



# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

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

**Carrera de Ingeniería en Geología  
Ambiental y Ordenamiento Territorial**

**TÍTULO**

**“CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y DESCRIPCIÓN DE LAS  
PROPIEDADES FÍSICO - QUÍMICAS DEL DEPÓSITO DE CAOLÍN,  
UBICADO EN EL KM 5 VÍA LOJA - CUENCA, SECTOR ZALAPA  
ALTO, CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA”**

**TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERA EN GEOLOGÍA  
AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL**

**AUTORA:**

**Gabriela Paulina Chicaiza Songor**

**DIRECTOR:**

**Ing. Jorge Michael Valarezo Riofrio, Mg. Sc.**

**LOJA - ECUADOR**

**2019**

## II. CERTIFICACIÓN


Ing. Jorge Michael Valarezo Riofrio Mg. Sc.

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

### CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, realizado por la señorita egresada: **GABRIELA PAULINA CHICAIZA SONGOR** con C.I.; **1105883894**, en su proceso de investigación denominado: **“CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y DESCRIPCIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO - QUÍMICAS DEL DEPÓSITO DE CAOLÍN, UBICADO EN EL KM 5 VÍA LOJA - CUENCA, SECTOR ZALAPA ALTO, CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA”**, previo a la obtención del título de **INGENIERA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL**, el mismo que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, en consecuencia me permito autorizar para su presentación, sustentación y defensa.

Loja, 07 de febrero del 2019.



Ing. Jorge Michael Valarezo Riofrio Mg. Sc.

**DIRECTOR DE TESIS**

### **III. AUTORÍA**

Yo, **GABRIELA PAULINA CHICAIZA SONGOR** declaro ser autora del proyecto de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

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

**Firma:**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Gabriela Paulina Chicaiza Songor', is written over a faint, rectangular stamp. The stamp contains some illegible text and a date, possibly '01/04/2019'.

**Cédula:** 1105883894

**Fecha:** Loja, 01/ 04/ 2019.

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

Yo, **GABRIELA PAULINA CHICAIZA SONGOR**, declaro ser el autor de la tesis titulada: **“CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y DESCRIPCIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO - QUÍMICAS DEL DEPÓSITO DE CAOLÍN, UBICADO EN EL KM 5 VÍA LOJA - CUENCA, SECTOR ZALAPA ALTO, CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA”**, como requisito para optar al grado de: **INGENIERA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional (RDI).

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

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

Para constancia de esta autorización, a los dieciocho días del mes de marzo del dos mil diecinueve.

**Firma:**



**Autor:** Gabriela Paulina Chicaiza Songor

**Cédula:** 1105883894

**Dirección:** Loja, Barrio Yahuarcoma (calles Algarrobos y Yumbingue Esq.)

**Correo electrónico:** gabych478@gmail.com

**Teléfono:** 072102495      **Celular:** 0959134521/ 0999529135

#### **DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Director de Tesis:** Ing. Jorge Michael Valarezo Riofrio, Mg. Sc.

**Tribunal de Grado:** Ing. Carlomagno Nixon Chamba Tacuri, Mg. Sc.

Ing. Diego Eduardo Jara Delgado, Mg. Sc.

Ing. Cesar Voltaire Jaramillo Espinosa, Mg. Sc.

## **V. DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación dedico de manera especial a mi madre Lupe Songor Ortiz que con sus sabios consejos y constante apoyo tanto moral como económico han sabido alentarme en cada uno de propósitos, siendo el pilar fundamental en mí diario vivir.

*Gabriela Paulina Chicaiza Songor*

## **VI. AGRADECIMIENTO**

Primeramente un inmenso agradecimiento a mis Padres, hermanos y sobrinos por brindarme día a día su apoyo incondicional, cariño, afecto y palabras alentadoras que no me permitieron desistir de mis ideales y logros.

