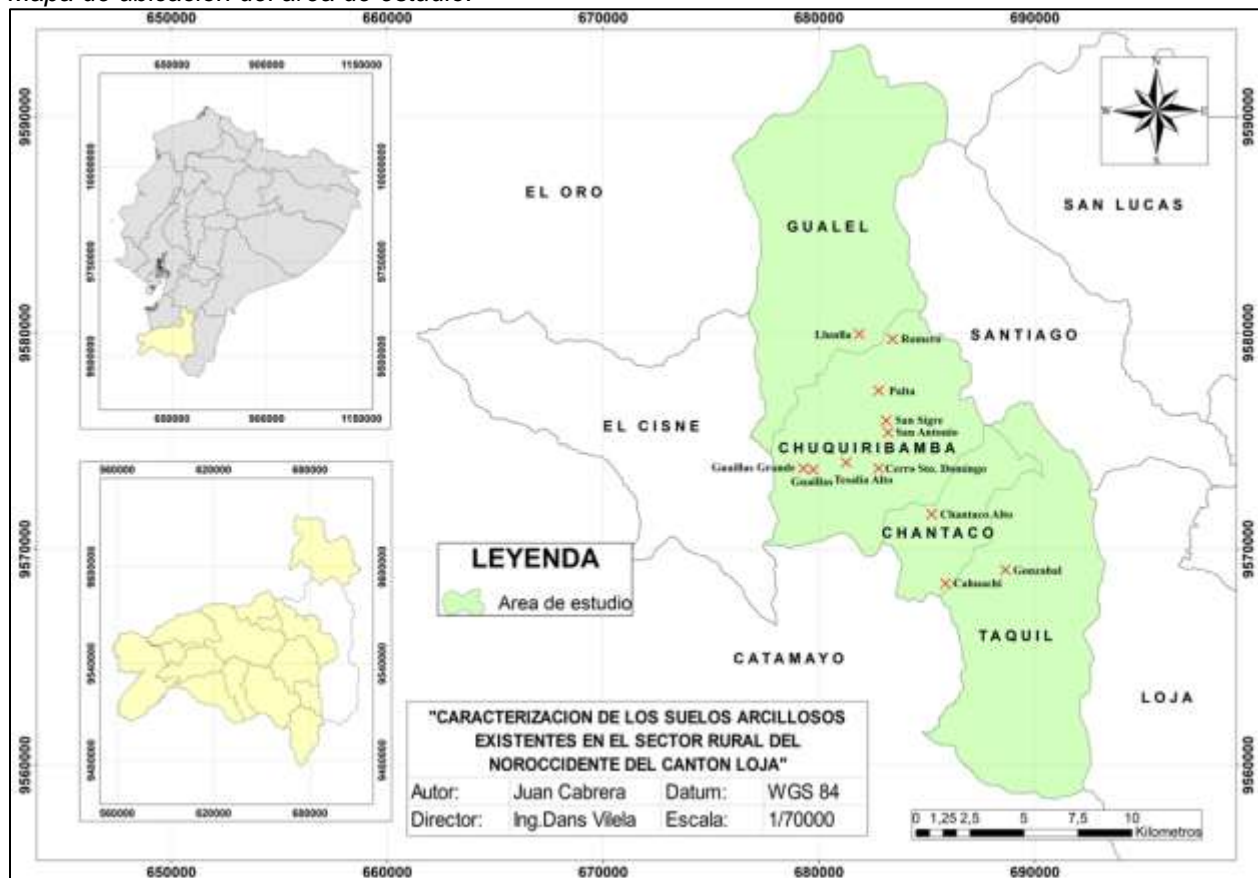
El área de estudio se encuentra ubicada en el noroccidente del cantón Loja, parroquias de: Chantaco, Chuquiribamba, Gualel y Taquil.

5.1.2. Ubicación geográfica

De acuerdo con el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, el lugar corresponde a las siguientes coordenadas UTM: 9558444 a 9593323 Norte y 675958 a 693250 Este.

Figura 4.

Mapa de ubicación del área de estudio.



5.2. Materiales y Equipos

Materiales de campo:

- Barreta
- Pala
- Machete

- Fundas plásticas
- fundas ziploc.

Materiales de laboratorio y equipos:

- Muestras de suelo
- Cápsulas para secado
- Estufa
- Probetas
- Pipetas
- Estufa
- Equipo de tamizado
- Equipo para próctor
- Equipo para ensayo de granulometría por medio del hidrómetro
- Cronómetro.

Reactivos:

- Agua destilada
- Hexametáfosfato de sodio.

Recursos tecnológicos:

- Sistema de Información Geográfica (SIG)
- Hoja de cálculo
- Procesador de texto
- Cámara fotográfica
- Computadora.

5.3. Muestra

Lo sitios de recolección de muestras de suelo se las ubicaron en base al mapa geológico y la ayuda del Sistema de Información Geográfica para obtener las coordenadas de ubicación exactas. En la Tabla 7 se presentan los respectivos datos y coordenadas de ubicación para cada una de las muestras.

Tabla 7.

Ubicación los lugares de muestreo.

