

UNIVERSIDAD AMAZÓNICA DE PANDO
ÁREA DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS DE GRADO

**“CARACTERIZACIÓN FÍSICO – QUÍMICO Y MECÁNICO DE
ARCILLAS EN EL BARRIO PRIMAVERA”**

Postulante: Univ. Maria Elodia Araúz Pinto

Tutor: Ing. José Luís Richard Manrique Sanabria

Supervisor: Ing. Víctor Salim Vargas Kerdy

Cobija – Pando – Bolívia

2018

AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos:

En primer lugar a mi Dios amado por obrar en mi vida de acuerdo a su voluntad, a mis padres por darme la vida y permitirme cumplir con uno de mis sueños.

A mi querida Universidad por acogerme y brindarme los conocimientos necesarios para poder llegar donde estoy ahora.

Y gracias, a todos los que de manera indirecta pero no menos importante me han colaborado, con aportes emocionales, morales y científicos que contribuyeron a mi formación tanto académica como profesional.

DEDICATORIA

A mis padres María Elena Pinto y Luis Arauz, por darme la vida para llegar a dar este paso tan importante.

A mis hermanas Yuracy y Lesshy por ser mi inspiración y fuente de motivación.

A mi amada hija Naomi Yuracy, razón por la que he cerrado este ciclo de mi vida, siendo mi motivo de superación.

A mi familia, amigos y colegas de trabajo por el incentivo a no desfallecer en los intentos y poder cumplir con mi propósito.

A mi amada abuela Yuracy Pinto (+), y para Ustedes dedico esta memoria.

RESUMEN

La investigación realizada sobre la “CARACTERIZACIÓN FÍSICO – QUÍMICO Y MECÁNICO DE ARCILLAS EN EL BARRIO PRIMAVERA”, se apoyó en la teoría y la práctica de los trabajos de laboratorio, interpretación de resultados, trabajo de gabinete e informe final.

Para la elaboración del mismo se han realizado ensayos de la norma AASHTO y ASTM, en tres muestras, con estratos arcillosos extraídas del lugar de estudio, los mismos que permitieron obtener las caracterizaciones físico – químico y mecánico del suelo de nuestro objeto de investigación. El análisis de resultados de la investigación que conllevaron a distintas valoraciones entre ellas; la capacidad de soporte de los suelos, la resistencia a la compresión simple y al corte no drenado, el índice de consistencia entre otros; permitieron realizar un cuadro resumen de los logros obtenidos y los aportes con los cuales se han concluido, infiriendo que en el citado barrio se clasifica al suelo arcilloso como Caolinita y Halosita no hidratada. Estos resultados contribuyen con material textual y científico, a nuestra Casa Superior de Estudio y a la sociedad civil en general.

PALABRAS CLAVE: Arcillas, Ensayos, Normas, Caolinita, Halosita no hidratada, Geotecnia, Geología, Suelos.

ABSTRACT

The research carried out on the "CHARACTERIZATION PHYSICAL - CHEMICAL AND MECHANICAL OF CLAYS IN THE NEIGHBORHOOD SPRING", relied on the theory and practice of laboratory work, interpretation of results, cabinet work and final report.

For the elaboration of the same have realized tests of the norm AASHTO and ASTM, in three samples, with clay strata extracted from the place of study, the same that allowed to obtain the physical - chemical and mechanical characterizations of the soil of our object of investigation. The analysis of research results that led to different assessments among them; the support capacity of the floors, the resistance to simple compression and the not drained cut, the consistency index among others; they allowed to make a summary table of the obtained achievements and the contributions with which they have been concluded, inferring that in the aforementioned neighborhood the clay soil is classified as kaolinite and not hydrated Halosite. These results contribute textual and scientific material to our Superior House of Studies and to civil society in general.

KEY WORDS: Clays, Tests, Standards, Kaolinite, Halosite not hydrated, Geotechnics, Geology, Soils.

ÍNDICE

1. MARCO INTRODUCTORIO.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN	2
1.2. ANTECEDENTES	4
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.3.1 Situación Problemática.....	5
1.3.2 Formulación del Problema.....	5
1.4. OBJETIVOS	6
1.4.1 Objetivo General.....	6
1.4.2 Objetivos Específicos y Actividades.....	6
1.5. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN.....	7
1.5.1 Justificación.....	7
1.5.2 Delimitación.....	7
1.6. DEFINICIÓN DEL TIPO DE INVESTIGACIÓN	8
1.6.1 Alcance Teórico	9
1.7. HIPÓTESIS.....	9
1.7.1 Formulación de la Hipótesis.....	9
1.8. DISEÑO METODOLÓGICO.....	9
2. MARCO TEÓRICO Y CONTEXTUAL.....	11
2.1. GEOLOGÍA DE LOS SUELOS	12
2.2. CICLO GEOLÓGICO ORIGEN DEL SUELO Y CICLO DE LA ROCA.....	12
2.3. SUELOS	14
2.3.1 CONCEPTO DE ARCILLA.....	17
2.3.2 CARACTERÍSTICAS DE LA ARCILLA.....	20
2.3.1 Formación de suelos arcillosos.-.....	21
2.3.3 Estructura de los Filosilicatos.....	22
2.3.4 Clasificación Laminar	25
2.3.4.1 Grupo de la caolinita.....	27
2.3.4.2 Grupo de la Illita	27
2.3.4.3 Grupo de la montmorillonita.-	28

2.3.4.4 Grupo de la vermiculita	29
2.3.5 <i>Propiedades Físico-Químicas de las Arcillas</i>	29
2.3.5.1 Textura	30
2.3.5.2 Densidad aparente.....	30
2.3.5.3 Permeabilidad	31
2.3.5.4 Color	31
2.3.5.5 Consistencia	32
2.3.5.6 Plasticidad.....	33
2.3.5.7 Compactación	34
2.3.5.8 Conductividad eléctrica	34
2.3.5.9 Capacidad de intercambio catiónico	34
2.3.5.10 Fotometría de emisión de llama.....	35
2.3.6 <i>Propiedades mecánicas</i>	37
2.3.6.1. Capacidad de carga última (qu)	37
2.3.6.2 Capacidad portante o admisible (qadm)	39
2.3.6.3 Número de penetración estándar corregido N60	40
2.3.6.4 Índice de consistencia (IC).....	40
2.3.6.5 Resistencia a la compresión simple (qu).-	41
2.3.6.6 Resistencia cortante de arcillas o cohesión no drenada (cu).....	42
2.4. GEOTECNIA.....	42
2.4.1 <i>Ensayo de Granulometría (AASHTO T-88) (ASTM D422)</i>	43
2.4.2 <i>Ensayo de Límites de Atterberg (AASHTO T-89)</i>	43
2.4.3 <i>Ensayo Para Determinar El Contenido De Humedad (ASTM D-2216)</i>	46
2.4.4 <i>Ensayo Granulométrico Por Medio Del Hidrómetro (ASTM D422)</i>	47
2.5.5 <i>Ensayo De Penetración Estándar (SPT) ASTM D 1586</i>	47
2.5.6 <i>Ensayos Químicos</i>	49
2.5.6.1 Ensayo por el Método del Conductivímetro	49
2.5.6.2 Ensayo por el Método Walkley y Black	50
2.5.6.3 Ensayo por el Método Kjeldahl	51
2.5.6.4 Ensayo por el Método del Fotómetro de llama	52
3. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS	53

3.1.	CARACTERIZACIÓN DE LA ARCILLA EN SU ESTADO NATURAL.....	54
3.2.	CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS	56
3.2.1	<i>Ensayo De Granulometría (AASHTO T-11/ T27)</i>	56
3.2.2	<i>Ensayo Determinación del Contenido de Humedad (ASTM D-2216)</i>	57
3.2.3	<i>Ensayo de Límites de Atterberg AASHTO (T-89 / T-90)</i>	58
3.2.4	<i>Tipos de clasificación de los Suelos</i>	62
3.2.4.1	Clasificación de Suelos AASHTO.....	62
3.2.4.2	Clasificación de Suelos - SUCS.....	63
3.2.5	<i>Análisis Granulométrico por Medio del Hidrómetro</i>	63
3.2.6	<i>Ensayo De Penetración Estándar SPT</i>	64
3.2.7	<i>Ensayo De Peso Específico</i>	67
3.3.	CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE LA ARCILLA ...	67
4.	EVALUACIÓN	69
4.1.	EVALUACIÓN TÉCNICA	70
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
5.1.	CONCLUSIONES	75
5.2.	RECOMENDACIONES.....	76
6.	BIBLIOGRAFÍA	77
7.	ANEXO A	78
8.	ANEXO B	79
9.	ANEXO C	80
10.	ANEXO D	81
11.	ANEXO E	82
12.	ANEXO F	83

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Objetivos y Actividades</i>	6
Tabla 2 <i>Clasificación Laminar</i>	25
Tabla 3 <i>Valores de los límites de Atterberg para los minerales de arcilla</i>	41
Tabla 4 <i>Grado de plasticidad del suelo y potencial de expansividad</i>	46
Tabla 5 <i>Grado de Compacidad y Consistencia de los suelos</i>	49
Tabla 6 <i>Resumen del Ensayo Granulométrico</i>	57
Tabla 7 <i>Resumen del Ensayo de Contenido de Humedad</i>	58
Tabla 8 <i>Resumen del Ensayo de Límites de Atterberg</i>	61
Tabla 9 <i>Resumen de Ensayo de Peso Específico</i>	67
Tabla 10 <i>Resumen del ensayo químico en la muestra 1</i>	68
Tabla 11 <i>Resumen del ensayo químico en la muestra 2</i>	68
Tabla 12 <i>Resumen del ensayo químico en la muestra 3</i>	68
Tabla 13 <i>Tabla comparativa de las tres muestras estudiadas en el barrio Primavera</i>	70
Tabla 14 <i>Ficha Técnica del tipo y características de la arcilla encontrada en la muestra 1</i>	71
Tabla 15 <i>Ficha técnica del tipo y características de la arcilla encontrada en la muestra 2</i>	72
Tabla 16 <i>Ficha técnica del tipo y características de la arcilla encontrada en la muestra 3</i>	73

Índice de Figuras

<i>Figura 1</i> Lugar de extracción de muestras en el Barrio Primavera	2
<i>Figura 2</i> Ubicación de la ciudad de Cobija	8
<i>Figura 3</i> Ciclo Geológico de las Rocas	13
<i>Figura 4</i> Ciclo geológico de la roca	14
<i>Figura 5</i> Conceptualización del suelo de regiones tropicales	16
<i>Figura 6</i> Horizontes de suelos residuales tropicales.....	17
<i>Figura 7</i> Arcilla en su estado natural.....	18
<i>Figura 8</i> Esquema de formación de suelos.....	22
<i>Figura 9</i> Estructura de los Filosilicatos	23
<i>Figura 10</i> Capas Laminares.....	24
<i>Figura 11</i> Estructura laminar de a) dos laminas, b) tres laminas	26
<i>Figura 12</i> Minerales de Arcilla.....	26
<i>Figura 13</i> Partículas microscópicas de la estructura de arcilla Caolinita.....	27
<i>Figura 14</i> Partículas microscópicas de la estructura de arcilla Ilita	28
<i>Figura 15</i> Montmorillonita.....	28
<i>Figura 16</i> Vermiculita	29
<i>Figura 17:</i> Hoja de colores 10YR de la Tabla de Colores Munsell	32
<i>Figura 18</i> Coloración de los diferentes elementos metálicos según la Fotometría.	35
<i>Figura 19</i> Falla general por corte	38
<i>Figura 20</i> Falla local por corte	38
<i>Figura 21</i> Falla de corte por punzonamiento.....	39
<i>Figura 22</i> Consistencia del suelo según al contenido de humedad	43
<i>Figura 23</i> Estados de consistencia del suelo	44
<i>Figura 24</i> Cuchara de Casagrande para determinar el límite líquido del suelo.....	44
<i>Figura 25</i> Determinación del límite líquido del suelo.....	45
<i>Figura 26</i> Rollitos de 3mm.....	45
<i>Figura 27</i> Secado de muestras en el horno.....	47
<i>Figura 28</i> Trípode y toma de muestra	48
<i>Figura 29</i> Medición de la Conductividad Eléctrica de la Arcilla.	50
<i>Figura 30</i> Ensayo para la determinación de Materia Orgánica en la Arcilla	51
<i>Figura 31</i> Determinación de la cantidad de Nitrógeno presente en las muestras.....	51
<i>Figura 32</i> Determinación de los elementos químicos presente en las muestras.....	52
<i>Figura 33</i> Arcilla en el lugar de extracción	54
<i>Figura 34</i> Extracción del material de arcilla	55
<i>Figura 35</i> Arcilla siendo procesada.....	55
<i>Figura 36</i> Arcilla siendo remojada.....	56

<i>Figura 37</i> Peso de la muestra representativa y tamizado	56
<i>Figura 38</i> Aparato de Casa Grande	58
<i>Figura 39</i> Preparación de la muestra	59
<i>Figura 40</i> Muestra para límite plástico.....	60
<i>Figura 41</i> Gráfica de Relación de límites de plasticidad.....	61
<i>Figura 42</i> Probetas en sedimentación.....	63
<i>Figura 43</i> Ejecución del Ensayo SPT.....	64
<i>Figura 44</i> Comparación Estratigráfica de los pozos en estudio	65
<i>Figura 45</i> Comparación Estratigráfica de los pozos de estudio	66

CAPITULO I

1.MARCO INTRODUCTORIO

1.1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como objeto de estudio la caracterización físico – químico y mecánico de los suelos arcillosos en el Barrio Primavera.

Los suelos predominantes en la ciudad de Cobija tienen características de suelos residuales tropicales, que presenta una serie de peculiaridades derivadas de las condiciones ambientales, es decir son suelos con comportamiento y propiedades únicas debido a la acción de proceso geológico típico de las regiones tropicales húmedas, como se muestra en la Imagen 1.



Figura 1 Lugar de extracción de muestras en el Barrio Primavera

Fuente: Elaboración propia.

La Dinámica externa retrata todos los procesos geológicos que, actúan sobre la parte más superficial de la corteza terrestre, modelando el relieve. La acción del agua, el viento, la temperatura sobre las rocas modifican sus características físicas y químicas causando lo que se denomina meteorización.

Los más importantes son: Radiación solar, Temperatura, Humedad, Evaporación, Presión Atmosférica, Viento, Precipitación, Lluvias pequeñas sufren rápidamente evaporación, Lluvias con intensidad superior a la capacidad de infiltración incrementan la escorrentía superficial dando lugar a problemas erosivos.

Los suelos del Barrio Primavera cumplen con las características de los suelos residuales tropicales debido a que el suelo laterítico tiende a endurecerse expuesto al aire, por su gran

contenido de silicatos de aluminios hidratados (arcillas) dentro de su estructura, siendo que su color se provee debido a las impurezas que contiene, desde el color rojo anaranjado hasta el blanco cuando es pura.

Desde distintos puntos de vista de la ingeniería civil las arcillas pueden ser buenas para el aprovechamiento como material de construcción del tipo cerámico, barreras hidráulicas en presas de tierras, recubrimiento de rellenos sanitarios y otros, pero por otra parte las arcillas son perjudiciales para la construcción de edificaciones de gran altura por su baja capacidad portante, en la construcción de vías como material de subrasante ya que presentan un valor relativo de soporte o CBR bajo. Es por estas razones que se realizó estudios específicos sobre las arcillas predominantes del Barrio Primavera para poderlas caracterizar mecánica, física y químicamente, de esta forma se podrá planificar mejor su aprovechamiento en los aspectos positivos y sobre los aspectos negativos se pueden formular metodologías de diseño con parámetros técnicos propios del lugar lo que permitirá tener cálculos más precisos en aspectos técnicos requeridos como capacidad portante y otros.

1.2. ANTECEDENTES

En los últimos años el Municipio de Cobija ha experimentado un alto crecimiento poblacional, donde la mancha urbana se ha expandido a nuevos barrios periféricos sobre los cuales se debe de construir nuevas infraestructura como ser vías de acceso, sistemas de agua potable, unidades educativas, centros de salud, entre otros; lo que implica tener un conocimiento preciso sobre los tipos de suelos predominantes y sus características mecánicas; de esta forma se tiene una mejor planificación de desarrollo urbano.

Las arcillas se caracterizan por adquirir plasticidad al ser mezclada con agua, sonoridad y dureza al extraer su humedad por encima de 800 °C. Es uno de los materiales más baratos y de amplio rango de utilidad en manufactura, industria y ciencias.

En nuestro país, su uso se extiende en más del 50% a los procesos de manufactura y construcción, actualmente con el avance tecnológico y la necesidad de la innovación constante en el campo de los materiales se ha despertado el interés de estudiar y mejorar los usos de nuestros recursos minerales no renovables, dentro de los cuales, no solo están los minerales metálicos, también minerales y rocas industriales como es el caso de las arcillas.

En este trabajo se expresan propiedades mecánicas de un muestreo superficial de afloramientos de arcillas que contribuyen al interés de enfocarse en una descripción mineralógica más detallada, y una definición de las características físicas y químicas de sectores estratégicos de la ciudad de Cobija.