De la misma manera mi gratitud a la Universidad Nacional de Loja y a las autoridades, personal administrativo y docentes de la Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial por abrirme las puertas para dar continuidad a mi formación académica y personal, que combinado con el esfuerzo y dedicación propio he podido dar un paso importante en el camino del aprendizaje.

A mi tutor de tesis Ingeniero Michael Valarezo Riofrio quien presto su tiempo, conocimientos, consejos y constante asesoramiento para llevar a dar cumplimiento al presente trabajo de investigación.

Finalmente agradezco al técnico de los laboratorios de Petrografía - Mineralogía Doc. Luis Alfredo Guaya M (†), al Doc. Luis Alfonso Angamarca L. Técnico del Laboratorio de Química por brindarme su tan valioso apoyo y amistad, y también quiero agradecer a mis compañeros y amigos Cesar, Gabriela, José y Vicente quienes que con su humildad y sencillez me supieron acompañar y apoyar en los momentos que los necesite.

*Gabriela Paulina Chicaiza Songor*

## VII. TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
<b>II. CERTIFICACIÓN</b> .....	ii
<b>III. AUTORÍA</b> .....	iii
<b>IV. CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DE LA AUTORA</b> .....	iv
<b>V. DEDICATORIA</b> .....	v
<b>VI. AGRADECIMIENTO</b> .....	vi
<b>VII. TABLA DE CONTENIDOS</b> .....	vii
<b>VIII. ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	xi
<b>IX. ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	xii
<b>X. ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS</b> .....	xiv
<b>1. TÍTULO</b> .....	1
<b>2. RESUMEN</b> .....	2
<b>3. INTRODUCCIÓN</b> .....	6
<b>4. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	9
<b>4.1. Marco Geológico</b> .....	9
4.1.1. Topografía.....	9
4.1.2. Geomorfología.....	9
4.1.3. Pendiente.....	10
4.1.4. Hidrología.....	10
4.1.5. Geología.....	10
4.1.6. Geología Estructural.....	11
4.1.7. Caolín.....	11
4.1.7.1. Composición.....	12
4.1.7.2. Estructura.....	13
4.1.7.3. Génesis.....	15
4.1.7.4. Aplicaciones.....	15
<b>4.2. Propiedades físicas</b> .....	21
4.2.1. Color natural.....	21
4.2.2. Contenido de humedad y pérdida por ignición.....	21
4.2.3. Densidad.....	23

4.2.3.1. Densidad absoluta.....	22
4.2.3.2. Densidad relativa.....	22
4.2.4. Consistencia.....	23
4.2.5. Textura.....	24
4.2.6. Granulometría.....	26
<b>4.3. Propiedades químicas.....</b>	<b>27</b>
4.3.1. Materia orgánica.....	27
4.3.2. Sulfatos solubles.....	27
4.3.3. Potencial de Hidrógeno.....	28
4.3.4. Conductibilidad.....	28
4.3.5. Evaluación mineralógica.....	28
4.3.5.1. Difracción de rayos X.....	28
<b>5. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>31</b>
<b>5.1. Materiales.....</b>	<b>31</b>
<b>5.2. Métodos.....</b>	<b>33</b>
<b>5.3. Metodología.....</b>	<b>34</b>
5.3.1. Recopilación de información.....	34
5.3.2. Metodología para el primero objetivo.....	34
5.3.2.1. Levantamiento topográfico.....	34
5.3.2.2. Levantamiento geológico.....	35
5.3.3. Metodología para el segundo objetivo.....	36
5.3.3.1. Fase de campo.....	36
5.3.3.2. Fase de laboratorio.....	38
5.3.4. Metodología para el tercer objetivo.....	39
<b>6. RESULTADOS.....</b>	<b>42</b>
<b>6.1. Accesos.....</b>	<b>42</b>
<b>6.2. Ubicación administrativa.....</b>	<b>43</b>
<b>6.3. Localización geográfica.....</b>	<b>44</b>
<b>6.4. Descripción biofísica del área de estudio.....</b>	<b>44</b>
6.4.1. Topografía.....	44