Parroquia	Sector	Latitud	Longitud (m)	Altitud
-----------	--------	---------	--------------	---------

		(m)		(m s n m)
Gualel	Llunlla	9 579 942	681 874	2 682
Chuquiribamba	Romero	9 579 709	683 409	2 675
Chuquiribamba	Palta	9 577 323	682 772	2 738
Chuquiribamba	Guailas Grande	9 573 729	679 285	2 457
Chuquiribamba	Guailas	9 573 676	679 748	2 526
Chuquiribamba	Tesalia Alto	9 573 998	681 268	2 699
Chuquiribamba	Cerro Santo Domingo	9 573 734	682 762	2 849
Chuquiribamba	San Sigre	9 575 931	683 116	2 834
Chuquiribamba	San Antonio	9 575 378	683 205	2 758
Taquil	Gonzabal	9 569 030	688 644	2 101
Chantaco	Cahuachi	9 568 398	685 872	2 079
Chantaco	Chantaco Alto	9 571 611	685 227	2 330

5.4. Trabajo de campo

Luego de haber identificado las zonas de interés, se extrajo la información geológica. Cada afloramiento se ubicó con certeza en el mapa topográfico de campo con la ayuda del GPS.

El trabajo de campo se lo realizó en 3 campañas de un día cada una, se obtuvo 12 muestras alteradas de 50 Kg aproximadamente, material necesario para realizar todos los análisis de laboratorio, así mismo se tomó una muestra de aproximadamente 2 Kg en fundas ziploc para calcular contenido de humedad de campo, se llenó la ficha descriptiva para cada una de las muestras con sus respectivas coordenadas de ubicación

5.5. Preparación de las muestras

Todas las muestras etiquetadas se las sometió a un proceso de secado natural bajo sombra en un tiempo de 3 semanas aproximadamente y dependiendo del tipo de suelo. Se pulverizó constantemente conforme el proceso de secado avanzaba, hasta obtener la fracción más fina, una vez seca la muestra se procedió a almacenar el suelo en recipientes plásticos previamente etiquetados para posteriormente utilizarlo para los diferentes análisis.

5.6. Metodología para el primer objetivo

Analizar las propiedades físico mecánicas de las arcillas a través de ensayos de laboratorio de acuerdo con la normativa ASTM.

Para llevar a cabo el cumplimiento del primer objetivo, los ensayos se realizaron en los laboratorios de: Materiales de Construcción y Laboratorio de Suelos y Bromatología, de acuerdo con la norma ASTM.

Para la determinación del contenido de humedad se utilizó la muestra de 2 Kg y se aplicó la metodología como lo establece la norma **ASTM D 2216: Método de prueba estándar para la determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelos y rocas por masa** (ASTM, 2019).

Así mismo para conocer la granulometría del suelo se aplicó la metodología establecida en la norma **ASTM D 422-63: Método de análisis del tamaño de las partículas de suelo** (ASTM, 2007).

Los límites de Atterberg se los realizó bajo la metodología de la norma **ASTM D 4318: Métodos de prueba para límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de los suelos** (ASTM, 2017).

Para la determinar del contenido óptimo de humedad se aplicó la metodología de la norma **ASTM D 698: Método de prueba para las características de compactación del suelo uso de laboratorio de esfuerzo estándar (12400 ft-lb/ft³ (600kN-m/m³))** (ASTM, 1995).

5.7. Metodología para el segundo objetivo

Clasificar las arcillas de acuerdo a la normativa SUCS y ASSHTO

Para definir de una manera general las características de los suelos se utilizó la metodología de las normas ASTM D 2487 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System) (ASTM, 2000). Y AASHTO M-145 Classification of soils and soil-aggregate mixtures for highway construction purposes (ASTM, 2012).

Estos sistemas permiten definir de una manera general las características de un suelo, utilizan dos parámetros fundamentales como la granulometría y los límites de Atterberg.

5.8. Metodología para el tercer objetivo

Establecer un banco de datos de acuerdo a la potencialidad de cada uno de los yacimientos de arcilla

Una vez conocidas las características de cada una de las muestras analizadas se procedió a elegir los más aptos de acuerdo con las condiciones expuestas por (FAO, 2013b), ver Tabla 8.

Tabla 8.

Aptitud de los suelos como material para la construcción de reservorios con revestimiento de arcilla.

Clasificación	Aptitud
---------------	---------

Arcilloso	Excelente
Arcilloso Arenoso	Buena
Franco	Regular
Franco Arenoso	Deficiente
Arenoso	Deficiente

Fuente: (FAO, 2013b; MEFCCA, 2018).

6. Resultados

El presente estudio se sustenta en la extracción de 12 muestras del sector rural del noroccidente del cantón Loja, comprende las parroquias de Chuquiribamba, Gualiel, Taquil y Chantaco, con la aplicación de la normativa ASTM con el objetivo de lograr caracterizar y clasificar.

6.1. Resultados del primer objetivo

Analizar las propiedades físico mecánicas de las arcillas a través de ensayos de laboratorio según la normativa ASTM.

6.1.1. Contenido de humedad natural.

De acuerdo con la Tabla 9 se tiene que los suelos con mayor contenido de arcilla son los disponibles en Llunlla, Chantaco Alto, Gonzabal y Romero, las restantes están conformadas mayoritariamente por limo y arena.

Tabla 9.

Representación de los resultados de Contenido de Humedad de campo.

Muestra	Contenido de Humedad %
Llunlla	34
Romero	33
Palta	58
Guailas Grande	22
Guailas	51
Tesalia	30
Cerro Santo Domingo	32
San Sigre	56
San Antonio	29
Gonzabal	29
Cahuachi	28
Chantaco Alto	36

6.1.2. Análisis del tamaño de las partículas.

En la Tabla 10 se presenta los resultados del análisis del tamaño de las partículas del suelo, de los cuales se puede destacar

que las muestras de Llunlla, Romero, Gonzabal y Chantaco Alto son las que mayor porcentaje de arcilla contienen.