El trabajo investigativo se enmarca en las bases del Manual de Ensayos de Suelos y Carreteras Volumen 4, el mismo que utiliza la norma AASHTO y ASTM en la ejecución de sus ensayos, esto con la finalidad de cumplir los objetivos del mismo.

El proyecto de investigación se llevó a efecto con la colaboración de los Laboratorios de Suelos de ACyT y ACBN respectivamente, de la Universidad Amazónica de Pando y la colaboración externa del Laboratorio de Ensayos del SEDCAM.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido al eminente crecimiento de la construcción y elaboración de obras civiles, es que se toma la importancia de conocer las características de cualidades y calidades de los suelos

donde se va a fundar las edificaciones, puesto que sobre ellos se edificara y se transmitirán todas las cargas de las construcciones, es en ese sentido que se ve la necesidad de encontrar la capacidad de soporte de estos suelos arcillosos, para aportar con información para mejorar la estabilidad geotécnica de las edificaciones a construir, considerando la caracterización físico-químico y mecánico del suelo arcilloso del Barrio Primavera dependiente del Gobierno Autónomo Municipal de Cobija, en el periodo de estudio del año 2017-2018.

1.3.1 Situación Problemática

La escasez de información sobre este material fino (arcilla) en la ciudad de Cobija representa un problema para la construcción de las diferentes infraestructuras como ser vías de acceso, sistemas de agua potable, unidades educativas, centros de salud, entre otros; lo que implica tener un conocimiento preciso sobre los tipos de suelos predominantes y sus características mecánicas; de esta forma se tiene una mejor planificación del eminente desarrollo urbano.

Desde distintos puntos de vista de la ingeniería civil las arcillas pueden ser buenas para el aprovechamiento como material de construcción del tipo cerámico, barreras hidráulicas en presas de tierras, recubrimiento de rellenos sanitarios y otros, pero por otra parte las arcillas son perjudiciales para la construcción de edificaciones de gran altura por su baja capacidad portante y en la construcción de vías como material de subrasante ya que presentan un valor relativo de soporte o CBR bajo. Es por estas razones que se debe realizar estudios específicos sobre las arcillas predominantes de la ciudad de cobija para poderlas caracterizar mecánica, física y químicamente.

1.3.2 Formulación del Problema

¿Cuáles son las características físicas, químicas y mecánicas que se encuentran en las Arcillas del barrio Primavera de la ciudad de Cobija?

1.4.OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Elaborar una tabla comparativa de las características físicas, químicas y mecánica de las Arcillas aplicadas en el barrio Primavera.

1.4.2 Objetivos Específicos y Actividades

- Caracterizar la arcilla en su estado natural.
- Caracterización física-química.
- Caracterización mecánica.
- Presentación de tabla comparativa de las características físico-químico y mecánico.

Tabla 1 *Objetivos y Actividades*

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES
<ul style="list-style-type: none"> ●Extracción de las muestras de suelo. 	<ul style="list-style-type: none"> ●Toma de muestras mediante el SPT – traslado de material.
<ul style="list-style-type: none"> ●Caracterizar la arcilla en su estado natural. 	<ul style="list-style-type: none"> ●Recopilar información sobre la arcilla. ●Traslado de material-Cuarteo. ●Realizar la clasificación y descripción de los suelos mediante la clasificación visual - manual para conocer el tipo de suelo y la clase de partículas que conforman el suelo – arcilla.
<ul style="list-style-type: none"> ●Caracterización física-química. 	<ul style="list-style-type: none"> ●Determinar sus componentes químicos, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, minerales presentes, presencia de materia orgánica.

	<ul style="list-style-type: none"> ●Determinar la densidad, peso específico, contenido de humedad, índice de plasticidad.
<ul style="list-style-type: none"> ●Caracterización mecánica. 	<ul style="list-style-type: none"> ●Elaborar los ensayos de laboratorio utilizando la norma AASHTO y ASTM ●Elaborar planillas con los ensayos realizados en el laboratorio. ●Evaluar los resultados de laboratorio.
<ul style="list-style-type: none"> ●Presentación de tabla comparativa de las características físico-químico y mecánico. 	<ul style="list-style-type: none"> ●Previo análisis de los resultados obtenidos realizar comparaciones con las informaciones recopiladas sobre las arcillas. ●Elaborar cuadro resumen de las características encontradas.

Fuente: Elaboración propia.

1.5. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN

1.5.1 Justificación

Al no contar con estudios sobre las propiedades de la arcilla y su aplicación en el campo se vio la necesidad de estudiar el material de la zona puesto que este material es muy recurrente a simple vista , esta caracterización es de gran importancia debido a que dentro de nuestro territorio se construye obras civiles sobre este material, es por ello que se debe tener conciencia del material donde se edificara, es en ese sentido que sabiendo su composición química se puede sugerir aplicaciones o alternativas de optimización de la misma.

1.5.2 Delimitación

El presente trabajo está destinado específicamente a ser utilizado en el barrio Primavera, municipio de Cobija ubicado en el departamento del Pando, donde se extrajeron muestras de suelo arcillosos para realizar su respectiva caracterización física, química y mecánica,

mediante pruebas de ensayos que se detallan en el presente trabajo. Cobija es una ciudad boliviana situada en la provincia de Nicolás Suárez, dentro del departamento de Pando, como se muestra en la figura 2, este municipio cuenta con aproximadamente 55.692,00 habitantes, es la mayor población del departamento. Geográficamente se localiza en la cuenca amazónica, situada a orillas del Río Acre. Es una ciudad de constante crecimiento, es el sostén de la región y de todo el departamento. El barrio Primavera que fue objeto de estudio en la presente investigación se encuentra al Sur de la ciudad de Cobija, aproximadamente a 7 km de la ciudad en las zonas de crecimiento; se ha escogido tres puntos aleatorios dentro del barrio donde a simple vista se encuentran depósitos de arcilla, despertando de ésta manera mi curiosidad por realizar una caracterización y clasificación del tipo de arcilla a la que corresponde.

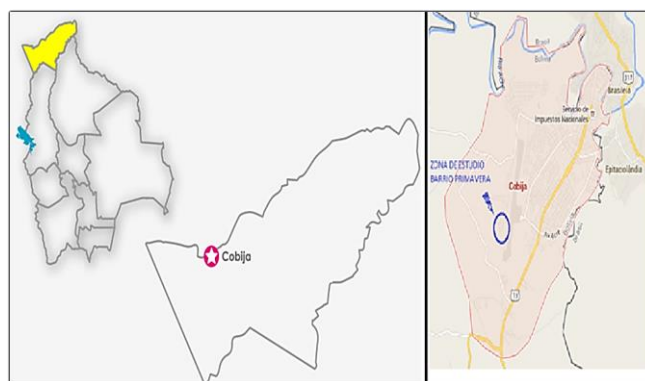


Figura 2 Ubicación de la ciudad de Cobija

Fuente: Elaboración propia en base a IGM (Instituto Geográfico Militar).

1.6.DEFINICIÓN DEL TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación que se adoptó en la presente tesis fue un Estudio Exploratorio, el mismo consiste en indagar una realidad poco estudiada en nuestro entorno, como lo son las arcillas; es decir, explorar y descubrir posibilidades que ayuden a identificar a que especie corresponde el material arcilloso en estudio. Este tipo de investigación se utiliza cuando el tema a investigar es poco conocido o ha sido poco o nada estudiado, teniendo la posibilidad de extender su estudio a mayor profundidad en tesis futuras.

1.6.1 Alcance Teórico

El trabajo tiene como alcance teórico:

- Caracterización general de la arcilla en su estado natural determinando sus respectivas propiedades.
- Analizar las propiedades químicas de la arcilla seleccionada para determinar su composición mineralógica.
- Analizar las propiedades físico - mecánicas de la arcilla seleccionada para identificar la especie a la que corresponde.

1.7. HIPÓTESIS

1.7.1 Formulación de la Hipótesis

Con la aplicación de metodologías normalizadas de un estudio geotécnico se determinará la caracterización físico, químico y mecánico del suelo arcilloso y de esta manera se clasificará cada muestra obtenida en la especie de arcilla que corresponde.

1.8. DISEÑO METODOLÓGICO

El presente estudio adoptó el Diseño Metodológico Experimental que es una técnica estadística que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental. En un diseño experimental se manipulan deliberadamente una o más variables, vinculadas a las causas, para medir el efecto que tienen en otra variable de interés.

El diseño experimental prescribe una serie de pautas relativas de qué variables hay que manipular, de qué manera, cuántas veces hay que repetir el experimento y en qué orden para poder establecer con un grado de confianza predefinido la necesidad de una presunta relación de causa-efecto. Por lo que se inició con la recopilación de información sobre las Arcillas en

general, se consideró necesario reunir información sobre las diferentes especies y los ensayos de laboratorio necesarios para determinar las características que condicionan las arcillas.¹

Luego de analizada la información recopilada, se definieron los puntos estratégicos de muestreo y se procedió, mediante trabajo de campo, a la recolección de las muestras de arcilla y su posterior análisis. A través de estos resultados, se logró cumplir con el objetivo y deducir las conclusiones y plantear las recomendaciones al tema, sujeto de la presente investigación.

¹ https://es.wikipedia.org/wiki/Diseño_experimental

CAPITULO II

2.MARCO TEÓRICO Y CONTEXTUAL

2.1. GEOLOGÍA DE LOS SUELOS

La geología es la ciencia que trata de la estructura del globo terráqueo y a su vez estudia la composición, el mecanismo de formación, la evolución desde sus orígenes.

La geología es la ciencia que concierne a la tierra y las rocas de las que está constituida, los procesos que las formaron durante el tiempo geológico y el modelado de la superficie en el pasado y en el presente. La tierra no es un cuerpo estático sino que continuamente está sujeta a cambios, tanto en su superficie como a niveles más profundos.²

Las arcillas son constituyentes esenciales de gran parte de los suelos y sedimentos debido a que son, en su mayor parte, productos finales de la meteorización de los silicatos que, formados a mayores presiones y temperaturas, en el medio exógeno se hidrolizan.

La formación geológica de los suelos arcillosos se realizó en un período Pleistoceno los cambios fueron bruscos a nivel global debido al aumento de la masa de hielo, produjeron una disminución abrupta en la temperatura de la superficie del mar, estos cambios iniciaron un enfriamiento global repentino. La tasa de laterización habría disminuido con el enfriamiento brusco de la tierra.³

2.2. CICLO GEOLÓGICO ORIGEN DEL SUELO Y CICLO DE LA ROCA

El suelo tiene su origen en la roca a través de la meteorización y otros procesos geológicos que experimentan las rocas que se encuentran cerca de la superficie terrestre, es decir la desintegración de estas en pedazos cada vez más pequeños, que en contacto con el medio ambiente (agua y aire) se concentran formando el suelo.

Las rocas tienen su origen a partir de varios procesos geológicos, los más importantes que dan origen a una variedad de rocas son: la cristalización de los minerales que la componen

² W.Griem & S.Griem-Klee: "Apuntes De Geología General"

³ Gobierno De La India Ministerio Ofmines Indian Oficina De Minas "Indira Bhavan, Civil Lines"

durante la solidificación del magma, la cementación de las partículas del suelo de un depósito y el metamorfismo. Una roca puede transformarse a un otro tipo de roca a causa de cambios físicos y/o químicos como la meteorización/erosión a este proceso se lo denomina ciclo de la roca, el ciclo de la roca es un proceso geológico extremadamente lento, donde la roca va transformándose en tres categorías diferentes de roca, que son las: ígneas, sedimentarias y metamórficas, como se muestra en la figura 3.

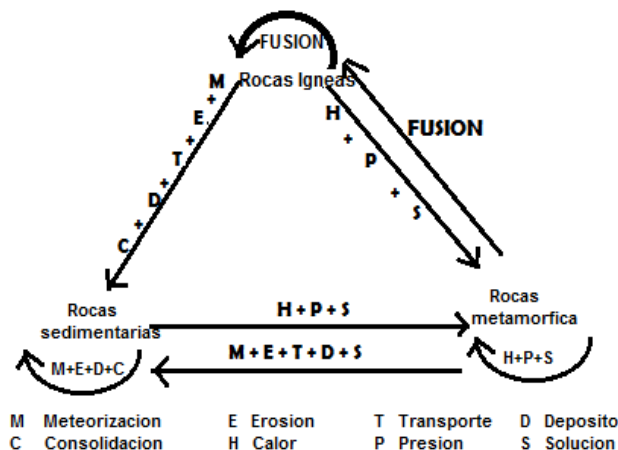


Figura 3 Ciclo Geológico de las Rocas

Fuente: Tecnología y Propiedades, Jaime Gómez Jurado Sarria.

El ciclo empieza cuando el magma sale a la superficie terrestre debido a una erupción volcánica, donde este se enfría en la superficie de la corteza terrestre o dentro de ella, formando así rocas ígneas extrusivas o intrusivas respectivamente.

Estas rocas pueden fundirse nuevamente en una futura erupción y convertirse en parte del magma, o de lo contrario sufrir un proceso de metamorfismo debido a presión y temperatura convirtiéndose así en roca metamórfica.

Durante una erupción el material expulsado se esparce por la superficie terrestre, en contacto con el medio ambiente se meteoriza formando de esta manera el suelo. Si es compactado por presión y sobrecarga, se forma nuevamente la roca metamórfica. La roca metamórfica puede nuevamente fundirse y ser parte del magma o sufrir un proceso de meteorización convirtiéndose en suelo, al igual que el caso de la roca ígnea el sedimento producto de la meteorización puede nuevamente cementarse y convertirse en roca sedimentaria. La roca sedimentaria puede sufrir también un proceso de metamorfismo recristalizándose y

convertirse en roca metamórfica, o de lo contrario sufrir meteorización convirtiéndose en sedimento que formará parte del suelo, donde todos los procesos del ciclo nuevamente se repiten, como muestra la figura 4.⁴

Es importante tomar en cuenta el origen de las rocas para la siguiente investigación debido a que las arcillas se forman por descomposición de la roca y lavado por corrientes de agua ocasionales.

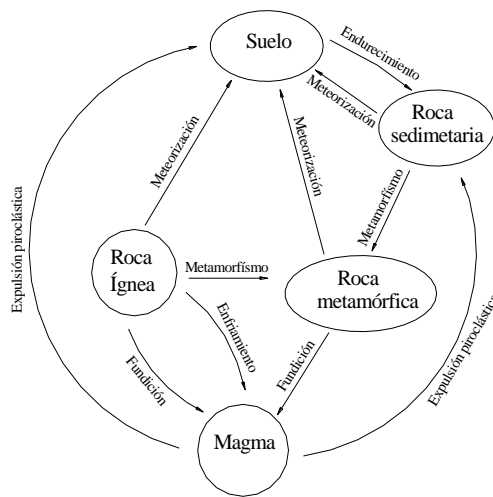


Figura 4 Ciclo geológico de la roca

Fuente: Fundamentos de mecánica, Braja Das pag.11.

2.3. SUELOS

La mayoría de los suelos que cubren la tierra están formados por el intemperismo de varias rocas. Hay dos tipos generales de intemperismo. 1) Intemperismo mecánico e 2) Intemperismo químico.

El intemperismo mecánico es un proceso mediante el cual las rocas se descomponen en piezas cada vez más pequeñas por las fuerzas físicas sin ningún cambio en su composición química. Los cambios en la temperatura dan por resultado expansión y contracción de las

⁴ Tecnología Y Propiedades, Jaime Gómez Jurado Sarria

rocas debido a una ganancia y pérdida de calor. La expansión y contracción continuas provocarán grietas en las rocas. Hojuelas y grandes fragmentos de rocas se desprenden. La acción de congelamiento es otra Fuente del intemperismo mecánico de las rocas. El agua puede entrar en los poros, grietas y otras aberturas en la roca. Cuando la temperatura baja, el agua se congela, por lo que aumenta su volumen en aproximadamente 9%. Esto da por resultado una presión hacia fuera desde el interior de la roca. El congelamiento y descongelamiento continuos provocarán el rompimiento de una masa de roca. La exfoliación es otro proceso de intemperismo mecánico mediante el cual placas de roca se desprenden de rocas grandes por medio de fuerzas físicas. El intemperismo mecánico de las rocas también tiene lugar debido a la acción de corrientes de agua, de glaciares, del viento, de las olas del océano, etcétera.

El intemperismo químico es un proceso de descomposición o alteración mineral en el que los minerales originales se transforman en algo completamente diferente. Por ejemplo, los minerales comunes en las rocas ígneas son el cuarzo, el feldespato y los minerales ferromagnesianos.

La mayor parte del intemperismo de las rocas es una combinación del intemperismo mecánico y del químico. El suelo producido por el intemperismo de las rocas puede ser transportado por procesos físicos a otros lugares. Los depósitos de suelo resultantes se denominan suelos transportados. En contraste, algunos suelos permanecen donde se formaron y cubren la superficie de las rocas de las cuales se derivaron. A estos suelos se les refiere como suelos residuales.