Tabla 10.*Representación de los resultados del tamaño de las partículas del suelo.*

Muestra	Tamaño de las partículas		
	% Arena	% Limo	% Arcilla
Llunlla	18	29	53
Romero	32	29	39
Palta	58	27	15
Guailas Grande	48	30	22
Guailas	30	50	20
Tesalia	48	35	17
Cerro Santo Domingo	56	34	10
San Sigre	34	40	26
San Antonio	36	38	26
Gonzabal	36	23	41
Cahuachi	55	25	20
Chantaco Alto	20	29	51

6.1.3. Límites de Atterberg.

Los suelos de alta plasticidad se encuentran en los sectores de Llunlla, Gonzabal y Cahuachi. Los suelos de Guailas Grande y Cerro Santo Domingo son suelos no plásticos, en otras palabras, las partículas que conforman estos suelos no permiten realizar el ensayo, ver Tabla 11.

Tabla 11.*Representación de resultados de Consistencia del Suelo.*

Muestra	Consistencia del suelo		
	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice de Plasticidad (%)
Llunlla	69	32	37
Romero	62	43	19
Palta	70	57	13
Guailas Grande	NP	NP	0
Guailas	54	44	10
Tesalia Alto	30	22	8
Cerro Santo Domingo	NP	NP	0
San Sigre	51	42	9
San Antonio	43	33	10
Gonzabal	56	19	37
Cahuachi	69	32	37
Chantaco Alto	84	50	34

6.1.4. Características de compactación del suelo.

Con el ensayo de compactación "Proctor Estándar" se obtuvo que las muestras de Guailas Grande, Cahuachi, Tesalia Alto, San Antonio, Gonzabal alcanzaron los mayores valores de densidad seca con los contenidos de humedad más bajos. La muestra que alcanzó el mínimo valor de densidad seca-humedad es la de Palta ver Tabla 12.

Tabla 12.*Representación de resultados a partir de la curva de compactación.*

Muestra	Densidad seca máxima (gr/cc)	Humedad Optima %
Llunlla	1,41	29
Romero	1,41	30
Palta	1,19	33
Guailas Grande	1,75	18
Guailas	1,41	31
Tesalia Alto	1,56	25
Cerro Santo Domingo	1,46	28
San Sigre	1,32	34
San Antonio	1,53	26
Gonzabal	1,51	26
Cahuachi	1,62	16
Chantaco Alto	1,36	38

6.1.5. Actividad de la arcilla.

El cálculo de la actividad de las arcillas, permitió determinar el tipo de arcilla predominante en cada uno de los suelos analizados, en el caso de las muestras de Llunlla, Romero, Palta, Guailas, San Antonio, Gonzabal, Cahuachi, Chantaco Alto, Tesalia Alto se pudo determinar que son montmorillonitas, la muestra de San Sigre corresponden al grupo de las Caolinitas , finalmente las muestras de Guailas Grande y Cerro Santo Domingo no se pudo conocer su actividad debido a que son suelos no plásticos ver Tabla 13

Tabla 13.*Actividad y tipo de arcilla*

Muestra	Actividad de las arcillas	Tipo de arcilla
Llunlla	1,68	Montmorillonita
Romero	0,49	Caolinita
Palta	0,90	Illita
Guailas Grande	NP	NP
Guailas	0,53	Illita
Tesalia Alto	0,08	Caolinita
Cerro Santo Domingo	NP	NP
San Sigre	0,36	Caolinita
San Antonio	0,40	Caolinita
Gonzabal	1,44	Montmorillonita
Cahuachi	1,87	Montmorillonita
Chantaco Alto	0,67	Illita

6.2. Resultados del segundo objetivo***Clasificar las arcillas de acuerdo a las normativas SUCS y ASSHTO.***

Con los resultados obtenidos de los ensayos, se procedió a clasificar los suelos en base a la norma ASTM D 2487 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). Y AASHTO M-145 Classification of soils and soil-aggregate mixtures for highway construction purposes.

Tabla 14.*Clasificación de los suelos de acuerdo con la normativa AASHTO y SUCS.*

Muestra	SUCS	AASHTO
Llunlla	Suelo de grano grueso debido a que más de la mitad del material es retenido en el tamiz número 200 (88,04%), arena debido a que más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (100%), porcentaje de finos mayor a 12% (12%), límites de Atterberg sobre la línea A de la carta de plasticidad con IP mayor a 7 (37%) por lo cual su denominación es SC – Arena arcillosa.	Material granular, ya que 35% o menos pasa por el tamiz número 200 (12%), límite líquido mínimo 41% (69%), índice de plasticidad mínimo 11% (37%), el suelo pertenece al grupo A-2-7 – Grava y arena arcillosa o limosa.
Romero	Suelo de grano grueso debido a que más de la mitad del material es retenido en el tamiz número 200 (84,19%), arena debido a que más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (100%), porcentaje de finos mayor a 12% (16%), límites de Atterberg debajo de la línea A de la carta de plasticidad, por lo cual su denominación es SM – Arena limosa.	Material granular, ya que 35% o menos pasa por el tamiz número 200 (16%), límite líquido mínimo 41% (62%), índice de plasticidad mínimo 11% (19%), el suelo pertenece al grupo A-2-7 – Grava y arena arcillosa o limosa.
Palta	Suelo de grano grueso debido a que más de la mitad del material es retenido en el tamiz número 200 (93,35%), arena debido a que más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (90%), porcentaje de finos mayor a 12% , límites de Atterberg debajo de la línea A de la carta de plasticidad con IP mayor a 7, por lo cual su denominación es SM – Arena limosa.	Material granular, ya que 35% o menos pasa por el tamiz número 200 (7%), límite líquido mínimo 41% (70%), índice de plasticidad mínimo 11% (13%), el suelo pertenece al grupo A-2-7 – Grava y arena arcillosa o limosa.
Guailas Grande	Suelo de grano grueso debido a que más de la mitad del material es retenido en el tamiz número 200 (94,08%), arena ya que más de la mitad de la fracción gruesa pasa el tamiz número 4 (78%), porcentaje de finos entre 5 y 12% por lo cual requiere usar doble símbolo, coeficiente de uniformidad mayor a 6 (13.98) y coeficiente de curvatura entre 1 y 3 (1.03), por lo cual su denominación es SW – Arena bien graduada con grava y pocos finos.	Material granular, ya que 35% o menos pasa por el tamiz número 200 (6%), pasante del tamiz número 40 mínimo 41% (78%) y pasante del tamiz número 200 máximo 10% (6%), suelo no plástico (NP), por lo cual su denominación es A-3 Arena fina.