Los suelos transportados se pueden subdividir en cinco categorías principales con base en su agente de transportación:

- ❖ Suelo transportado por gravedad.
- ❖ Depósitos lacustres (lagos).
- ❖ Suelo aluvial o fluvial depositado por corrientes de agua.
- ❖ Glaciares depositados por glaciares.
- ❖ Eólicos depositados por el viento.

Además de los suelos transportados y residuales, existen turbas y suelos orgánicos, que se derivan de la descomposición de materiales orgánicos.⁵

Los suelos tropicales son suelos con comportamiento y propiedades únicas debido a la acción de proceso geológico típica de las regiones tropicales húmedas. Entre los suelos tropicales destacar dos grandes clases: los suelos lateríticos y suelos saprolíticos. Los siguientes suelos se encuentran en las regiones tropicales, como ser la laterita, saprolita y suelos transportados. La figura 5 muestra un perfil esquemático de la ocurrencia de estos tipos de suelos.

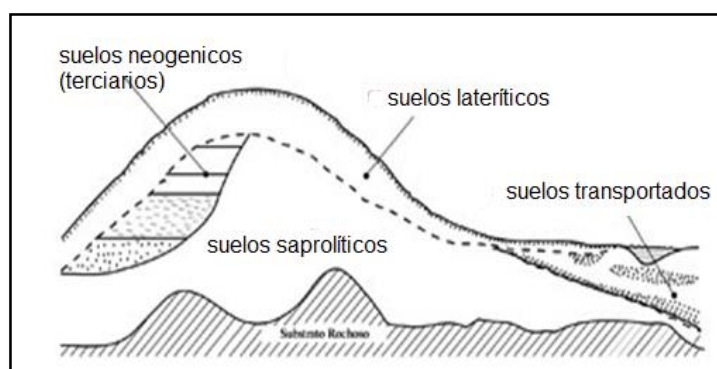


Figura 5 Conceptualización del suelo de regiones tropicales

Fuente: Suelos residuales Nogami y Villibor.

Los suelos lateríticos (del latín: ladrillo) los suelos superficiales son típicos de partes bien drenados de las regiones tropicales húmedas, lo que resulta en una transformación de la parte superior del subsuelo por las acciones de la intemperie, por un proceso llamado laterización. Los suelos saprolíticos (SAPRO, griego podrida), son los que resultan de la descomposición o ruptura de matriz de la roca in situ por las inclemencias del tiempo (lluvia, sol, heladas) y mantener, de manera clara, la estructura de la roca que originado.⁶

⁵ Braja M. Das (Septima Edicion)

⁶ Suelos Residuales Nogami Y Villibor

Los suelos saprolíticos son por lo tanto parte de la capa subyacente de la capa superior del suelo de laterita (o posiblemente otro tipo de suelo) que aparecen en la superficie de la tierra, sólo a causa de las obras realizadas por el hombre o erosiones. Estos suelos son más heterogéneos y consisten en una mineralogía compleja que contiene minerales todavía en el proceso de descomposición. Una característica muy común en el horizonte superficial, o en su límite, es la presencia de una línea de piedras de espesor variable (desde unos pocos centímetros a 1,5 m), que define el horizonte de laterita. La figura 6 ilustra la ocurrencia de los suelos de saprolita y laterita.



Figura 6 Horizontes de suelos residuales tropicales

Fuente: Suelos residuales Nogami y Villibor.

2.3.1 CONCEPTO DE ARCILLA

La arcilla es una roca sedimentaria descompuesta constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratado, procedente de la descomposición de rocas que contienen feldespato, como el granito. Presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene, desde el rojo anaranjado hasta el blanco cuando es pura. Físicamente se considera un coloide, de partículas extremadamente pequeñas y superficie lisa. El diámetro de las partículas de la arcilla es inferior a 0,002 mm. Químicamente es un silicato hidratado de alúmina, cuya fórmula es:



Se caracteriza por adquirir plasticidad al ser mezclada con agua, y también sonoridad y dureza al calentarla por encima de 800 °C. Estos minerales están constituidos de láminas de tetraedros con una composición química general de Si_2O_5 , en donde cada tetraedro (SiO_4)

está unido por sus esquinas a otros tres formando una red hexagonal. Átomos de aluminio y hierro pueden reemplazar parcialmente al silicio en la estructura.

Los átomos de oxígeno ubicados en los ápices de los tetraedros de estas láminas pueden, al mismo tiempo, formar parte de otra lámina paralela compuesta por octaedros. Estos octaedros suelen estar coordinados por cationes de Al, Mg, Fe, es decir, los átomos de estos elementos ocupan la posición central del octaedro.

Las relativamente grandes superficies de los minerales de la arcilla pueden adsorber iones y moléculas debido a que están cargadas de electricidad estática.⁷

Dependiendo del contenido mineral de la tierra, la arcilla, puede aparecer en varios colores, desde un pálido gris a un oscuro rojo anaranjado, como podemos observar en la Imagen 2. La humanidad descubrió las útiles propiedades de la arcilla en tiempos prehistóricos, y los recipientes más antiguos descubiertos son las vasijas elaboradas con arcilla. También se utilizó, desde la prehistoria, para construir edificaciones de tapial, adobe y posteriormente ladrillo, elemento de construcción cuyo uso aún perdura y es el más utilizado para hacer muros y paredes en el mundo moderno.



Figura 7 Arcilla en su estado natural

Fuente: Elaboración propia

⁷ Enciclopedia Virtual, Wikipedia.

En general no se encuentran arcillas puras de cada tipo, sino mezcladas, aunque predomine un mineral determinado, es por ello que se menciona algunas de estas especies:

Caoliníticas

Son las arcillas más puras, las cuales, por presentar un elevado porcentaje de alúmina y, por lo tanto, un elevado punto de fusión, tienen después de cocidas propiedades refractarias. Dentro de la cual se sub dividen entre las que se pueden destacar **haloisita**, **nacrita**, **anxita** y **metaloisita**, se encuentran en el suelo en escasa proporción; su composición química y mineralógica es prácticamente igual a la caolinita, siendo diferente en lo que se refiere a la sustitución parcial del Al^{+3} por Fe^{+2} , Mg^{+2} , Ni^{+2} o Mn^{+2} . La haloisita está algo más hidratada.

Montmorilloníticas

Este tipo de arcilla resulta inestable, especialmente en presencia de agua. Las moléculas de agua atraídas se insertan con facilidad entre ellas causando hinchamiento o expansión. Es muy demandada en la industria de la innovación por su diminuta granulometría y su capacidad de expansión. Este grupo de arcillas, en el que la montmorillonita es la principal, lo integran también especies afines, como baidelita (Si parcialmente sustituido por Al), nontronita (Al parcialmente sustituido por Fe), stevensita (Al parcialmente sustituido por Mg) y saponita, entre otras. Con excepción de la montmorillonita, se encuentran en pequeña proporción y tan solo en algunos suelos. En la montmorillonita las unidades cristalinas están formadas por dos láminas de sílice y una de alumina intercalada y tenazmente unida las dos de sílice por átomos de oxígeno. Estas unidades cristalinas están ligadas unas a otras mediante puentes oxígeno-oxígeno. Ello permite a estas arcillas, cuando están mojadas, una expansión amplia de la red y como consecuencia, la fácil entrada y adsorción de agua y cationes en las superficies internas.

Ilíticas

Son arcillas no expansivas son las más utilizadas, por ser las más abundantes, ya que se encuentran en sedimentos, rocas arcillosas sedimentarias. La ilita presenta una organización estructural semejante a la montmorillonita. Las micas hidratadas pueden considerarse como

productos primarios de la descomposición de las rocas feldespáticas, y parece ser que en ella tiene lugar gran número de sustituciones isomórficas, las cuales pueden dar lugar al cambio de sodio por potasio e inversamente.

Su superficie, plasticidad, cohesión y carácter coloidal pueden considerarse intermedia entre la caolinita y la montmorillonita. La capacidad de cambio de cationes suele oscilar entre 15 y 40 me/100g.

Vermiculita

La vermiculita, arcilla principal de este grupo, presenta un retículo cristalino similar a la illita, pero en lugar de contener potasio entre las láminas silíceas adyacentes, contiene magnesio. Su espaciamiento basal es mayor, y debido a que puede adsorber además agua, se la conoce como arcilla hinchable.

En esta arcilla, los Mg^{+2} hidratados son fácilmente reemplazables por otros cationes, pudiendo dar origen a otros minerales arcillosos. Admitiendo sustituciones iónicas, al igual que en la clorita.

2.3.2 CARACTERÍSTICAS DE LA ARCILLA

Una de las principales características de las arcillas es la plasticidad. Se entiende por tal la propiedad de un cuerpo que puede deformarse bajo la acción de un esfuerzo y que permanece deformado después de retirada la causa que ha producido dicho cambio. La plasticidad depende de muchas propiedades de las arcillas, y una de ellas es el contenido en agua. Si la arcilla está totalmente seca, no es plástica. Si se le añade agua, se observa un incremento de la plasticidad, que llegará a un máximo para un contenido de agua determinado. Si seguimos añadiendo agua, se obtiene un líquido más o menos viscoso pero toda idea de plasticidad habrá desaparecido. La estructura laminar de la arcilla y el pequeñísimo tamaño de las partículas también influyen en la plasticidad. Hay un cierto contenido de agua mínimo por debajo del cual la arcilla deja de comportarse como una masa plástica y se convierte en un material disgregable. A éste contenido de agua se le denomina límite plástico de la arcilla. Como se ha dicho, al aumentar la cantidad de agua la arcilla se convierte en un material plástico hasta un contenido de agua determinado para el cuál la arcilla comienza a fluir como un líquido espeso.

A este otro contenido de agua se le llama límite líquido. La diferencia entre ambos límites recibe el nombre de índice de plasticidad. La acción del calor sobre las arcillas es la base de la industria cerámica. Cuando un cuerpo moldeado en arcilla se somete a la acción del calor experimenta una serie de cambios que lo transforman en un elemento útil con una resistencia mecánica apreciable, una determinada impermeabilidad, una cierta resistencia al fuego, entre otras propiedades.⁸

Al no contar con información de las características de estos suelos residuales tropicales de Cobija, mas propiamente del barrio Primavera con respecto a sus características físicas, químicas y mecánicas de las arcillas, por lo cual se ve la necesidad de estudiar con énfasis a la arcilla para determinar propiedades físicas como la granulometría, límite líquido, límite plástico, peso específico, spt entre otros y además caracterizarlo químicamente debido a que futuramente podríamos profundizarlas detalladamente mecánicas, hidráulicas e ingenierilmente para ser aplicadas a obras civiles. Estos ensayos representan las principales especificaciones que determinen su bien cumplir para poder ser empleados en futuras aplicaciones.

2.3.1 Formación de suelos arcillosos.-

La arcilla es un mineral procedente de la descomposición de rocas que contienen feldespato, por ejemplo granito, originada en un proceso natural que demora decenas de miles de años. El suelo producido por la meteorización de rocas llega a ser transportado mediante procesos físicos a otros lugares. Esos suelos se llaman suelos transportados, mientras que los suelos que permanecen donde se forman y cubren la superficie rocosa de la que se originan, se llaman suelos residuales. La Arcilla físicamente se considera un coloide, de partícula extremadamente pequeña y superficie lisa. El diámetro de las partículas de la arcilla es inferior a 0,002 mm. En la fracción textural arcilla puede haber partículas no minerales, los fitolitos. Se caracteriza por adquirir plasticidad al ser mezclada con agua, y también sonoridad y dureza al calentarla por

⁸ Geología Y Geotecnia (2014)

encima de 800° C. Los suelos arcillosos pertenecen al grupo de los suelos residuales debido a que se forman en lugares de acumulación de sedimentos que se dan a lugar con el paso del tiempo.

A continuación se muestra un esquema del desarrollo de los suelos residuales y transportados, de acuerdo a la Figura 8.



Figura 8 Esquema de formación de suelos

Fuente: Elaboración propia.

2.3.3 Estructura de los Filosilicatos

Como veremos, las propiedades de las arcillas son consecuencia de sus características estructurales. Por ello es imprescindible conocer la estructura de los filosilicatos para poder comprender sus propiedades.

Las arcillas, al igual que el resto de los filosilicatos, presentan una estructura basada en el apilamiento de planos de iones oxígeno e hidroxilos. Los grupos tetraédricos (SiO) se unen compartiendo tres de sus cuatro oxígenos con otros vecinos formando capas, de extensión infinita, que constituyen la unidad fundamental de los filosilicatos.

En ellas los tetraedros se distribuyen formando hexágonos. El silicio tetraédrico puede estar, en parte, sustituido por Al³⁺ o Fe³⁺. Estas capas tetraédricas se unen a otras octaédricas de tipo gibbsita o brucita. En ellas algunos Al³⁺ o Mg²⁺, pueden estar sustituidos por Fe²⁺ o

Fe^{3+} y más raramente por Li, Cr, Mn, Ni, Cu o Zn. El plano de unión entre ambas capas está formado por los oxígenos de los tetraedros que se encontraban sin compartir con otros tetraedros (oxígenos apicales), y por grupos (OH) de la capa brucítica o gibsitica, de forma que, en este plano, quede un (OH)- en el centro de cada hexágono formado por 6 oxígenos apicales. El resto de los (OH)- son reemplazados por los oxígenos de los tetraedros ver Figura 9.

Una unión similar puede ocurrir en la superficie opuesta de la capa octaédrica. Así, los filosilicatos pueden estar formados por dos capas: tetraédrica más octaédrica y se denominan bilaminares, 1:1, o T:O; o bien por tres capas: una octaédrica y dos tetraédricas, denominándose trilaminares, 2:1 o T:O:T. A la unidad formada por la unión de una capa octaédrica más una o dos tetraédricas se la denomina lámina.

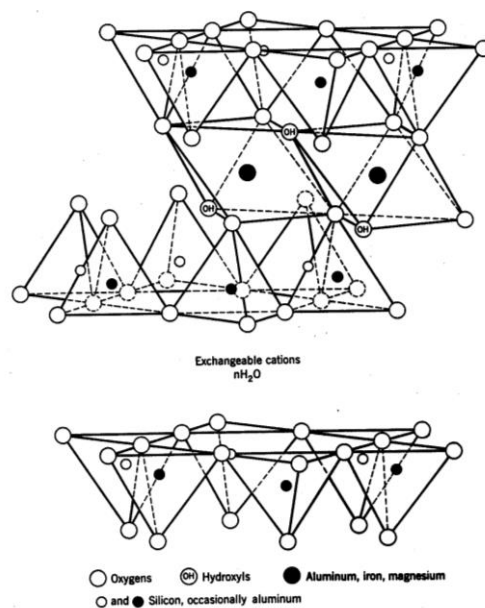


Figura 9 Estructura de los Filosilicatos

Fuente: Geología de Arcillas, Universidad de Salamanca.

Si todos los huecos octaédricos están ocupados, la lámina se denomina trioctaédrica (Mg dominante en la capa octaédrica). Si solo están ocupadas dos tercios de las posiciones octaédricas y el tercio restante está vacante, se denomina dioctaédrica (el Al es el catión octaédrico dominante). En algunos filosilicatos (esmeclitas, vermiculitas, micas...) las láminas no son eléctricamente neutras debido a las sustituciones de unos cationes por otros de distinta

carga. El balance de carga se mantiene por la presencia, en el espacio interlaminar, o espacio existente entre dos láminas consecutivas, de cationes (como por ejemplo en el grupo de las micas), cationes hidratados (como en las vermiculitas y esmectitas) o grupos hidroxilo coordinados octaédricamente, similares a las capas octaédricas, como sucede en las cloritas.

A éstas últimas también se las denomina T:O:T:O o 2:1:1. La unidad formada por una lámina más la interlámina es la unidad estructural. Los cationes interlaminares más frecuentes son alcalinos (Na y K) o alcalinotérreos (Mg y Ca). Las fuerzas que unen las diferentes unidades estructurales son más débiles que las existentes entre los iones de una misma lámina, por ese motivo los filosilicatos tienen una clara dirección de exfoliación, paralela a las láminas.⁹

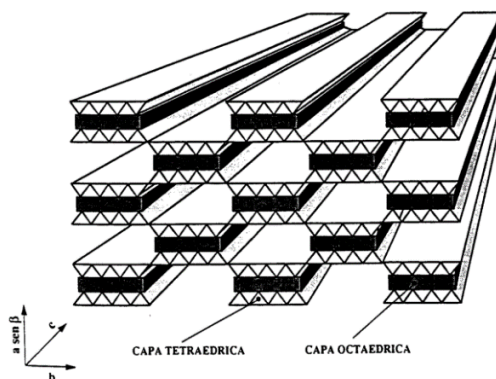


Figura 10 Capas Laminares

Fuente: Geología de Arcillas, Universidad de Salamanca.

También pertenecen a este grupo de minerales la Sepiolita y la Paligorskita, a pesar de presentar diferencias estructurales con el resto de los filosilicatos. Estructuralmente están formadas por láminas discontinuas de tipo mica. A diferencia del resto de los filosilicatos, que son laminares, éstos tienen hábito fibroso, ya que la capa basal de oxígenos es continua, pero los oxígenos apicales sufren una inversión periódica cada 8 posiciones octaédricas (Sepiolita) o cada 5 posiciones (Paligorskita). Esta inversión da lugar a la interrupción de la capa octaédrica que es discontinua, como se aprecia en la figura 10.