Guailas	Suelo de grano grueso debido a que más de la mitad del material es retenido en el tamiz número 200 (90,88%), arena debido a que más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (84%), límites de Atterberg debajo de la línea A de la carta de plasticidad con IP mayor a 7% (10%), por lo cual su denominación es SM – Arena limosa.	Material granular, ya que 35% o menos pasa por el tamiz número 200 (9%), límite líquido mínimo 41% (54%) e índice de plasticidad máximo 10% (10%), por lo cual su denominación es A-2-5 Grava y arena arcillosa o limosa.
Tesalia Alto	Suelo de grano grueso debido a que más de la mitad del material es retenido en el tamiz número 200 (94,31%), arena debido a que más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (73%), límites de Atterberg sobre la línea A de la carta de plasticidad con IP mayor a 7 (8%) por lo cual su denominación es SC – Arena arcillosa.	Material granular, ya que 35% o menos pasa por el tamiz número 200 (6%), límite líquido máximo 40% (30%), índice de plasticidad máximo 10% (8%), el suelo pertenece al grupo A-2-4 – Grava y arena arcillosa o limosa.
Cerro Santo Domingo	Suelo de grano grueso ya que más de la mitad del material es retenido en el tamiz número 200 (93,72%), arena ya que más de la mitad de la fracción gruesa para por el tamiz número 4 (71%), coeficiente de uniformidad mayor a 6 (22.71) y coeficiente de curvatura entre 1 y 3 (1.27), el suelo pertenece al grupo SW – Arena bien graduada.	Material granular, ya que menos del 35% del materia pasa por el tamiz 200 (6%), pasante del tamiz número 40 máximo 51% (71%) y pasante del tamiz número 200 máximo 10% (6%), suelo no plástico por lo cual su denominación es A-3 Arena fina.
San Sigre	Suelo de grano grueso debido a que más de la mitad del material es retenido en el tamiz número 200 (81,40%), arena debido a que más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (91%), límites de Atterberg debajo de la línea A de la carta de plasticidad con IP mayor a 7% (9%), por lo cual su denominación es SM – Arena limosa.	Material granular, ya que 35% o menos pasa por el tamiz número 200 (19%), límite líquido mínimo 41% (51%) e índice de plasticidad máximo 10% (9%), por lo cual su denominación es A-2-5 Grava y arena arcillosa o limosa.
San Antonio	Suelo de grano grueso, ya que más del 50% del material es retenido en el tamiz número 200, arena ya que más de la mitad de la fracción gruesa pasa el tamiz número 4 (58%), porcentaje de finos menor a 5% (1%) por lo cual su denominación es SP – Arena mal graduada.	Material granular, ya que 35% o menos pasa por el tamiz número 200 (1%), límite líquido mínimo 41% (43%) e índice de plasticidad máximo 10% (10%), por lo cual su denominación es A-2-5 Grava y arena arcillosa o limosa.

Gonzabal	Suelo de grano grueso debido a que más de la mitad del material es retenido en el tamiz número 200 (93,54%), arena debido a que más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (100%), límites de Atterberg sobre la línea A de la carta de plasticidad con IP mayor a 7 (37%) por lo cual su denominación es SC – Arena arcillosa.	Material granular, ya que 35% o menos pasa por el tamiz número 200 (6%), límite líquido mínimo 41% (56%), índice de plasticidad mínimo 11% (37%), el suelo pertenece al grupo A-2-7 – Grava y arena arcillosa o limosa.
Cahuachi	Suelo de grano grueso debido a que más de la mitad del material es retenido en el tamiz número 200 (93,83%), arena debido a que más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (100%), límites de Atterberg sobre la línea A de la carta de plasticidad con IP mayor a 7 (37%) por lo cual su denominación es SC – Arena arcillosa.	Material granular, ya que 35% o menos pasa por el tamiz número 200 (6%), límite líquido mínimo 41% (69%), índice de plasticidad mínimo 11% (37%), el suelo pertenece al grupo A-2-7 – Grava y arena arcillosa o limosa.
Chantaco Alto	Suelo de grano grueso debido a que más de la mitad del material es retenido en el tamiz número 200 (89,70%), arena debido a que más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (100%), límites de Atterberg debajo de la línea A de la carta de plasticidad, por lo cual su denominación es SM – Arena limosa.	Material granular, ya que 35% o menos pasa por el tamiz número 200 (10%), límite líquido mínimo 41% (84%), índice de plasticidad mínimo 11% (34%), el suelo pertenece al grupo A-2-7 – Grava y arena arcillosa o limosa.

6.3. Resultados del tercer objetivo

Establecer un banco de datos de acuerdo a la potencialidad de cada uno de los yacimientos de arcilla

En la Tabla 15 se puede observar los suelos de mayor potencialidad son sus respectivas características.