⁹ Geología De Arcillas, Universidad De Salamanca.

2.3.4 Clasificación Laminar

Los filosilicatos se clasifican atendiendo a que sean bilaminares o trilaminares y dioctaédricos o trioctaédricos, de acuerdo a la tabla 4. Como puede verse pertenecen a los filosilicatos grupos de minerales tan importantes como las micas y las arcillas.¹⁰

Tabla 2 Clasificación Laminar

	DIOCTAÉDRICOS		TRIOCTAÉDRICOS	
BILAMINARES T : O 1:1	CANDITAS	Caolinita	SERPENTINA	Antigorita
		Nacrita		Crisotilo
		Dickita		Lizardita
		Halloisita		Bertierina
TRILAMINARES T : O : T 2 : 1	Pirofillita		Talco	
		Montmorillonita		Saponita
	ESMECTITAS	Beidellita	ESMECTITAS	Hectorita
		Nontronita		
	Vermiculitas		Vermiculitas	
	Illitas			
		Moscovita		Biotita
	MICAS	Paragonita	MICAS	Flogopita
			Lepidolita	
T : O . T : O 2 : 1 : 1	CLORITAS			
FIBROSOS	Paligorskita		Sepiolita	

Fuente: Geología de Arcillas, Universidad de Salamanca.

Estructura de los minerales de arcilla

Los minerales arcillosos son formados principalmente por la meteorización química de las rocas, es decir que estos minerales son producto de la alteración de minerales preexistentes en la roca. Estos minerales son tan diminutos que sólo pueden ser vistos utilizando un microscopio electrónico.

La separación entre los iones externos de las láminas de tetraédricas y octaédricas es suficiente para que ambas láminas puedan unirse por medio de iones oxígeno u oxidrilo mutuamente; esto hace posible la formación de estructuras laminares de dos o de tres láminas. En la estructura de dos láminas mostrada en la Figura 11 (a), las láminas tetraédricas y octaédricas están alternadas, mientras que la de tres láminas mostrada en la Figura 11(b)

¹⁰ Emilia García Romero: Universidad Complutense (Madrid); Mercedes Suárez Barrios: Universidad De Salamanca

consiste de una lámina octaédrica emparedada entre dos láminas tetraédricas, estas dos formas de estructuras laminares son generales para formar las distintas variedades de minerales de arcilla.

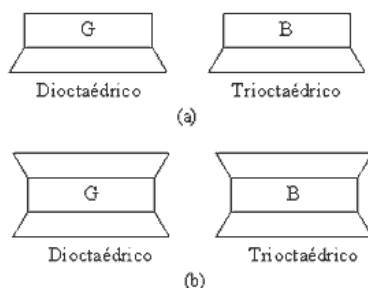


Figura 11 Estructura laminar de a) dos laminas, b) tres laminas

Fuente: página Web.

La variedad de los minerales de arcilla, depende de la distribución de apilación de estas estructuras laminares, así como del tipo de iones que proveen el enlace de las mismas. La figura 12 muestra los minerales de arcilla más comunes.

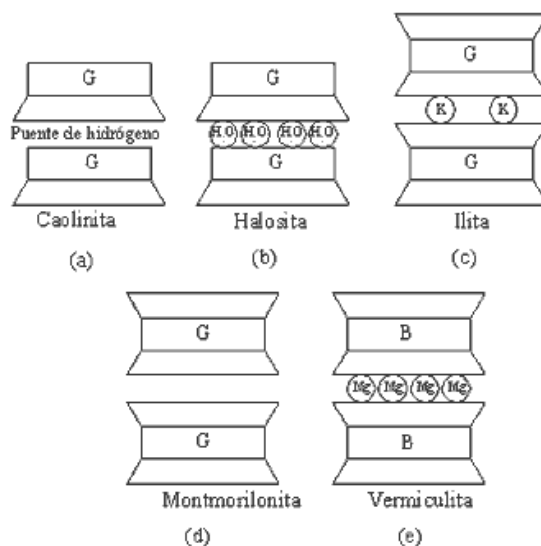


Figura 12 Minerales de Arcilla

Fuente: Juan Carlos Rojas Vidovic, Phd.

La abundante variedad de minerales de arcilla, está bastante relacionada a la estructura de los minerales que se muestran en la Figura 12, por lo que se pueden identificar a cinco grupos de minerales arcillosos que son:

2.3.4.1 Grupo de la caolinita

La caolinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) es el principal constituyente del caolín y las arcillas para porcelana. Las caolinitas son producto de la meteorización del feldespato ortoclasa proveniente del granito y comúnmente se encuentran en suelos compuestos de sedimento. La caolinita se presenta en hojuelas hexagonales de tamaño pequeño, su estructura consiste en una distribución de dos láminas de sílice y gibsita fuertemente enlazadas, como se puede apreciar en la figura 13. Algunos minerales de arcilla que pertenecen a este grupo son: la **dickita** que tiene la misma composición de la caolinita pero con un orden diferente en sus láminas y la **halosita** que generalmente aparece en algunos suelos tropicales, cuyas láminas en forma tubular están enlazadas por moléculas de agua, entre otras.

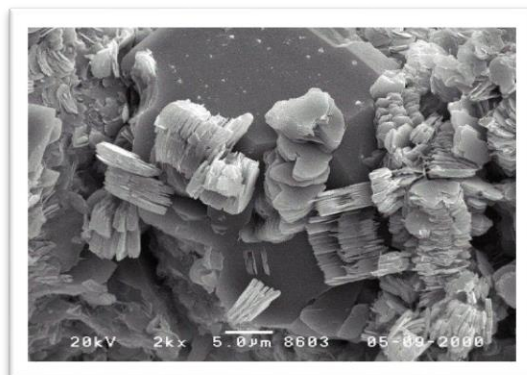


Figura 13 Partículas microscópicas de la estructura de arcilla Caolinita

Fuente: Juan Carlos Rojas Vidovic, Phd.

2.3.4.2 Grupo de la Illita

La illita es el resultado de la meteorización de las micas, es similar en muchos aspectos a la mica blanca pero tiene menos potasio y más agua en su composición. Se presenta en forma de hojuelas y su estructura consiste en arreglos de tres láminas de gibsita con los iones de K proporcionando el enlace entre láminas adyacentes de sílice como muestra la figura 14. Debido a que el enlace es más débil que el de la caolinita sus partículas son más pequeñas y delgadas. Estructura formada por tres capas, son un poco más expansivos que la caolinita.

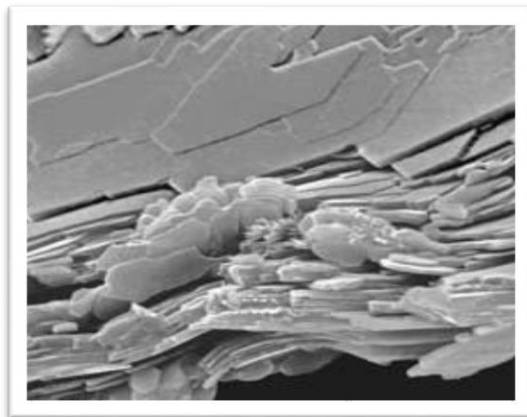


Figura 14 Partículas microscópicas de la estructura de arcilla Illita

Fuente: Juan Carlos Rojas Vidovic, Phd.

2.3.4.3 Grupo de la montmorillonita.-

La montmorillonita es el constituyente principal de la bentonita y otras variedades similares de arcilla. Las montmorillonitas suelen ser el resultado de la meteorización del feldespato plagioclasa en los depósitos de ceniza volcánica. Su estructura fundamental consiste de distribuciones de tres láminas, cuya lámina octaédrica intermedia es casi siempre gibsita o en otro caso brucita.

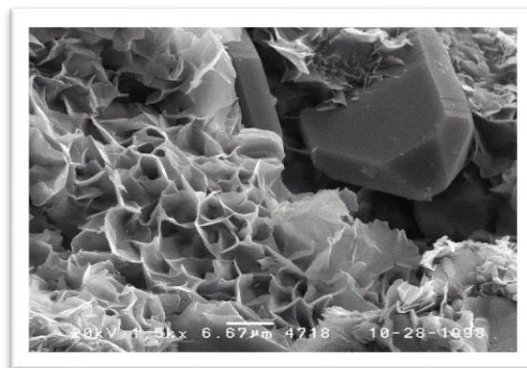


Figura 15 Montmorillonita

Fuente: Juan Carlos Rojas Vidovic, Phd.

Diversos enlaces metálicos además del potasio (K) forman enlaces débiles entre las láminas como muestra la figura 15. Una característica particular de los minerales del grupo de la montmorillonita es su considerable aumento de volumen al absorber partículas de agua.

2.3.4.4 Grupo de la vermiculita

Este grupo contiene productos de la meteorización de la biotita y la clorita. La estructura de la vermiculita es similar a la montmorillonita, excepto que cationes que proporcionan los enlaces entre láminas son predominantemente Mg, acompañados por algunas moléculas de agua como muestra la figura 16.¹¹

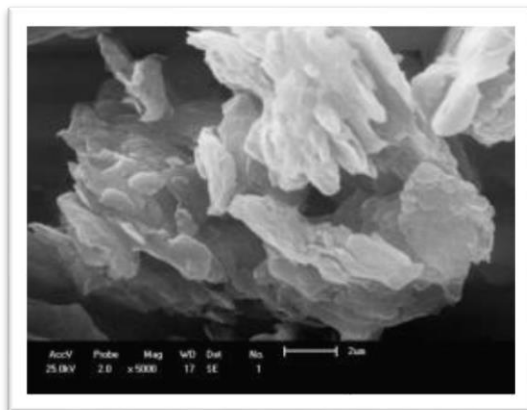


Figura 16 Vermiculita

Fuente: Juan Carlos Rojas Vidovic, Phd.

2.3.5 Propiedades Físico-Químicas de las Arcillas

Las importantes aplicaciones industriales de este grupo de minerales radican en sus propiedades físico-químicas. Dichas propiedades derivan, principalmente, de:

- Su extremadamente pequeño tamaño de partícula (inferior a 0.002 mm)
- Su morfología laminar (filosilicatos)

¹¹ <http://www.ingenierocivilinfo.com/2010/12/estructura-de-los-minerales-de-arcilla.html>

- Las sustituciones isomórficas, que dan lugar a la aparición de carga en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar.

Como consecuencia de estos factores, presentan, por una parte, un valor elevado del área superficial y, a la vez, la presencia de una gran cantidad de superficie activa, con enlaces no saturados. Por ello pueden interaccionar con muy diversas sustancias, en especial compuestos polares, por lo que tienen comportamiento plástico en mezclas arcilla-agua con elevada proporción sólido/líquido y son capaces en algunos casos de hinchar, con el desarrollo de propiedades geológicas en suspensiones acuosas.

Por otra parte, la existencia de carga en las láminas se compensa, como ya se ha citado, con la entrada en el espacio interlaminar de cationes débilmente ligados y con estado variable de hidratación, que pueden ser intercambiados fácilmente mediante la puesta en contacto de la arcilla con una solución saturada en otros cationes, a esta propiedad se la conoce como capacidad de intercambio catiónico y es también la base de multitud de aplicaciones industriales.

2.3.5.1 Textura

El suelo está constituido por partículas de diferente tamaño. Conocer la granulometría es esencial para cualquier estudio del suelo. Para agrupar a los constituyentes del suelo según su tamaño se han establecido muchas clasificaciones. Básicamente todas aceptan los términos de grava, arena, limo y arcilla, pero difieren en los valores de los límites establecidos para definir cada clase. Definimos textura del suelo como la relación existente entre los porcentajes de las diferentes fracciones (arena, limo y arcilla). Las combinaciones posibles de estos porcentajes pueden agruparse en unas pocas clases de tamaño de partículas o clases texturales.

2.3.5.2 Densidad aparente

El suelo como todo cuerpo poroso tiene dos densidades. La densidad real (densidad media de sus partículas sólidas) y la densidad aparente (teniendo en cuenta el volumen de poros).

La densidad aparente refleja el contenido total de porosidad en un suelo y es importante para el manejo de los suelos (refleja la compactación y facilidad de circulación de agua y aire).

También es un dato necesario para transformar muchos de los resultados de los análisis de los suelos en el laboratorio (expresados en % en peso) a valores de % en volumen en el campo.

2.3.5.3 Permeabilidad

Representa la facilidad de circulación del agua en el suelo. Es un parámetro muy importante que influirá en la velocidad de edafización y en la actividad biológica que puede soportar un suelo. Está condicionada fundamentalmente por la textura y la estructura. Se evalúa por la velocidad de infiltración que representa el caudal de agua que puede pasar por unidad de tiempo. Valores de dm/hora corresponden a suelos muy permeables, cm/hora dan suelos permeables y mm/hora para suelos poco permeables.

La velocidad de infiltración no es siempre la misma para un mismo suelo, pues depende de las condiciones de humedad que presente. Cuando el suelo se encuentra seco la infiltración tiene sus máximos valores y luego conforme cada vez está más húmedo su capacidad de admitir más agua es cada vez menor hasta que en condiciones de saturación total alcanza un valor constante.¹²

2.3.5.4 Color

El color del suelo depende de sus componentes y puede usarse como una medida indirecta de ciertas propiedades. El color varía con el contenido de humedad. El color rojo indica contenido de óxidos de hierro y manganeso; el amarillo indica óxidos de hierro hidratado; el blanco y el gris indican presencia de cuarzo, yeso y caolín; y el negro y marrón indican materia orgánica.

Cuanto más negro es un suelo, más productivo será, por los beneficios de la materia orgánica. La medición del color del suelo se realiza con un sistema estandarizado basado en la “Tabla de Colores Munsell”. En esta tabla se miden los tres componentes del color:

¹² Mecánica De Suelos Prof. Alba Yajaira Sánchez Delgado (2014)

- Tono (hue) (En suelos es generalmente rojizo o amarillento)
- Intensidad o brillantez (chroma)
- Valor de luminosidad (value)¹³

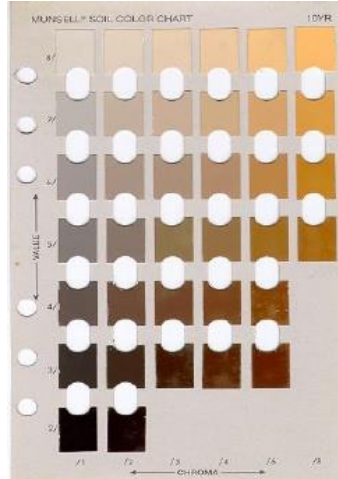


Figura 17 Hoja de colores 10YR de la Tabla de Colores Munsell

Fuente: Mecánica de Suelos-Prof. Alba Yajaira Sánchez Delgado, 2014.

El color del suelo puede proporcionar información clave sobre otras propiedades del medio edáfico. Por ejemplo, suelos de colores grisáceos y con presencia de “moteados o manchas” son síntomas de malas condiciones de aireación. Horizontes superficiales de colores oscuros tenderán a absorber mayor radiación y por consiguiente a tener mayores temperaturas que suelos de colores claros.

2.3.5.5 Consistencia

La consistencia: es la característica física que gobierna las fuerzas de cohesión-adhesión, responsables de la resistencia del suelo a ser moldeado o roto. Dichas fuerzas dependen del contenido de humedades por esta razón que la consistencia se debe expresar en términos de seco, húmedo y mojado. Se refiere a las fuerzas que permiten que las partículas se mantengan

¹³ Mecánica De Suelos Prof. Alba Yajaira Sánchez Delgado (2014)

unidas; se puede definir como la resistencia que ofrece la masa de suelo a ser deformada o amasada. Las fuerzas que causan la consistencia son: cohesión y adhesión.

Cohesión: Esta fuerza es debida a atracción molecular en razón, a que las partículas de arcilla presentan carga superficial, por una parte y la atracción de masas por las fuerzas de Van der Waals, otra (Gavande, 1976). Además de estas fuerzas, otros factores tales como compuestos orgánicos, carbonatos de calcio y óxidos de hierro y aluminio, son agentes que integran el mantenimiento conjunto de las partículas. La cohesión, entonces es la atracción entre partículas de la misma naturaleza.

Adhesión: Se debe a la tensión superficial que se presenta entre las partículas de suelo y las moléculas de agua. Sin embargo, cuando el contenido de agua aumenta, excesivamente, la adhesión tiende a disminuir. El efecto de la adhesión es mantener unidas las partículas por lo cual depende de la proporción Agua/Aire. De acuerdo a lo anteriormente expuesto se puede afirmar que la consistencia del suelo posee dos puntos máximos; uno cuando está en estado seco debido a cohesión y otro cuando húmedo que depende de la adhesión.¹⁴

2.3.5.6 Plasticidad

La característica física más significativa de las arcillas es la plasticidad, que es la capacidad de deformarse sin agrietarse ante un esfuerzo mecánico conservando la deformación al retirarse la carga (No se produce rebote elástico). En las arcillas depende fundamentalmente del contenido de agua, si está seca no es plástica, se disgrega, y con exceso de agua se separan las láminas. Depende también del tamaño de partícula y de la estructura laminar. Cuando esta convenientemente humedecida puede adoptar cualquier forma. Esta propiedad se debe a que el agua forma una “envoltura” sobre las partículas laminares, produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas.