Tabla 15.*Banco de datos de arcillas con potencial de impermeabilizar reservorios.*

Sector	Tipo de Arcilla	Plasticidad	SUCS	AASHTO	Aptitud
Llunlla	Montmorillonita	Muy alta	SC Arena arcillosa	A-2-7 Arenas y grava con alto índice de plasticidad.	Excelente
Gonzabal	Montmorillonita	Muy alta	SC Arena arcillosa	A-2-7 Arenas y grava con alto índice de plasticidad.	
Cahuachi	Montmorillonita	Muy alta	SC Arena arcillosa	A-2-7 Arenas y grava con alto índice de plasticidad.	
Chantaco Alto	Illita	Alta	SM Arena limosa	A-2-7 Arenas y grava con alto índice de plasticidad.	Buena
Romero	Caolinita	Mediana	SM Arena limosa	A-2-7 Arenas y grava con alto índice de plasticidad.	
Palta	Illita	Mediana	SM Arena limosa	A-2-7 Arenas y grava con alto índice de plasticidad.	
Guailas	Illita	Baja	SM Arena limosa	A-2-5 Arena y grava con un alto contenido de finos.	Regular
Tesalia Alto	Cailinita	Baja	SC Arena arcillosa	A-2-4 Arena y grava con un alto contenido de finos	
San Sigre	Caolinita	Baja	SM Arena limosa	A-2-5 Arena y grava con un contenido de finos.	
San Antonio	Caolinita	Baja	SP Arena mal graduada	A-2-5 Arena y grava con un contenido de finos.	
Guailas Grande	No Plástico		SW Arena bien graduada con grava y pocos finos	A-3 Arenas finas	Deficiente
Cerro Santo Domingo	No Plástico		SW arena bien graduada con grava y pocos finos	A-3 Arenas finas	

7. Discusión

Analizar las propiedades físico mecánicas de las arcillas a través de ensayos de laboratorio según la normativa ASTM.

Como se indica en la Tabla 9 el cálculo del contenido de humedad indica la cantidad de agua presente en el suelo al momento de la toma de muestra. Esta misma es relativa al mes en que fue tomada, debido a que está directamente relacionada a la precipitación. Terzaghi et al. (1996) destacan que es de suma importancia para comprender sus características físicas y mecánicas, a su vez Das & González (2015) resaltan que su determinación es esencial para comprender las propiedades de resistencia y deformación del suelo. El cálculo de la humedad del suelo permite comprender y evaluar diversas propiedades, así como también el comportamiento del suelo, incluyendo su capacidad de carga, estabilidad y deformación.

El cálculo del tamaño de las partículas de suelo, ver Tabla 10 de acuerdo con la FAO (2013b) las muestras de Llunlla, Romero, Gonzabal y Chantaco Alto tienen un contenido de arcilla mayor a 35% por lo cual corresponden a suelos Franco Arcillosos, aspecto que es corroborado por el PDOT (2014) en el cual se menciona que en el Cantón Loja existen aproximadamente 32797 hectáreas de suelos Franco Arcillosos, los cuales predominan mayoritariamente en la parte norte del territorio

Producto de la determinación de los Límites de Atterberg y análisis del tamaño de las partículas se obtuvo la actividad de los suelos, tal como se indica en la Tabla 13, las muestras de los sectores Guailas Grande y Cerro Santo Domingo son suelos no plásticos, ya que presenta escasa cohesión y resistencia. Las muestras de los sectores Romero, Tesalia Alto, San Sigre y San Antonio tienen un valor menor a 0,5 lo cual lo hace una arcilla relativamente inactiva de tipo caolinita Díaz & Torrecillas (2002), manifiestan que este tipo de material es ampliamente apto para la elaboración de cerámica blanca, papel, caucho y pinturas. Las muestras de los sectores de Palta, Guailas y Chantaco alto tienen un valor entre 0,5 y 1 lo que la hace una arcilla con actividad normal de tipo illítico Díaz & Torrecillas (2002) mencionan que este tipo de arcillas son más utilizadas para la elaboración de ladrillos huecos, azulejos y tejas. Finalmente, la muestra del sector Cahuachi, Llunlla y Gonzabal tienen un valor mayor a 1, que a decir de Crespo (2007) corresponden a una arcilla progresivamente activa de tipo montmorillonita, es decir se trata de un material muy plástico, cualidades que ratifica Del Pino & Piusseau, (2013) son impermeables, absorben lentamente la humedad, pasan a un estado plástico con facilidad, sin agrietamiento ni disgregación.

En la Tabla 12 se observan los valores de densificación que es posible alcanzar para cada uno de los suelos en función de su contenido óptimo de humedad, este valor debe ser alcanzado en obra al momento de impermeabilizar el reservorio Piqueras (2021) menciona que es importante mantener contenidos de agua próximos al óptimo, ya que si se generan pequeños cambios de humedad causan fuertes bajas de densidad y el material será difícil de compactar Chacón et al. (2004) manifiestan que la compactación de un suelo es un método barato y efectivo para mejorar las condiciones del suelo, este hace que aumente su densidad y produzca efectos como el incremento de la resistencia al corte, disminución de la compresibilidad y disminución de la permeabilidad.

Clasificar las arcillas de acuerdo a las normativas SUCS y ASSHTO

De los suelos estudiados y de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos ASTM (2000), Tabla 14 las muestras de Llundla, Gonzabal, Cahuachi, Tesalia Alto se clasifican como Arcilla Arenosa (SC), Chantaco Alto, Romero, Palta, Guailas, San Sigre se clasifican como Arena Limosa (SM), San Antonio se clasifican como Arena mal Graduada (SP), Guailas Grande y Cerro Santo Domingo se clasifican como Arena bien graduada con grava y finos. Así mismo, de acuerdo con la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes ASTM (2012), las muestras de Llundla, Gonzabal, Cahuachi, Chantaco Alto, Romero y Palta se clasifican como Arena y Grava con alto índice de plasticidad (A-2-7), las muestras de Guailas, San Sigre y San Antonio se clasifican como Arena y Grava con un alto contenido de finos (A-2-5), la muestra de Tesalia Alto se clasifica como Arena y Grava con un alto contenido de finos y las muestras de Guailas Grande y Cerro Santo Domingo se clasifican como Arenas finas (A-3). características ratificadas por el PDOT (2014), en el cual se menciona que el norte del Cantón Loja está conformado mayoritariamente por suelos Franco Arcillosos y en menores proporciones por suelos Franco Arcillo Limosos, Franco Arcillo Arenosos y Franco.

Establecer un banco de datos de acuerdo a la potencialidad de cada uno de los yacimientos de arcilla

Los suelos que presentan una mayor aptitud para ser elegidos como opciones para impermeabilizar reservorios, están ubicados en los sectores de Llundla, Gonzabal y Cahuachi, ver Tabla 15, la FAO (2013b): Chamba-Morales et al. (2019) recomiendan utilizar Arenas arcillosas, las cuales son relativamente estables y son óptimas para revestimientos de impermeabilización, criterio que cumplen las muestras antes mencionadas, además, están conformados predominantemente por arcilla de tipo montmorillonita, que a decir de Fetter & FD (s. f.) se trata de suelos muy plásticos los cuales se contraen al secarse, mejorando su

resistencia, haciéndose impermeable, características remarcadas por González (2020) que la convierte en material impermeabilizante de largo plazo.

8. Conclusiones

- El contenido de humedad de las muestras es relativo a la temporada en la cual se toma las muestras, el cálculo de esta propiedad es de mucha importancia, ya que sirve para comprender las propiedades físicas y mecánicas del suelo.
- Con análisis del tamaño de las partículas se encontró que las muestras de Llunlla, Romero, Gonzabal y Chantaco Alto corresponden a suelos con mayor porcentaje de arcilla. Juntamente con los límites de Atterberg, se identificó el tipo de arcilla predominante en cada uno de suelos, característica muy importante ya que la montmorillonita es la más adecuada para ser utilizada como impermeabilizante, condición que se cumple para las muestras de: Llunlla, Romero, Palta, Guailas, San Antonio, Gonzabal, Cahuachi y San Antonio.
- Los resultados del ensayo de compactación mediante el próctor estándar en el proceso de caracterización arrojaron valores indicadores de humedad óptima y densidad máxima, los cuales sirven para obtener condiciones óptimas de estabilidad y baja permeabilidad, información vital en el proceso de impermeabilización de reservorios.
- De acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de suelos: las muestras Llunlla, Gonzabal, Cahuachi y Tesalia Alto se clasifican como una Arena Arcillosa (**SC**), las muestras de Chantaco Alto, Romero, Palta, Guailas y San Sigre se clasifican como Arena Limosa (**SM**), la muestra San Antonio se clasifica como Arena mal graduada (**SP**), y las muestras de Guailas Grande y Cerro Santo Domingo se clasifican como Arena bien graduada con grava y pocos finos (**SW**).
- De acuerdo con la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes: las muestras de Llunlla, Gonzabal, Cahuachi, Chantaco Alto, Romero y Palta se clasifican como Arena y Grava con alto índice de plasticidad (A-2-7), las muestras de Guailas, San Sigre y San Antonio se clasifican como Arena y Grava con un alto contenido de finos (A-2-5), la muestra de Tesalia Alto se clasifica como Arena y Grava con un alto contenido de finos (A-2-4) y las muestras de Guailas Grande y Cerro Santo Domingo se clasifican como Arenas finas (A-3).
- Las muestras de suelos que presentan mejores características para ser utilizados como material de impermeabilización son las de Llunlla, Gonzabal, Cahuachi.

9. Recomendaciones

- Realizar una óptima recolección de muestras, ya que es de fundamental importancia para realizar una óptima caracterización del suelo.
- Realizar todos los ensayos de laboratorio aplicando correctamente los procedimientos establecidos por la norma ASTM utilizada en esta investigación, para obtener resultados confiables.
- Realizar ensayos y pruebas de campo complementarios en los suelos idóneos para ser utilizados como impermeabilizante de reservorios.

10. Bibliografía

- ASTM. (2012). *Classification of soils and soil-aggregate mixtures for highway construction purposes*. American Association of State Highway and Transportation Officials
- ASTM, I. (1995). *ASTM D 698-2000 Método de prueba para las características de compactación de laboratorio de suelos usando esfuerzo estándar*.
- ASTM, I. (2000). ASTM Standard D2487, 2000, Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). *ASTM Standard D2487, 2000, Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*.
- ASTM, I. (2007). *ASTM D422-63 Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*.
- ASTM, I. (2017). *ASTM D 4318 Métodos de prueba estándar para límite líquido, límite plástico y límite de contracción de suelos*.
- ASTM, I. (2019). *Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass*. <https://www.studocu.com/row/document/islamic-azad-university-central-tehran-branch/soil-mechanics/astm-d-2216-19-astm-d-2216-19/13220693>
- Bailón Abad, E. I., Espinosa Guaricela, R. I., & Acevedo Catá, J. B. (2019). Bloque de suelo estabilizado en pequeño formato y tecnología de colocación en obra en vivienda de interés social. *Ingeniería y Desarrollo*, 37(1), 105-128.
- Botía Díaz, W. A. (2015). *Manual de procedimientos de ensayos de suelos y memoria de cálculo*.
- Braja, Das. (2002). *Soil Mechanics Laboratory Manual (Sexta)*.
- Casanellas, J. P., Reguerín, M. L.-A., & Laburu, C. R. de. (1999). *EDAFOLOGÍA. PARA LA AGRICULTURA Y EL MEDIO AMBIENT*. Mundi-Prensa Libros, S.A.
- Chacón, J., Irigaray, C., Hamdouni, R., & Lamas, F. (2004). *MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS: Prácticas y Ensayos*.