¹⁴ http://www.academia.edu/6386237/Propiedades_Fisicas_Y_Mecanicas_De_Los_Suelos

La elevada plasticidad de las arcillas es consecuencia de su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeño (elevada área superficial) y alta capacidad de hinchamiento. En general, cuanto más pequeñas son las partículas y más imperfecta su estructura, más plástico es el material.

El agua se presenta en las arcillas en tres formas: Hidratación (químicamente combinada), plasticidad, (rodeando las partículas minerales) o intersticial (rellenando los huecos entre los granos).

2.3.5.7 Compactación

Cuando la proporción de huecos del suelo se reduce, se ha compactado. La interacción humana con el suelo es la causa más común de compactación. La mayor parte de la compactación del suelo proviene de equipos agrícolas. El tráfico peatonal también puede compactar el suelo aplastando a los poros del suelo. El suelo mojado es especialmente susceptible a la compactación del suelo.

2.3.5.8 Conductividad eléctrica

La CE se trata de un parámetro físico que mide, a una determinada temperatura, la capacidad de una sustancia para conducir la corriente eléctrica. Su valor viene determinado por la presencia de iones y su movilidad en una solución. El principal objetivo del análisis de la CE en este tipo de suelos es determinar si las sales solubles se encuentran en cantidades suficientes como para pertenecer a una especie determinada de arcilla.

2.3.5.9 Capacidad de intercambio catiónico

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es la capacidad que tiene un suelo para retener y liberar iones positivos, gracias a su contenido en arcillas y materia orgánica. Las arcillas están cargadas negativamente, por lo que suelos con mayores concentraciones de arcillas exhiben capacidades de intercambio catiónico mayores. A mayor contenido de materia orgánica en un suelo aumenta su CIC.

2.3.5.10 Fotometría de emisión de llama

La fotometría emisión de llama se basa en que los átomos de numerosos elementos metálicos con suficiente energía, emiten dicha energía a particulares que son específicas de cada elemento, como se muestra en la figura 18.

Color de la llama según el elemento emisor:		
• Ba → verde claro	• Cs → rojo claro	• Na → amarillo
• Ca → rojo - anaranjado	• In → violeta rosado	• Pb → azul gris claro
• Cu → azul verde - intenso	• K → violeta	• Sr → rojo
• Cr → amarillo	• Li → rojo intenso	


Figura 18 Coloración de los diferentes elementos metálicos según la Fotometría.

FUENTE: Wikipedia Enciclopedia Virtual.

Descripción Manual- Visual


Foma			
Muestra	Descripcion		
<input type="checkbox"/> Arena	<input checked="" type="checkbox"/> Plana		
<input type="checkbox"/> Grava	<input type="checkbox"/> Alargada		
<input checked="" type="checkbox"/> Arcilla	<input type="checkbox"/> Plana y alargada		
<input type="checkbox"/> Canto rodado	<input type="checkbox"/> No aplicable		

La forma de las muestras pertenece a las planas de las categorías establecidas.

Color			
Descripcion	N° de estratos		
<input type="checkbox"/> Muestra seca	<input type="checkbox"/> 1		
<input checked="" type="checkbox"/> Muestra húmeda	<input type="checkbox"/> 2		
	<input checked="" type="checkbox"/> 3		

La muestra no tenía ningún olor que pudiera ayudarnos a clasificarla o describirla.

Humedad	
<input type="checkbox"/>	Seca
<input checked="" type="checkbox"/>	Humeda
<input type="checkbox"/>	Mojada



La muestra presenta tres estratos con colores distintos.

El estado de las muestras de arcilla presentan un estado húmedo pero sin presencia de agua visible en su superficie.

Dureza			
Muestra:	Descripción:		
<input type="checkbox"/>	Arena	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	Gruesa	<input checked="" type="checkbox"/>	Dura
<input type="checkbox"/>	Tamaño de grava	<input type="checkbox"/>	Se fractura
<input checked="" type="checkbox"/>	Arcilla	<input checked="" type="checkbox"/>	Se desintegra.



La arcilla es dura en su estado natural, pero por acciones externas puede llegar a desintegrarse.

Rango de tamaño de partículas	
Muestra	Descripción
<input type="checkbox"/>	Arena gruesa
<input type="checkbox"/>	Gruesa
<input type="checkbox"/>	Media
<input type="checkbox"/>	Fina
<input checked="" type="checkbox"/>	Arcilla
<input type="checkbox"/>	Gruesa
<input checked="" type="checkbox"/>	Fina
<input type="checkbox"/>	no aplicable



Se pudo observar que las muestras pertenecían al grupo de arcillas con partículas de tamaños variables.

Este ensayo de descripción manual-visual nos da parámetros de partida para conocer la arcilla sin necesidad de usar el laboratorio, permitiéndonos conocer parámetros que nos pueden ayudar a realizar los ensayos en laboratorio, como es el caso del ensayo de granulometría que se pudo apreciar que el comportamiento del suelo arcilloso no es homogéneo debido a que se observó que el tipo gradación de la arcilla es muy dispersa existiendo una gran variedad de tamaños de partículas desde terrones grandes hasta partículas de grano fino.

Se observó que la arcilla va acompañada con otro tipo de suelos debido a que el origen de la arcilla se debe a la meteorización de suelos residuales tropicales por esta razón la arcilla no es uniforme.

2.3.6 Propiedades mecánicas

En la presente tesis se realizó el ensayo de penetración estándar SPT (ASTM D 1586), para explorar el suelo hasta una profundidad de 2.4 metros, además de conocer la resistencia a la penetración como también la correlación con otros parámetros de resistencia que a continuación se describen:

2.3.6.1. Capacidad de carga última (q_u)

La carga por área unitaria de la cimentación bajo la cual ocurre una falla por corte en el suelo se llama capacidad de carga última. En cierto punto, cuando la carga por unidad de área es igual a q_u , tendrá lugar una falla repentina en el suelo que soporta a la cimentación y la zona de falla en el suelo se extenderá hasta la superficie del terreno. Esta carga por área unitaria q_u , se denomina generalmente **capacidad de carga última** de la cimentación. Cuando este tipo de falla repentina tiene lugar en el suelo se denomina **falla general por corte** (figura 19).

Si la cimentación considerada descansa sobre un suelo arenoso o arcilloso, medianamente compactado, un incremento de carga sobre la cimentación también será acompañado por un aumento del asentamiento, sin embargo, en este caso la superficie de falla en el suelo se extenderá gradualmente hacia fuera desde la cimentación, cuando la carga por área unitaria sobre la cimentación es igual a, el movimiento estará acompañado por sacudidas repentinas.

Se requiere entonces un movimiento considerable de la cimentación para que la zona de falla en el suelo se extienda hasta la superficie del terreno.

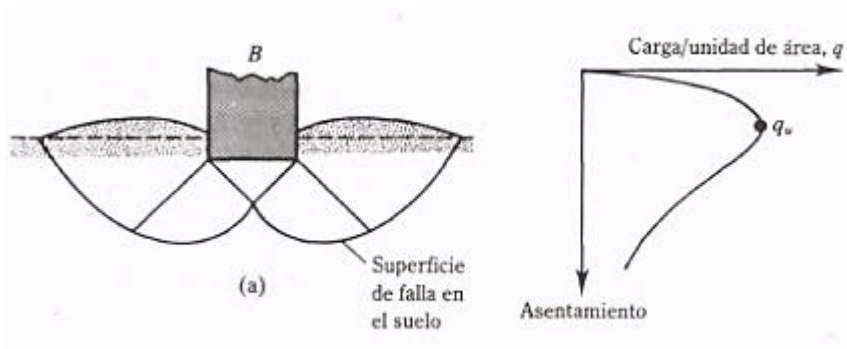


Figura 19 Falla general por corte

FUENTE: Fundamentos de mecánica, Braja Das pag.133.

La carga por unidad de área bajo la cual sucede es la capacidad de carga última q_u . Más allá de este punto, una mayor carga estará acompañada por gran incremento del asentamiento de la cimentación. La carga por unidad de área de la cimentación que se denomina carga primera de falla (Vesic 1963). Note que un valor máximo de q no se presenta en este tipo de falla, llamada falla local por corte del suelo (Figura 20).

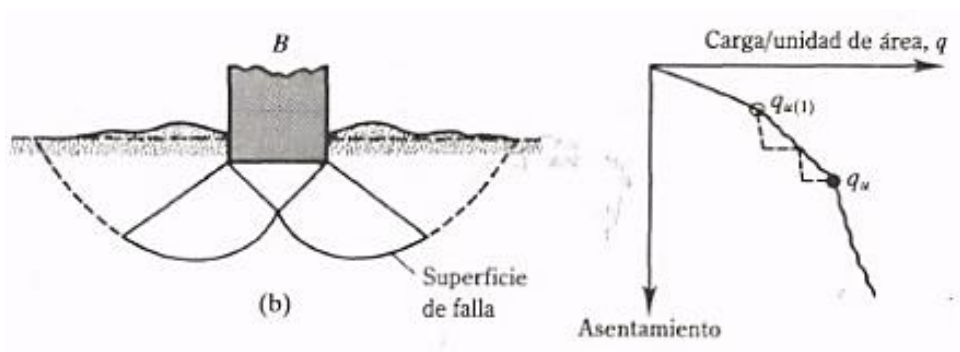


Figura 20 Falla local por corte

FUENTE: Fundamentos de mecánica, Braja Das pag.134.

Si la cimentación es soportada por un suelo bastante suelto, en este caso, la zona de falla en el suelo no se extenderá hasta la superficie del terreno. Más allá de la carga última q_u . Este tipo de falla se lo denomina de corte por punzonamiento, como se muestra en la figura 21.¹⁵

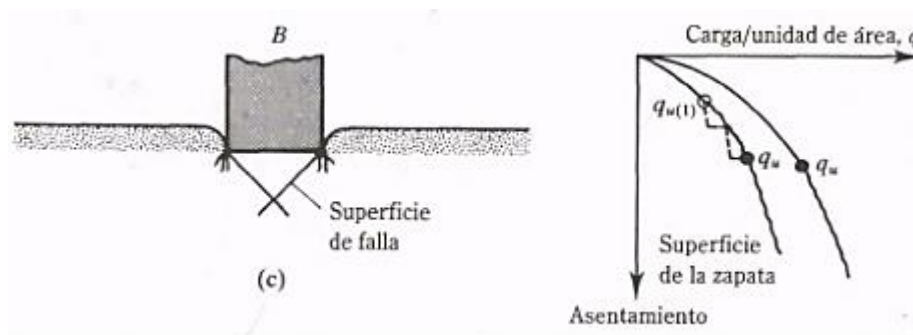


Figura 21 Falla de corte por punzonamiento

FUENTE: Fundamentos de mecánica, Braja Das pag.134.

2.3.6.2 Capacidad portante o admisible (q_{adm})

En cimentaciones se denomina capacidad portante o admisible, a la capacidad del terreno para soportar las cargas aplicadas sobre él. Técnicamente la capacidad portante es la máxima presión media de contacto entre la cimentación y el terreno tal que no se produzcan un fallo por cortante del suelo o un asentamiento diferencial excesivo. Por tanto la capacidad portante admisible debe estar basada en uno de los siguientes criterios funcionales:

- Si la función del terreno de cimentación es soportar una determinada tensión independientemente de la deformación, la capacidad portante se denominará carga de hundimiento.

¹⁵ Fundamentos de Mecánica, Braja Das

- Si lo que se busca es un equilibrio entre la tensión aplicada al terreno y la deformación sufrida por éste, deberá calcularse la capacidad portante a partir de criterios de asiento admisible.

De manera análoga, la expresión capacidad portante se utiliza en las demás ramas de la ingeniería para referir a la capacidad de una estructura para soportar las cargas aplicadas sobre la misma.¹⁶

2.3.6.3 Número de penetración estándar corregido N60

La práctica estándar actual en Estados Unidos es expresar el valor N para una relación energética de 60% (=N60). Así pues, la corrección por los procedimientos de campo y con base en las observaciones de campo parece razonable para estandarizar el número de penetración estándar como una función de la energía de entrada de hincado y su disipación alrededor del muestreador hacia el suelo circundante.

Además de obtener muestras de suelo, las pruebas de penetración estándar proporcionan varias correlaciones útiles. Por ejemplo, la consistencia de los suelos arcillosos se puede estimar a partir del número de penetración estándar N60.

2.3.6.4 Índice de consistencia (IC)

Con el índice de consistencia puede evaluarse la consistencia actual que presenta el suelo en base al límite líquido, índice de plasticidad y el contenido de humedad actual que presente el suelo. En la Tabla 3 se muestran valores característicos de los límites de Atterberg para algunos minerales de arcilla comúnmente encontrados en los suelos finos.¹⁷

¹⁶ Braja M. Das (Septima Edición)

¹⁷ <http://www.ingenierocivilinfo.com/2010/01/indice-de-consistencia-ci.html>

Tabla 3 Valores de los límites de Atterberg para los minerales de arcilla

Mineral	Límite líquido	Límite plástico	Límite de contracción
Montmorilonita	100 - 900	50 - 100	8.5 - 15
Nontronita	37 - 72	19 - 27	
Illita	60 - 120	35 - 60	15 - 17
Caolinita	30 - 110	25 - 40	25 - 29
Halosita hidratada	50 - 70	47 - 60	
Halosita no hidratada	35 - 55	30 - 45	
Atapulgita	160 - 230	100 - 120	
Clorita	44 - 47	36 - 40	
Alofano	200 - 250	130 - 140	

FUENTE: Índice de consistencia, (Mitchell, 1976)

2.3.6.5 Resistencia a la compresión simple (Q_u)-

El ensayo de compresión no confinada, también conocido con el nombre de ensayo de compresión simple o ensayo de compresión uniaxial, es muy importante en Mecánica de Suelos, ya que permite obtener un valor de carga última del suelo, el cual, como se verá más adelante se relaciona con la resistencia al corte del suelo y entrega un valor de carga que puede utilizarse en proyectos que no requieran de un valor más preciso, ya que entrega un resultado conservador.

Este ensayo puede definirse en teoría como un caso particular del ensayo triaxial. Es importante comprender el comportamiento de los suelos sometidos a cargas, ya que es en ellos o sobre ellos que se van a fundar las estructuras, ya sean puentes, edificios o carreteras, que requieren de una base firme, o más aún que pueden aprovechar las resistencias del suelo en beneficio de su propia capacidad y estabilidad, siendo el estudio y la experimentación las herramientas para conseguirlo, y finalmente poder predecir, con una cierta aproximación, el comportamiento ante las cargas de estas estructuras.¹⁸

¹⁸ <https://mecanicadesuelos1unitec.wordpress.com/ensayo-compresion-simple/>

2.3.6.6 Resistencia cortante de arcillas o cohesión no drenada (cu)

La prueba e comprensión simple es un tipo especial de prueba triaxial no consolidada no drenada, en la que la presión de confinación es cero, en esta prueba se aplica un esfuerzo axial a la muestra para ocasionar su falla.

La resistencia a la compresión simple se puede utilizar como un indicador de la consistencia de las arcillas. Las pruebas de compresión simple se efectúan en ocasiones en suelos no saturados. Con la relación de vacíos de una muestra de suelo que permanece constante, la resistencia a la compresión simple disminuye rápidamente con el grado de saturación.¹⁹

2.4.GEOTECNIA

Es una ciencia, que aplica los conocimientos de la mecánica de suelos y de la ingeniería civil, a algunos aspectos de la corteza terrestre. Generalmente, se concentra sólo en los materiales encontrados cerca de la superficie de la tierra como: la roca, suelo y el agua subterránea. Determina relaciones matemáticas y empíricas, útiles para conocer el comportamiento y la clasificación de los elementos encontrados en la corteza terrestre.

La ingeniería geotécnica es la rama de la ingeniería civil, que estudia las propiedades cualitativas y cuantitativas de los suelos y rocas.

La geotecnia estudia el comportamiento, características particulares y generales de las rocas y suelos, ante el desarrollo de obras de ingeniería civil inmersas en estos elementos, para observar, diagnosticar, prevenir, enfrentar y resolver el o los problemas geotécnicos en la construcción de carreteras. Algunas pruebas deben ser llevadas a cabo para identificar las características de la tierra y sus propiedades para la construcción de capa sub base y base estos ensayos serán detallados a continuación.

¹⁹ Fundamentos de mecánica, Braja Das

2.4.1 Ensayo de Granulometría (AASHTO T-88) (ASTM D422)

El ensayo granulométrico permitirá establecer el porcentaje de gradación que presentan las arcillas, teniendo en cuenta que los suelos residuales tropicales están en pleno proceso para convertirse en roca, es por eso que es muy importante tener en cuenta el tamaño de las partículas, por lo que se realizó el tamizado en todas las muestras extraídas en el barrio Primavera.

2.4.2 Ensayo de Límites de Atterberg (AASHTO T-89)

Estos límites de Atterberg permitirán identificar cómo se comporta la arcilla en sus diferentes estados, es un parámetro muy importante para la clasificación de suelos. Posteriormente Terzaghi y Casagrande idearon métodos para determinar estos contenidos de humedad específicos para los distintos estados de consistencia, de acuerdo a la figura 22.

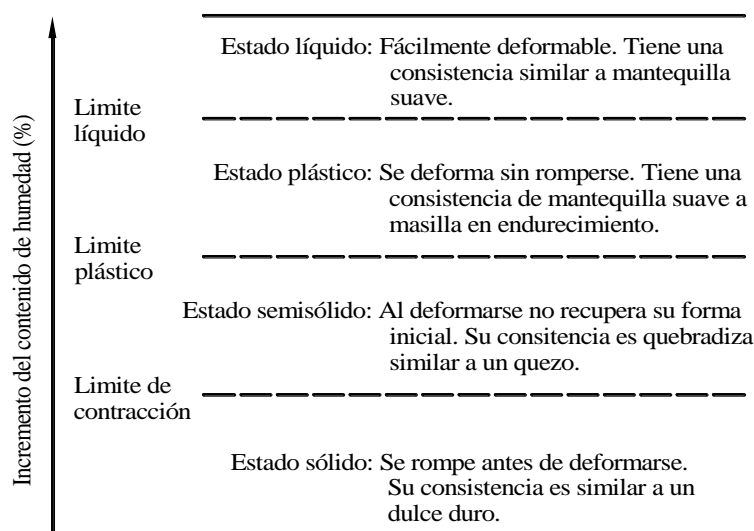


Figura 22 Consistencia del suelo según al contenido de humedad

Fuente: Coduto, 1999

Puede hablarse de los límites de Atterberg en suelos que tienen un tamaño de partículas que pasan por el tamiz Nro.40.

Para un bajo contenido de humedad el suelo tendrá una consistencia sólida a semisólida, a medida que se va incrementando el contenido de humedad el suelo progresivamente tomará

una consistencia plástica y finalmente para un contenido de humedad muy alto el suelo tendrá una consistencia líquida. Como se indica en la figura 23.

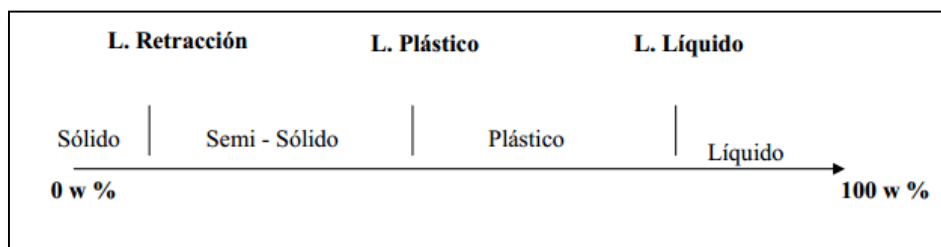


Figura 23 Estados de consistencia del suelo

Fuente: Norma AASHTO

Determinación del límite líquido (LL)

Se define como límite líquido al contenido de humedad que corresponde al límite arbitrario entre los estados de consistencia líquido y plástico de un suelo.

Casagrande (1932) desarrolló un método en laboratorio para determinar el límite líquido del suelo como muestra en la figura 25, con un aparato similar al que se muestra en la figura 24 conocido como la cuchara de Casagrande.

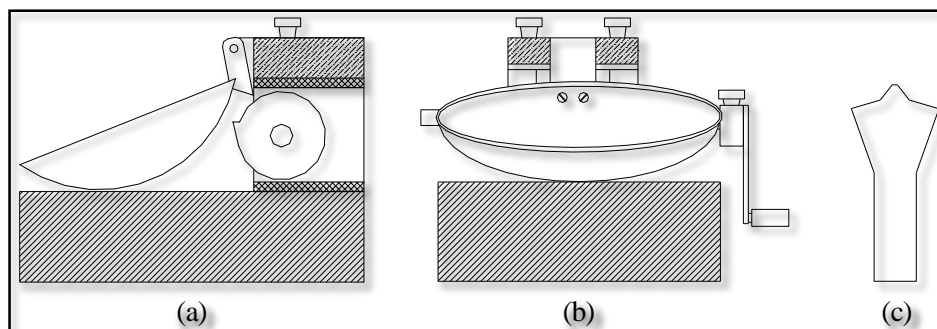


Figura 24 Cuchara de Casagrande para determinar el límite líquido del suelo

(a) Vista lateral. (b) Vista frontal. (c) Espátula.

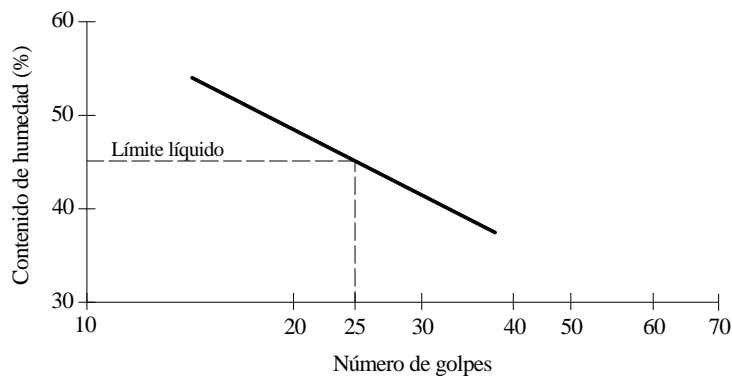


Figura 25 Determinación del límite líquido del suelo

Fuente: Texto guía para ensayos de laboratorio.

Determinación del límite plástico (LP)

La plasticidad es una propiedad característica de los suelos finos, donde el contenido de humedad del suelo está comprendido entre el límite líquido y plástico. En este estado el suelo permite ser moldeado de manera similar a la masa o la plastilina como se muestra en la figura 26, debido a que el contenido de humedad del suelo contiene la cantidad ideal de moléculas de agua para que la fuerza de atracción entre las partículas compuestas de minerales de arcilla sea la mayor.



Figura 26 Rollitos de 3mm

Fuente: Elaboración propia.

Índice de plasticidad (*IP*)

Con el índice de plasticidad puede evaluarse el grado de amasado que permite el suelo mientras se encuentre en su consistencia plástica, este índice se define y clasifica de acuerdo a la tabla 4:

Tabla 4 Grado de plasticidad del suelo y potencial de expansividad

<i>IP</i>	Descripción
0 - 3	No plástico
3 - 15	Ligeramente plástico
15-30	Baja plasticidad
> 30	Alta plasticidad

Classification of potential swell	Potential swell S_p percent	Liquid limit LL percent	Plasticity index PI percent	Natural soil suction τ_{nat}^0 tsf
Low	<0.5	<50	<25	<1.5
Marginal	0.5-1.5	50-60	25-35	1.5-4.0
High	>1.5	>60	>35	>4.0

Fuente: (Sowers, 1979).

2.4.3 Ensayo Para Determinar El Contenido De Humedad (ASTM D-2216)

La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas.

Se determina el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a 110 ± 5 °C. El peso del suelo que permanece del secado en horno es usado como el peso de las partículas sólidas. La pérdida de peso debido al secado es considerado como el peso del agua, como se puede observar en la figura 27.



Figura 27 Secado de muestras en el horno

Fuente: Elaboración propia

2.4.4 Ensayo Granulométrico Por Medio Del Hidrómetro (ASTM D422)

El análisis hidrométrico se basa en la Ley de Stokes, la cual relaciona la velocidad de una esfera, cayendo libremente a través de un fluido, con el diámetro de la esfera.

Se asume que la ley de Stokes puede ser aplicada a una masa de suelo dispersado, con partículas de varias formas y tamaños. El hidrómetro se usa para determinar el porcentaje de partículas de suelos dispersados, que permanecen en suspensión en un determinado tiempo.

Para ensayos de rutina con fines de clasificación, el análisis con hidrómetro se aplica a partículas de suelos que pasan el tamiz de 2.00 mm (No.10). Cuando se quiere más precisión, el análisis con hidrómetro se debe realizar a la fracción de suelo que pase el tamiz de 75 μ m (No.200).

Se debe determinar las profundidades efectivas "L", correspondientes a cada una de las marcas de calibración principales "R" empleando fórmulas. Constrúyase una curva que exprese la relación entre "R" y "L". Esta relación es esencialmente una línea recta para los hidrómetros simétricos.

2.5.5 Ensayo De Penetración Estándar (SPT) ASTM D 1586

El Ensayo de Penetración Estándar o SPT, es un tipo de prueba de penetración dinámica, es el ensayo más empleado en la realización de sondeos, y se lleva a cabo en el fondo de la perforación.

Consiste en medir el número de golpes necesario para que se introduzca una determinada profundidad una cuchara (cilíndrica y hueca) muy robusta (diámetro exterior de 51 milímetros e interior de 35 milímetros, lo que supone una relación de áreas superior a 100), que le permite tomar una muestra en su interior, naturalmente alterada. El peso de la masa y la altura de la caída libre, están normalizados, siendo de 63'5 kilopondios y 76 centímetros respectivamente, como se puede observar en la figura 28.



Figura 28 Trípode y toma de muestra

Fuente: Elaboración propia

Al ser la cuchara SPT un toma muestras, permite visualizar el terreno donde se ha realizado la prueba y realizar ensayos de identificación, y en el caso de terreno arcilloso, de obtención de la humedad natural. Las pruebas de campo adquieren una gran importancia en los suelos muy susceptibles a la perturbación y cuando las condiciones del terreno varían en sentido horizontal y vertical. El método de prueba in situ más ampliamente utilizado es el de penetración.

El SPT (standard penetration test) o ensayo de penetración estándar, es un tipo de prueba de penetración dinámica, que es empleado para realizar ensayos en terrenos que se requiere realizar un reconocimiento geotécnico.

El valor de N (Número de golpes necesarios para hincar un toma-muestras de 30 cm. de longitud en un estrato de suelo, una profundidad que generalmente varía de metro en metro) se determina sumando los valores de $N_1 + N_2$. Otro parámetro que se puede determinar a partir del N obtenido y de la clasificación posterior del suelo, es el Grado de Compacidad en caso de suelos arenosos y la consistencia en caso de suelos arcillosos, esto mediante la tabla 5 que relacionan los mencionados valores:

Tabla 5 Grado de Compacidad y Consistencia de los suelos

COMPACIDAD (Suelo Granular)	Grado de Compacidad	N (S.P.T.)	Resistencia a La Penetración Estática	ϕ
Muy suelta	< 0.2	< 4	< 20	< 30
Suelta	0.2 – 0.4	4 – 10	20 – 40	30 – 35
Compacta	0.4 – 0.6	10 – 30	40 – 120	35 – 40
Densa	0.6 – 0.8	30 – 50	120 – 200	40 – 45
Muy Densa	> 0.8	> 50	> 200	> 45

CONSISTENCIA (Suelos Cohesivos)	N (S.P.T.)	q_u (kg/cm ²) Resistencia a la Compresión Simple
Muy blanda	< 2	< 0.25
Blanda	2 - 4	0.25 – 0.50
Mediana	4 - 8	0.5 – 1
Compacta	8 - 15	1 – 2
Muy compacta	15 - 30	2 – 4
Dura	> 30	> 4

Fuente: Manual de ensayo de suelos.

2.5.6 Ensayos Químicos

En la ejecución de estos ensayos se contó con el apoyo del Laboratorio de Ciencias Biológicas y Naturales, con el cual se ha podido determinar las características químicas del suelo que son de importancia para el presente trabajo de investigación, para que se apliquen los análisis correspondientes en los resultados obtenidos, con la finalidad de caracterizar la Arcilla extraída en los pozos 1, 2 y 3.

Para que estos ensayos se pueda realizar con todo éxito, es necesario iniciar con un cuarteo del material recolectado y el secado del mismo a temperatura ambiente: para comprender el trabajo de laboratorio realizado, a continuación se presentan los procedimientos teórico – prácticos que se ejecutaron en los métodos realizados.

2.5.6.1 Ensayo por el Método del Conductivímetro

Este ensayo se encarga de representar la conductividad eléctrica de los suelos y consiste en tomar una porción de 10gr de la muestra ya cuarteada y agitarla con 50ml de agua destilada, hasta crear una solución uniforme; luego se lleva al Conductivímetro (Equipo que mide la CE) para obtener los valores requeridos, como se muestra en la figura 29, los detalles de estos ensayos se encuentran en el anexo A.



Figura 29 Medición de la Conductividad Eléctrica de la Arcilla.

Fuente: Elaboración propia.

2.5.6.2 Ensayo por el Método Walkley y Black

En el presente ensayo se describen los resultados obtenidos durante la práctica de laboratorio para la determinación del contenido de carbono (materia orgánica) en las muestras de suelos del barrio Primavera. El análisis de carbono orgánico se realizó mediante el método Walkley y Black. Una cantidad determinada de muestra es tratada con un volumen conocido como oxidante, dicromato de potasio en un medio ácido.

El exceso de oxidante se determina con una solución valorada de sulfato ferroso. Con la cantidad de oxidante consumido se calcula la cantidad de materia orgánica oxidada. En la práctica efectuada se analizaron 3 muestras de suelos de diferentes puntos los cuales presentaron un color verde oscuro, dando así la presencia de materia orgánica.



Figura 30 Ensayo para la determinación de Materia Orgánica en la Arcilla

Fuente: Elaboración propia.

2.5.6.3 Ensayo por el Método Kjeldahl

El método Kjeldahl o digestión de Kjeldahl, en química analítica, es un proceso de análisis químico para determinar el contenido en nitrógeno de una sustancia química y se engloba en la categoría de medios por digestión húmeda, destilación y valoración. Se usa comúnmente para estimar el contenido de proteínas de los alimentos. Fue desarrollado por el danés Johan Kjeldahl en 1883. En la figura 31 podemos observar el equipo empleado para este ensayo.



Figura 31 Determinación de la cantidad de Nitrógeno presente en las muestras.

Fuente: Elaboración propia.

2.5.6.4 Ensayo por el Método del Fotómetro de llama.

Este ensayo es un método analítico usado en química para detectar la presencia de ciertos elementos, principalmente iones de metales, basado en el espectro de emisión característico a cada elemento. El ensayo del fotómetro de llama es rápido y fácil de ejecutar, y no requiere equipamiento alguno que no se encuentre generalmente en un laboratorio de química.

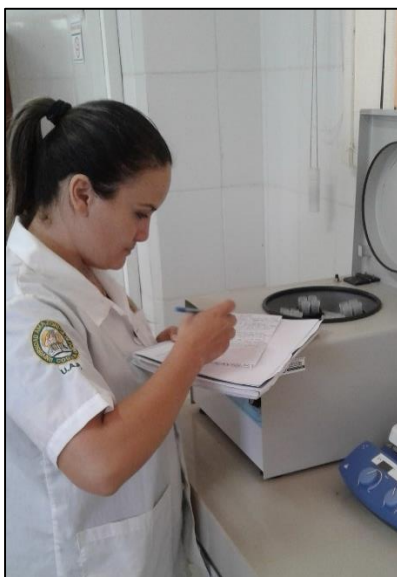


Figura 32 Determinación de los elementos químicos presente en las muestras.

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO III

3.PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1. CARACTERIZACIÓN DE LA ARCILLA EN SU ESTADO NATURAL

El banco de extracción de la arcilla es representativo y se encuentra al Sur de la ciudad de Cobija a aproximadamente a 7 km en el barrio Primavera, un barrio que se encuentra en crecimiento, como se puede observar en la figura 33 el material ha sido extraído de lugares donde se han realizado cortes; dejando de esta manera, expuesta la arcilla.



Figura 33 Arcilla en el lugar de extracción

Fuente: Elaboración propia.

El muestreo de la arcilla se realizó excavando 30 - 300 centímetros de muestra de diferentes lugares del barrio Primavera, de cada punto se extrajo 10 kilos de muestra de tal manera que se pudo obtener 30 kilos para el estudio de la arcilla. Las mismas que fueron manipuladas con los cuidados y recomendaciones que la Norma AASHTO, sugiere proceder, esto con la finalidad de poder realizar un trabajo de calidad y veracidad.

La muestra natural de la arcilla se presenta en partículas de diferentes tamaños, es decir que la muestra se presenta desde terrones grandes hasta partículas pequeñas, la muestra no es uniforme como se puede observar en la figura 34.

Para realizar los ensayos se procedió al secado a la intemperie de la muestra, tomando en cuenta que se debe cuidar la muestra de factores externos que pueden modificar las propiedades de la arcilla es decir que se derramen líquidos, se mezclen con otro material y otros factores externos que modifiquen la muestra.



Figura 34 Extracción del material de arcilla

Fuente: Elaboración propia

Una vez que el material se encuentra seco se prosigue a desintegrar las partículas por el método físico utilizando morteros como se observa en la figura 35, para obtener la gradación de las partículas que se deseen y de esta manera proporcionar las cantidades del material necesario para proceder a elaborar el ensayo requerido.