- Chamba-Morales, M., Bailon-Abad, E., Calva-Jiménez, D., Chamba-Ontaneda, M., & Vásquez, E. (2019). Caracterizaciones físico-mecánicas de las arcillas de Loja y Azuay con fines de impermeabilización de reservorios. *Bosques Latitud Cero*, 9(2), Article 2.
- Crespo, C. (2007). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. Editorial Limusa.
- Das, B. M., & González, S. R. C. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. Cengage Learning.
- Del Pino, J. M. J., & Piusseaut, E. T. (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(3), 1-12.
- Díaz, L. A., & Torrecillas, R. (2002). Arcillas cerámicas: Una revisión de sus distintos tipos, significados y aplicaciones. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 41(5), 459-470.
- Duque, G., & Escobar, C. (2005). *Origen formación y constitución del suelo, fisicoquímica de las arcillas*.
https://www.academia.edu/43510032/Origen_formaci%C3%B3n_y_constituci%C3%B3n_del_suelo_fisicoqu%C3%ADmica_de_las_arcillas
- Duque, G., & Escobar, C. E. (2016). Origen formación y constitución del suelo, fisicoquímica de las arcillas. *Geomecánica*, 11, 28.
- FAO. (2013a). *Consistencia del Suelo*.
https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s08.htm#1
- FAO. (2013b). *Suelos y Piscicultura de Agua Dulce*.
https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s12.htm
- Fetter, G., & FD, V. H. (s. f.). *Arcillas*. Recuperado 20 de febrero de 2024, de <https://elementos.buap.mx/directus/storage/uploads/00000008973.pdf>

- Garay-Díaz, R. A., & Mena-Gómez, M. E. (2007). *Clasificación de arcillas presentes en los bancos de Guatajagua, departamento de Morazán, y facultad multidisciplinaria oriental.*
- García, E., & Suárez, M. (2001). *Las arcillas: Propiedades y usos. Universidad Complutense. Madrid, España.*
- Garzón-Roca, J., Garrido de la Torre, E., & Hidalgo-Signes, C. (2017). *Clasificación de un suelo según SUCS. Universitat Politècnica de Valencia.*
http://laboratoriosvirtuales.upv.es/eslabon/SUSCS_clasificacion
- González, L. I. (2020). *Estudio de propiedades físico-mecánicas de arcillas existentes en el cantón Gonzanamá como material impermeabilizante en pequeños embalses de uso agrícola* [bachelorThesis, Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec//handle/123456789/23449>
- Jaramillo, D. F. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo.* Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias.
- Loor, A. O. M., Fernández, L. S. Q., Rivadeneira, D. D. C., Lucio, D. A. C., Sánchez, B. E. F., Delgado, J. A. P., & Acosta, J. M. Z. (2018). *MECÁNICA DE SUELO: TOMO II.* 3Ciencias.
- MEFCCA, C. (2018). *Construcción y supervisión de reservorios para captación de escorrentía. Serie Técnica Cosecha de Agua, 3.*
- PDOT. (2014). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Loja.*
- Piqueras, V. Y. (2021). *Procedimientos de construcción para la compactación y mejora del terreno* (1.ª ed.). Universitat Politècnica de Valencia.
- Romero, E. G., & Barrios, M. S. (2006). *LAS ARCILLAS: PROPIEDADES Y USOS.*
- Saéz, E. (2010). *Fundamentos de geotecnia: ICE-1603.*
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice.* John Wiley & Sons.
- Uribe, R., Chico, A., Rosas, N., & Lascano, L. (2019). *Materiales Arcillosos del Ecuador. Protocolo de Categorización Cerámica: Una Revisión.*
https://www.google.com/search?q=+uso+de+la+arcilla+en+el+ecuador.+pdf&sca_esv=3

7890abde774ea9a&sxsrf=ACQVn09TcUj2ZRN5JjwxMEPSjTt2TWwvQQ%3A17084827
64113&ei=zGDVZeLFBqONwbkP9uCjiAg&ved=0ahUKEwji24misruEAxWjRjABHXbwCI
EQ4dUDCBA&uact=5&oq=+uso+de+la+arcilla+en+el+ecuador.+pdf&gs_lp=Egxnd3Mtd
2l6LXNlcnAiJSB1c28gZGUgbGEgYXJjaWxsYSBibibCBiY3VhZG9yLiBwZGYyCBAAGI
AEGKIEMggQABiABBiiBDIIEAAYgAQYogQyCBAAGIAEGKIESPgUJgLWKUrcAV4AJA
BAJgB3AGgAZoVqgEFMC44Lja4AQPIAQD4AQHCAgoQIRgKKGKABGMMEwgIIECEYo
AEYwwSIBgE&sclient=gws-wiz-serp

Whitlow, R. (1994). *Fundamentos de mecánica de suelos*.

Yvan, C. (2016). *ASTM D 422 Análisis granulométrico por tamizado*.

Zapata, R. (2018). *Geología y Geotecnia, Tipos de suelos: Caracterización de suelos arcillosos y limosos*. Universidad Nacional de Rosario. <https://www.fceia.unr.edu.ar>

11. Anexos

Anexo 1. Muestreo y preparación del suelo.