Figura 35 Arcilla siendo procesada

Fuente: Elaboración propia

Una vez que las partículas grandes se hayan desintegrado por el método físico se prosigue a sumergir la muestra para que las partículas se desintegren por acción del agua, este procedimiento nos demostrara cuan resistente es la muestra a la acción del agua.

Después de dejar reposar la muestra por una semana verificamos que las partículas grandes no han soportado la acción del agua, por lo que se puede desintegrar con los dedos los terrones presentes, como se muestra en la figura 36.



Figura 36 Arcilla siendo remojada

Fuente: Elaboración propia

3.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS

3.2.1 Ensayo De Granulometría (AASHTO T-11/ T27)

La granulometría es un método que tiene por objeto determinar cuantitativamente el tamaño de las partículas de un material por medio de tamices con aberturas cuadradas, este proceso se realizara para poder determinar el tipo de material que corresponde la muestra. La granulometría también es base para realizar ensayos de límites de Atterberg, entre otros. Para iniciar el ensayo el material debe ser secado a la intemperie en condiciones normales. Se registra el peso de la muestra como se observa en la figura 37 para realizar los respectivos cálculos.



Figura 37 Peso de la muestra representativa y tamizado

Fuente: Elaboración propia.

En la preparación de la muestra para el ensayo granulométrico se debe considerar sacar una muestra representativa de todo el material seco, para lo cual se realizó cuarteo de la muestra utilizando el cuarteador separando las muestras en diferentes pocillos de caras opuestas intercalando hasta obtener una muestra representativa de aprox. 500grs.

Luego se procedió a tamizar en el tamiz N°4 la muestra representativa separando las partículas en agregado grueso y fino.

Las partículas que son retenidas en el tamiz N°4 son sumergidas en agua y lavadas por el tamiz N°200, las partículas que retenidas en el tamiz N°200 son secadas en el horno durante un día para luego ser tamizadas y obtener la granulometría fina, habiéndose realizado el procedimiento correspondiente se elaboró la tabla 6 con el resumen del ensayo, los detalles del ensayo se encuentran en el anexo B.

Tabla 6 *Resumen del Ensayo Granulométrico*

Variable	%Pasa Tamiz 200	Clasificación AASHTO	Clasificación SUCS
Muestra 1	99,7	A-7-5 (0)	Arcilla Alta Plasticidad CH
Muestra 2	78,1	A-6 (0)	Arcilla Media Plasticidad con Arena CL
Muestra 3	99,8	A-7-5 (0)	Arcilla Alta Plasticidad CH

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Ensayo Determinación del Contenido de Humedad (ASTM D-2216).

Para obtener la humedad higroscópica se realiza con la muestra recién llegada, esta humedad nos va a servir para conocer la humedad de la muestra sin realizar ninguna alteración en el contenido de su humedad, la humedad higroscópica nos va a servir como parámetro para realizar correcciones en los gruesos. Para sacar la humedad higroscópica se realizaron los pasos detallados en la página 46, el mismo que tiene un resumen en la tabla 7, los detalles del ensayo se encuentran en el anexo C.

Tabla 7 Resumen del Ensayo de Contenido de Humedad

Variable	Promedio%			%Humedad Promedio
	1m de profundidad	2m de profundidad	3m de profundidad	
Muestra 1	23,6	27,22	28,04	26,29
Muestra 2	23,46	24,07	25,24	24,26
Muestra 3	20,79	25,43	28,23	24,82

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3 Ensayo de Límites de Atterberg AASHTO (T-89 / T-90)

El límite líquido de un suelo se define como el contenido máximo de humedad donde el suelo deja de comportarse plásticamente y pasa a comportarse como un líquido, este dato es muy importante para determinar el uso que se le puede dar al material, en la figura 38 se aprecia el aparato de Casa Grande, que es instrumento para este procedimiento.



Figura 38 Aparato de Casa Grande

Fuente: Elaboración propia.

Límite líquido

La frontera convencional entre los estados semilíquido y plástico fue llamada estado líquido; Atterberg lo definió en términos de ciertas técnicas de laboratorio que consistía en colocar el suelo remoldeado en una capsula, formando en el suelo una ranura de espesor de dos milímetros en toda la parte profunda, y en cerrar la ranura golpeando secamente la capsula contra una superficie dura; el suelo tenía el contenido de agua correspondiente al límite líquido

cuando los bordes inferiores de la ranura se juntan sin mezclarse al cabo de cierto número de golpes.²⁰

Límite plástico

El límite plástico de un suelo es el contenido de humedad correspondiente a un límite convencional entre los estados de consistencia plástico y semisólido, por lo que se debe de preparar la muestra como se muestra en la figura 35.



Figura 39 Preparación de la muestra

Fuente: Elaboración propia.

El contenido de agua con que se produce el cambio de estado varía de un suelo a otro y en mecánica de suelos interesa fundamentalmente conocer el rango de humedades, para lo cual el suelo presenta un comportamiento plástico, es decir, acepta deformaciones sin romperse (plasticidad), es decir, la propiedad que presenta los suelos hasta cierto límite sin romperse.

Esta propiedad se mide en laboratorio mediante un procedimiento normalizado pero sencillo que consiste en medir el contenido de humedad para el cual es posible moldear un cilindro de suelo, con un diámetro de 3 mm.²¹, sin romperse; para en lo posterior córtalos en trozos iguales y llevarlo al horno para su secado, este procedimiento se muestra en la figura 40.

²⁰ <http://mecanicadelossuelos.blogspot.com>

²¹ Mecánica De Suelos I, Universidad Central del Ecuador (2012)



Figura 40 Muestra para límite plástico

Fuente: Elaboración propia.

La diferencia que existe dentro los límites líquidos es considerable, existiendo una marcada diferencia entre los resultados, lo cual indica que el comportamiento de la arcilla es relativamente inestable en cuanto al contenido de humedad que presenta la muestra en relación a la resistencia al corte.

Se considera que un suelo está en su límite plástico, cuando al amasarlo sobre una superficie lisa, que no absorba humedad esta no se va agrietando al llegar a un diámetro de 3 mm. Se procedió a obtener el porcentaje de humedad para lo cual proseguimos a pesar las capsulas, e inmediatamente se colocaran las muestras en las capsulas para obtener los datos respectivos necesarios para los cálculos.

Dentro del límite plástico existe un rango de diferencia de 7-12% dentro de los parámetros de los ensayos entre las Muestras (1,2,3) lo cual nos indica que existe un cambio en el comportamiento del suelo que pudo ser producido por la presencia de proporciones pequeñas de arena que influyen en el comportamiento plástico de la arcilla.

Índice de plasticidad

El Índice de plasticidad se define como la diferencia numérica entre el Limite Líquido y el Limite Plástico. Un Índice de plasticidad bajo, como por ejemplo del 5%, significa que el suelo no cuenta con cantidades considerables de arcilla, lo que indica es que en esta condición no es posible considerar el material para el presente trabajo de investigación, es decir resulta muy insensible a los cambios de humedad. Por el contrario, un índice de plasticidad alto, como por ejemplo del 20%, indica que el suelo contiene gran cantidad de arcilla o coloides, propios

para la presente investigación. El índice de plasticidad también da una buena indicación de la compresibilidad. Mientras mayor sea el IP, mayor será la compresibilidad del suelo.

En la tabla 8 se realizó un resumen del Ensayo de los Límites de Atterberg, así mismo se elaboró una gráfica de límite de plasticidad, que se detalla en la figura 41, los detalles del ensayo se encuentran en el anexo D.

Tabla 8 Resumen del Ensayo de Límites de Atterberg

Variable	%		
	LL	LP	IP
Muestra 1	82	30,32	51,68
Muestra 2	35,5	22,39	13,11
Muestra 3	81,9	34,46	47,44

Fuente: Elaboración propia.

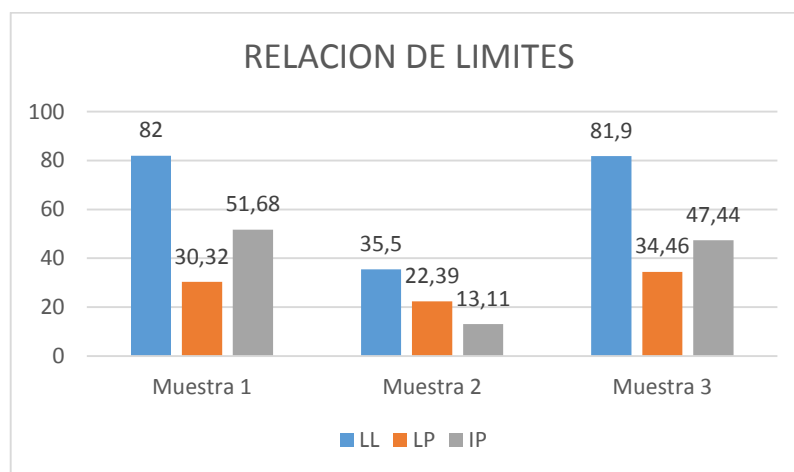


Figura 41 Gráfica de Relación de límites de plasticidad

Fuente: Elaboración propia.

El índice de plasticidad varía en un 34-38% dentro de los parámetros de los ensayo en las muestras (1,2,3) debido a la variación del límite plástico, el índice de plasticidad indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica existiendo mayor consistencia en el ensayo de la Muestra 1.

El resumen de los ensayos nos muestra que los resultados disminuyen sus límites de consistencia debido al material que esta mesclado, lo que nos indica que no se encuentran arcillas en su forma más pura; estas partículas arcillosas que influirán en el límite plástico ayudaran a tomar una decisión para el uso que se quiera dar en la construcción civil que se desee.

Índice de liquidez

La consistencia relativa de un suelo cohesivo en el estado natural se puede definir por medio de una relación denominada Índice de liquidez. El contenido de humedad in situ para una arcilla sensitiva puede ser mayor que el limite liquido ($IL > 1$). Estos suelos cuando se remoldean, se pueden transformar en una forma viscosa y fluir como un líquido. Los depósitos del suelo que están altamente sobreconsolidados pueden tener un contenido de humedad natural menor que el limite plástico ($IL < 0$).²²

3.2.4 Tipos de clasificación de los Suelos

Teniendo en cuenta que en la naturaleza existe una gran variedad de suelos, la ingeniería de suelos ha desarrollado algunos métodos de clasificación de los mismos. Cada uno de estos métodos tiene prácticamente, su campo de aplicación según la necesidad y uso que los haya fundamentado. Los principales sistemas de clasificación de suelos más utilizados actualmente son: Clasificación de suelos para el propósito de construcción de carreteras, conocido como sistema American Association of State Highway and Transportation officials (AASHTO) y el Unified Soil Classification System, conocido como Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

3.2.4.1 Clasificación de Suelos AASHTO

De acuerdo con este sistema y con base en su comportamiento, los suelos están clasificados en ocho grupos designados por lo símbolos del A-1 al A-8. En este sistema de clasificación

²² Das, Braja M. “Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones”

los suelos inorgánicos se clasifican en siete grupos que van del A-1 al A-7. Estos a su vez se dividen en un total de doce subgrupos. Los suelos con elevada proporción de materia orgánica se clasifican como A-8.

3.2.4.2 Clasificación de Suelos - SUCS

Es un sistema de clasificación de suelos usado en ingeniería y geología para describir la textura y el tamaño de las partículas de un suelo. Este sistema de clasificación puede ser aplicado a la mayoría de los materiales sin consolidar y se representa mediante un símbolo con dos letras. Cada letra es descrita debajo (con la excepción de Pt). Para clasificar el suelo hay que realizar previamente una granulometría del suelo mediante tamizado u otros. También se le denomina clasificación modificada de Casagrande.²³

3.2.5 Análisis Granulométrico por Medio del Hidrómetro

Este método se utiliza para obtener un valor estimado de la distribución granulométrica de suelos cuyas partículas se encuentran comprendidas entre la malla #200. El análisis, utiliza la relación entre la velocidad de caída de una esfera en un fluido, el diámetro de la esfera, el peso específico de la esfera como del fluido y la viscosidad de este, como se muestra en la figura 42, con las probetas en sedimentación.

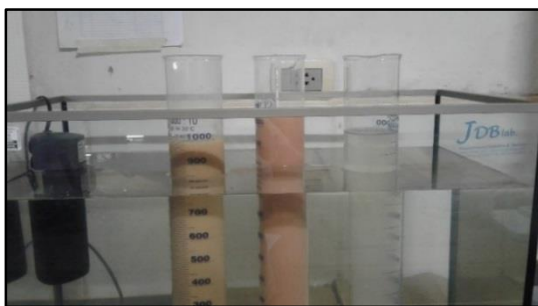


Figura 42 Probetas en sedimentación

Fuente: Elaboración propia.

²³ <https://es.wikipedia.org>

El análisis hidrométrico se basa en el principio de la sedimentación de granos de suelo en agua cuando un espécimen de suelo se dispersa en agua, las partículas se asientan a diferentes velocidades, dependiendo de sus formas, tamaños y pesos.

3.2.6 Ensayo De Penetración Estándar SPT

Este procedimiento fue entre todos los exploratorios preliminares quizá el que rinde mejores resultados en la práctica y proporciona más útil información en torno al subsuelo y no solo en lo referente a descripción; probablemente es también el más ampliamente usado. En suelos puramente friccionantes la prueba permite conocer la compacidad de los mantos que como repetidamente se indicó, es la característica fundamental respecto a su comportamiento mecánico, la extracción fue realizada de acuerdo a la figura 43.



Figura 43 Ejecución del Ensayo SPT

Fuente: Elaboración propia.

En suelos plásticos la prueba permite adquirir una idea, si bien tosca, de la resistencia a la compresión simple. Además el método lleva implícito un muestreo que proporciona muestras alteradas representativas del suelo en estudio, como se observa en la figura 44, los detalles del ensayo se encuentran en el anexo E.

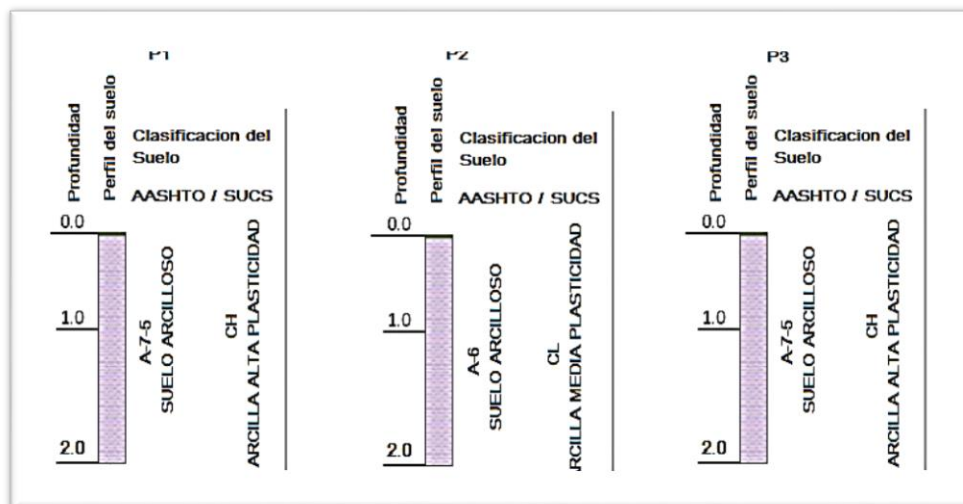
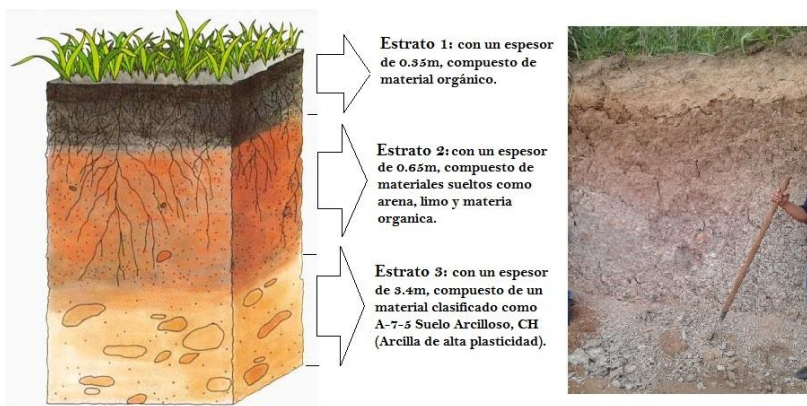


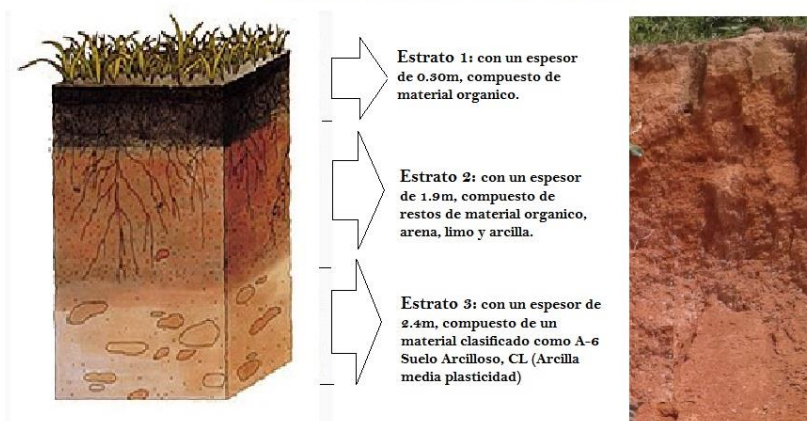
Figura 44 Comparación Estratigráfica de los pozos en estudio

Fuente: Elaboración propia.

ESTRATIFICACION DEL SUELO - POZO 1



ESTRATIFICACION DEL SUELO - POZO 2



ESTRATIFICACION DEL SUELO - POZO 3



Figura 45 Comparación Estratigráfica de los pozos de estudio

Fuente: Elaboración propia.

3.2.7 Ensayo De Peso Específico

El peso específico es la relación existente entre el peso y el volumen de una sustancia. Dado que el peso de un objeto es la medida en que la atracción de la Tierra actúa sobre él, y al mismo tiempo el volumen es la superficie que dicho objeto ocupa, el peso específico constituye la relación entre ambas propiedades expresada en Newtons sobre metro cúbico (N/m³), de acuerdo al Sistema Internacional. El cálculo del peso específico requiere de numerosas otras propiedades de la sustancia, como son la densidad, la masa y el peso ordinario de la sustancia²⁴, este ensayo fue realizado en las diferentes profundidades, como se muestra en la tabla 9, los detalles del ensayo se encuentran en el anexo F.

Tabla 9 Resumen de Ensayo de Peso Específico

Variable	1M PROFUNDIDAD			2M PROFUNDIDAD		
	MASA	DENSIDAD	γ	MASA	DENSIDAD	γ
Muestra 1	83,83	1,96	19,30	69,40	2,15	21,10
Muestra 2	79,74	2,07	20,30	76,90	2,00	19,60
Muestra 3	59,69	2,00	19,60	57,90	2,00	19,70

Fuente: Elaboración propia.

3.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE LA ARCILLA

La arcilla es un compuesto de los elementos Silicio (Si) y Aluminio (Al) con agua químicamente combinada. Puesto que el Silicio y el Aluminio se encuentran generalmente en combinación con el oxígeno, como óxidos, se les llama Sílice (SiO₂) y Alúmina (Al₂O₃). La arcilla es conocida en química como un silicato hidratado de alúmina. Esta agua no es la que se añade para hacer plástico el material. Es debido a todos sus elementos presentes en ella que

²⁴ <https://concepto.de/peso-especifico>

se lleva a cabo un análisis químico para determinar la presencia o ausencia de estos elementos y sus porcentajes para posteriores aplicaciones. En el laboratorio de suelos del Área de Ciencias Biológicas y Naturales se han encontrado los siguientes elementos:

Tabla 10 Resumen del ensayo químico en la muestra 1

ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO DE SUELOS										
NÚMERO DE LABORATORIO	TIPO DE MUESTRA	C.E. $\mu\text{s/cm } 1.5$	M.O. %	N. TOTAL %	AL (meq/100g)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	Na (ppm)	K (ppm)	C.I.C.
201738	SUELO	21	0,11	0,04	25,14	6,10	0,60	0,81	132,00	164,65
C.E.: Conductividad Eléctrica										
M.O.: Materia Orgánica										
N.T.: Nitrógeno Total										
C.I.C.: Capacidad de Intercambio Catiónico										

Tabla 11 Resumen del ensayo químico en la muestra 2

ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO DE SUELOS										
NÚMERO DE LABORATORIO	TIPO DE MUESTRA	C.E. $\mu\text{s/cm } 1.5$	M.O. %	N. TOTAL %	AL (meq/100g)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	Na (ppm)	K (ppm)	C.I.C.
201739	SUELO	26,9	0,04	0,05	24,52	6,10	0,60	0,66	155,00	186,88
C.E.: Conductividad Eléctrica										
M.O.: Materia Orgánica										
N.T.: Nitrógeno Total										
C.I.C.: Capacidad de Intercambio Catiónico										

Tabla 12 Resumen del ensayo químico en la muestra 3

ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO DE SUELOS										
NÚMERO DE LABORATORIO	TIPO DE MUESTRA	C.E. $\mu\text{s/cm } 1.5$	M.O. %	N. TOTAL %	AL (meq/100g)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	Na (ppm)	K (ppm)	C.I.C.
201740	SUELO	512	0,15	0,14	25,14	6,10	0,60	0,67	160,00	192,51
C.E.: Conductividad Eléctrica										
M.O.: Materia Orgánica										
N.T.: Nitrógeno Total										
C.I.C.: Capacidad de Intercambio Catiónico										

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO IV

4.EVALUACIÓN

4.1. EVALUACIÓN TÉCNICA

Basándose en los diferentes ensayos granulométricos, contenido de humedad, límites de consistencia, se pudo confirmar que la arcilla llega a diferentes grados de plasticidad, y que conociendo su capacidad de intercambio catiónico se pudo determinar a qué especie de arcilla pertenece; realizándose una síntesis de los resultados obtenidos mediante los ensayos físicos, químicos y mecánicos para caracterizar las arcillas en el Barrio Primavera, como se muestra en la tabla 13.


Tabla 13 Tabla comparativa de las tres muestras estudiadas en el barrio Primavera.

TABLA COMPARATIVA DE LAS MUESTRAS ESTUDIADAS							
NOMBRE	CAOLINITA		HALOSITA NO HIDRATADA		CAOLINITA		
CATEGORIA	MINERAL FILOSILICATO		MINERAL FILOSILICATO		MINERAL FILOSILICATO		
COLOR	GRIS-BLANCO		GRIS-ROJIZO		GRIS-VERDOSO		
TIPO DE SUELO	A-7-5 SUELO ARCILLOSO		A-6 (0) SUELO ARCILLOSO		A-7-5 SUELO ARCILLOSO		
	CH ARCILLA ALTA PLASTICIDAD		CL ARCILLA MEDIA PLASTICIDAD		CH ARCILLA ALTA PLASTICIDAD		
	MUESTRA 1		MUESTRA 2		MUESTRA 3		
PROPIEDADES FISICAS							
DENSIDAD	1,96	gr/cm3	2,07	gr/cm3	2,00	gr/cm3	
PESO ESPECIFICO	19,30	N/m3	20,30	N/m3	19,60	N/m3	
CONTENIDO DE HUMEDAD	23,60	%	25,24	%	28,23	%	
LIMITE LIQUIDO	82,00	%	35,50	%	81,90	%	
LIMITE PLASTICO	30,32	%	22,39	%	34,46	%	
INDICE DE PLASTICIDAD	51,68	%	13,11	%	47,44	%	
INDICE DE LIQUIDEZ	-0,13	%	0,22	%	-0,13	%	
PROPIEDADES MECANICAS							
TENSION ADMISIBLE	1,00	Kg/cm2	1,20	Kg/cm2	1,10	Kg/cm2	
RESISTENCIA A COMPRESION SIMPLE	1,02	Kg/cm2	1,22	Kg/cm2	1,12	Kg/cm2	
RESISTENCIA A CORTE NO DRENADO	0,51	KN/m2	0,61	KN/m2	0,56	KN/m2	
CONSISTENCIA	0,82	Media	0,89	Media	0,86	Media	
CARGA ADMISIBLE	0,93	Kg/cm2	1,36	Kg/cm2	1,08	Kg/cm2	
PROPIEDADES QUIMICAS							
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	26,90		21,00		51,20		
MATERIA ORGANICA	0,04	%	0,11	%	0,15	%	
NITROGENO	0,05	%	0,00	%	0,14	%	
ALUMINIO	24,52	meq/100g	25,14	meq/100g	25,14	meq/100g	
CALCIO	6,10	meq/100g	6,10	meq/100g	6,10	meq/100g	
MAGNESIO	0,60	meq/100g	0,60	meq/100g	0,60	meq/100g	
SODIO	0,66	ppm	0,81	ppm	0,67	ppm	
POTASIO	155,00	ppm	132,00	ppm	160,00	ppm	
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO	186,88		164,65		192,51		

Fuente: Elaboración propia.


Con el fin de aportar con información sobre estos suelos, se ha realizado una tabla individual de cada muestra analizada en laboratorio, considerando la caracterización físico, químico y mecánico del suelo arcilloso, como se muestra en las tablas 14, 15 y 16.

Tabla 14 Ficha Técnica del tipo y características de la arcilla encontrada en la muestra 1.

MUESTRA 1			
IDENTIFICACION DEL SUELO			
Nombre Comercial:	Caolinita		
Categoría:	Minerales Filosilicatos		
Color:	Gris-blanco		
TIPO DE SUELO:	A-7-5	Suelo Arcilloso	
	CH	Arcilla alta plasticidad	
PROPIEDADES FISICAS			
Densidad	1,96	gr/cm ³	
Peso Especifico	19,25	kN/m ³	
Contenido de humedad	23,60	%	
Limite Liquido	82,00	%	
Limite Plástico	30,32	%	
Índice de Plasticidad	51,68	%	
Índice de Liquidez	-0,13	%	
PROPIEDADES MECANICAS			
Tensión Admisible (Meyerhof modificado)	T _{adm}	1,00	Kg/cm ²
Resistencia compresión simple	q _u	1,02	Kg/cm ²
Resistencia a corte no drenado	c _u	0,51	KN/m ²
Consistencia	IC	0,82	Media
Carga Admisible (Meyerhof 1956)	q _{adm}	0,93	Kg/cm ²
PROPIEDADES QUIMICAS			
Conductividad Eléctrica	CE	26,90	
Materia Orgánica	MO	0,04	%
Nitrógeno Total	NT	0,05	%
Aluminio	Al	24,52	meq/100g
Calcio	Ca	6,10	meq/100g
Magnesio	Mg	0,60	meq/100g
Sodio	Na	0,66	ppm
Potasio	K	155,00	ppm
Capacidad de Intercambio Catiónico	CIC	186,88	


Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15 Ficha técnica del tipo y características de la arcilla encontrada en la muestra 2.

MUESTRA 2			
IDENTIFICACION DEL SUELO			
Nombre Comercial:	Halosita no hidratada		
Categoría:	Minerales Filosilicatos		
Color:	Gris-rojizo		
TIPO DE SUELO:	A-6 (0)	Suelo Arcilloso Arcilla media plasticidad	
	CL	Arcilla sensitiva	
PROPIEDADES FISICAS			
Densidad	2,07	gr/cm ³	
Peso Especifico	20,33	N/m ³	
Contenido de humedad	23,46	%	
Limite Liquido	35,50	%	
Limite Plástico	22,39	%	
Índice de Plasticidad	13,11	%	
Índice de Liquidez	0,08	%	
PROPIEDADES MECANICAS			
Tensión Admisible (Meyerhof modificado)	Tadm	1,20	Kg/cm ²
Resistencia compresión simple	qu	1,22	Kg/cm ²
Resistencia a corte no drenado	cu	0,61	KN/m ²
Consistencia	IC	0,89	Media
Carga Admisible (Meyerhof 1956)	qamd	1,36	Kg/cm ²
PROPIEDADES QUIMICAS			
Conductividad Eléctrica	CE	21,00	
Materia Orgánica	MO	0,11	%
Nitrógeno Total	NT	0,04	%
Aluminio	Al	25,14	meq/100g
Calcio	Ca	6,10	meq/100g
Magnesio	Mg	0,60	meq/100g
Sodio	Na	0,81	ppm
Potasio	K	132,00	ppm
Capacidad de Intercambio Catiónico	CIC	164,65	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16 Ficha técnica del tipo y características de la arcilla encontrada en la muestra 3.

MUESTRA 3			
IDENTIFICACIÓN DEL SUELO			
Nombre Comercial:	Caolinita		
Categoría:	Minerales Filosilicatos		
Color:	Gris-verdoso		
TIPO DE SUELO:	A-7-5	Suelo Arcilloso Arcilla alta plasticidad	
	CH	Arcilla pre-consolidada	
PROPIEDADES FÍSICAS			
Densidad		2,00	gr/cm ³
Peso Especifico		19,63	N/m ³
Contenido de humedad		20,79	%
Limite Liquido		81,90	%
Limite Plástico		34,46	%
Índice de Plasticidad		47,44	%
Índice de Liquidez		-0,29	%
PROPIEDADES MECÁNICAS			
Tensión Admisible (Meyerhof modificado)	T _{adm}	1,10	Kg/cm ²
Resistencia compresión simple	qu	1,12	Kg/cm ²
Resistencia a corte no drenado	cu	0,56	KN/m ²
Consistencia	IC	0,86	Media
Carga Admisible (Meyerhof 1956)	Q _{adm}	1,08	Kg/cm ²
PROPIEDADES QUÍMICAS			
Conductividad Eléctrica	CE	51,20	
Materia Orgánica	MO	0,15	%
Nitrógeno Total	NT	0,14	%
Aluminio	Al	25,14	meq/100g
Calcio	Ca	6,10	meq/100g
Magnesio	Mg	0,60	meq/100g
Sodio	Na	0,67	ppm
Potasio	K	160,00	ppm
Capacidad de Intercambio Catiónico	CIC	192,51	

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO IV

5.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.CONCLUSIONES

Del análisis de los resultados obtenidos mediante la metodología planteada para la realización del presente trabajo de investigación se establece que:

- En la zona de estudio se ha encontrado dos tipos de arcilla: Caolinita y Halosita, siendo esta última un mineral que pertenece al grupo de la caolinita, con ciertas propiedades diferentes; llegando a la conclusión de que debido a los intemperismos ocurrido en la zona estas arcillas se han mezclado con ciertos minerales, llegando a formar otros, sin embargo mantiene su estructura inicial.
- Las arcillas encontradas en las muestras 1 y 3 se clasifican en el Sistema Unificado como CH (Arcillas de Alta Plasticidad), debido a la variabilidad del contenido de humedad en la zona, su consistencia cambia de media a blanda, por lo que para la construcción de edificaciones futuras se debe considerar este aspecto, para evitar asentamientos elevados por consolidación primaria.
- En el sistema AASHTO las arcillas de la muestras 1 y 3 clasifican como A-7-5 y la muestra 2 clasifica como A-6, que de acuerdo al sistema mencionado anteriormente son suelos malos como subrasante, además que presentan un IP mayor a 20%, por lo que para la proyección de pavimento en este barrio se debe considerar un mejoramiento de la subrasante o en su defecto un cambio, para evitar problemas de deformaciones plásticas en las camas.

5.2.RECOMENDACIONES

Considerando los resultados obtenidos en la presente investigación se recomendaría:

- Realizar estudios específicos para cada campo de aplicación del material encontrado.
- Estudio a mayor detalle con un muestreo sistemático dentro de las zonas de interés para el diseño de presas o rellenos sanitarios.
- Adquirir y equipar el laboratorio de la manera más adecuada con el equipo requerido para el estudio, como ser Permeámetro de carga variable, para permeabilidad en Arcillas; el Picnómetro, para determinar la gravedad específica en suelos finos.
- Aumentar un detalle de los estudios específicos como ser el ensayo de: Consolidación en muestras inalteradas, además de Permeabilidad en arcillas y ensayo de corte directo, para obtener el ángulo de fricción interna “ Φ ” y la cohesión “C”.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Hoyos Patiño, Fabián (1997). *Suelos Residuales Tropicales*.
- Administradora Boliviana de Carreteras *Manual de Carreteras: Volumen 04*
 - Das, Braja M. (2011). *Fundamentos de Ingeniería de cimentaciones*. Sacramento-California (USA): International Thomson Editores.
 - Carrasco Ardaya, Germán. *Fundamentos de geología y geotecnia para ingeniería*
 - González de Vallejo, Luis; Ferrer, Mercedes; Ortuño, Luis; Oteo, Carlos. (2002) *Ingeniería Geológica*. Madrid – España: Pearson Educación.
 - Vélez Moreno, Ligia María. (2010) *Suelos y rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias*. Extraído desde: <http://es.scribd.com/doc/12594608/Suelos-y-Rocas>
 - Jiménez Salas, José Antonio. (1970) *Geotecnia y cimientos. Tomo 1: Mecánica de suelos*. Madrid – España: Editorial Rueda.
 - Suarez, Jaime. (1998) *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga – Colombia: Publicaciones UIS.
 - Medina G., David. *Contribuciones del mapa de unidades litológicas superficiales y su aplicación en la elaboración del mapa de susceptibilidad ante movimientos en masas en el sector “Ciudad Camino de los Indios”, Dto. Capital, Caracas, Venezuela. Mérida - Venezuela: INGEOMIN*. Extraído desde: <http://ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/HDL/spanish/sk01ms/sk01ms05.htm>

7. Anexo A

(Resultados ensayos Químicos)

8.Anexo B

(Análisis Granulométrico)

9.Anexo C

(Determinación del Contenido de Humedad)

10. Anexo D

(Determinación de los Límites de Atterberg)

11. Anexo E

(Ensayo SPT)

12. Anexo F

(Determinación de la Densidad y el Peso Específico)