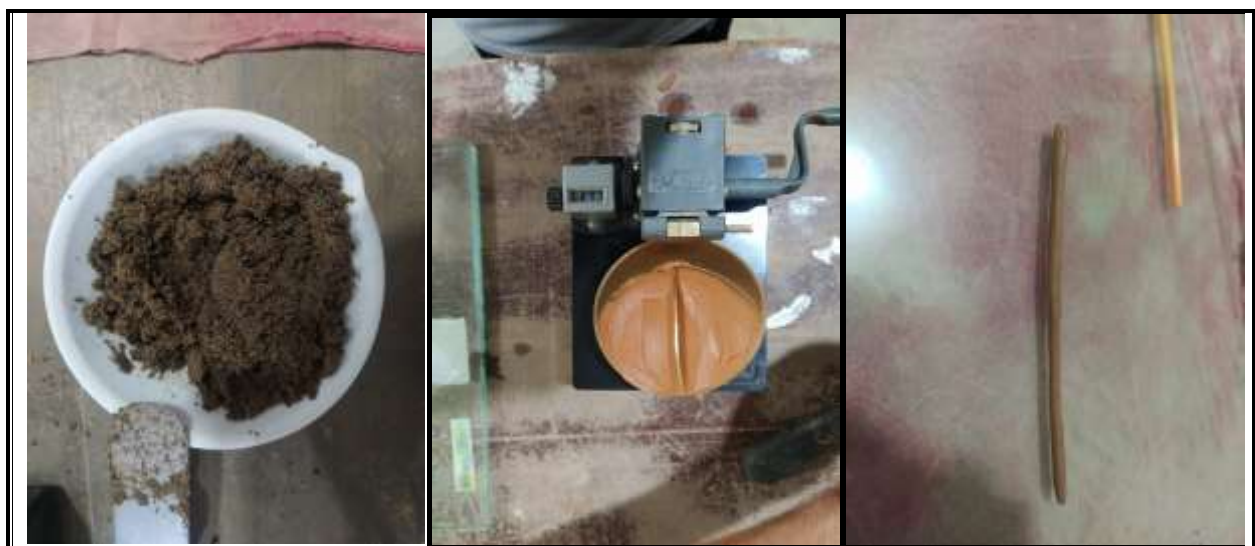
Anexo 2. Ensayo de contenido de humedad.



Anexo 3. Ensayos de granulometría.



Anexo 4. Ensayo de Límites de Atterberg.



Anexo 5. Ensayo de Compactación.



Anexo 6. Formato de Granulometría.

Proyecto: Muestra: Operador:		Color:		Tutor		Lugar		
Fecha:		ANÁLISIS DEL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS DE SUELO (ASTM D-422)						
	ingresar datos	W.inicial seco		gr	mat. Perdido=	0,00	gr	
	resultado				%error < 1% =			
	Tamiz	tamiz mm	W. Ret Par.	W Ret. Parc. Corr.	Ret. Acum.	%Ret Parcial	%Ret Acum.	% Pasa
GRAVA	4"	100						
	3"	80						
	2 1/2"	63						
	2"	50,8						
	1 1/2"	38,1						
	1"	25,4						
ARENA	3/4"	19,1						
	1/2"	12,7						
	3/8"	9,52						
LIMO	4	4,76						
	10	2,0						
	20	0,84						
ARCILLA	40	0,42						
	60	0,25						
	100	0,148						
	200	0,074						
	< 200							
TOTAL			0,00	0,00				

CURVA GRANULOMÉTRICA

Anexo 7. Formato para ensayo de Límites de Atterberg.

Proyecto:						
Muestra:						
Operador:					Tutor:	
Fecha:					Lugar	
METODO PARA DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D 2216						
METODO DE PRUEBA PARA LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO ASTM D 4318						
1.- CONTENIDO DE AGUA	GOLPES	PESO HM.	SECO	DE CAPS	w %	RESULTADO
2.- LIM. LIQUIDO						
3.- LIMITE PLASTICO						

LIMITE LIQUIDO

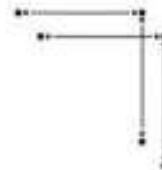
Anexo 8. Formato para ensayo de Próctor.

Proyecto:							
Muestra:							
Operador:		Tutor:					
Fecha:		Lugar:					
METODO DE PRUEBA PARA LAS CARACTERISTICAS DE COMPACTACION ASTM D 698							
Ensayo	Nº						
PESO ESPECIFICO							
Peso de muestra húmeda + molde	Grs.						
Peso del molde	Grs.						
Peso de la muestra húmeda	Grs.						
Volúmen del molde	c.c.						
Densidad húmeda	Gr/c.c.						
CONTENIDO DE HUMEDAD							
Tara	Nº						
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.						
RELACION HUMEDAD-DENSIDAD							
Densidad máxima /gr/cc) Humedad óptima (%)							

Anexo 9. Certificado de Traducción.



Universidad
Nacional
de Loja



Loja, 24 de febrero 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 LOS SUELOS ARCILLOSOS EXISTENTES EN EL SECTOR RURAL DEL NOROCCIDENTE DEL CANTÓN LOJA**, autoría de Juan Carlos Cabrera Piedra con CI: 1150335139 de la carrera de Carrera de 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

Atentamente,



MARLON ARMIJOS RAMÍREZ

MARLON ARMIJOS RAMÍREZ

DOCENTE DE LA CARRERA PINE-UNL

1031-12-1131340

1031-2017-1905329



Educarnos para Transformar