6.4.2. Pendiente.....	45
6.4.3. Geomorfología.....	46
6.4.4. Clima.....	47
6.4.5. Hidrología.....	47
6.4.6. Vegetación.....	48
<b>6.5. Caracterización geológica.....</b>	<b>48</b>
6.5.1. Geología regional.....	48
6.5.2. Geología a detalle.....	52
6.5.2.1. Unidad de Rocas ígneas.....	52
6.5.2.1. Unidad de Rocas metamórficas.....	54
6.5.2.1. Unidad de Rocas sedimentarias.....	54
6.5.3. Estructuras.....	58
<b>6.6. Determinación físico – química.....</b>	<b>63</b>
6.6.1. Caracterización física.....	63
6.6.1.1. Color natural.....	63
6.6.1.2. Humedad inicial.....	65
6.6.1.3. Peso específico y Densidad Real.....	66
6.6.1.4. Limite Líquido y Plástico.....	67
6.6.1.5. Textura y Granulometría (Sedimentometría).....	71
6.6.2. Caracterización química.....	72
6.6.2.1. Materia orgánica.....	72
6.6.2.2. Sulfatos solubles.....	73
6.6.2.3. Potencial de Hidrógeno/Conductividad.....	74
6.6.3. Evaluación mineralógica.....	74
6.6.3.1. Fluorescencia de Rayos X.....	74
6.6.3.2. Difracción de Rayos X.....	75
<b>6.7. Calidad y Usos.....</b>	<b>76</b>
6.7.1. Definición de la calidad del Caolín de la Formación Salapa.....	76
6.7.2. Usos del Caolín de la Formación Salapa.....	77
<b>7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>80</b>
<b>8. CONCLUSIONES.....</b>	<b>88</b>

<b>9. RECOMENDACIONES</b> .....	90
<b>10. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	91
<b>11. ANEXOS</b> .....	94

## VIII. ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Estructuras atómicas básicas de los minerales de arcilla. (a). Unidad tetraédrica. (b). Unidad octaédrica.....	13
<b>Figura 2.</b> Estructura de la caolinita.....	14
<b>Figura 3.</b> Límites de Atterberg.....	23
<b>Figura 4.</b> Diagrama Textural de la USDA.....	25
<b>Figura 5.</b> Esquema secuencial de la metodología de trabajo.....	33
<b>Figura 6.</b> Acceso al área de estudio por vía terrestre.....	42
<b>Figura 7.</b> Acceso al área de estudio por vía aérea.....	43
<b>Figura 8.</b> Vista aérea del Área de estudio.- Sector Salapa Alto.....	43
<b>Figura 9.</b> Ubicación de la V. Sacama y Q. Chirimoya.....	47
<b>Figura 10.</b> Columna estratigráfica de la cuenca de Loja.....	51

## IX. ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Forma en las que se presentan los elementos en el caolín.....	12
<b>Tabla 2.</b> Especificaciones para caolín grado cerámico.....	16
<b>Tabla 3.</b> Requisitos granulométricos, mineralógicos y químicos de los caolines para su uso en porcelana de mesa y sanitarios.....	16
<b>Tabla 4.</b> Comparación entre minerales usados como coberturas en el papel.....	17
<b>Tabla 5.</b> Características de los principales minerales usados como relleno en el papel.....	17
<b>Tabla 6.</b> Propiedades de los extensores minerales usados en pintura.....	18
<b>Tabla 7.</b> Clasificación de los pigmentos inactivos por usos.....	19
<b>Tabla 8.</b> Análisis químico de los caolines utilizados para la elaboración de plásticos.....	19
<b>Tabla 9.</b> Principales minerales industriales utilizados en plásticas.....	20
<b>Tabla 10.</b> Propiedades de los minerales utilizados como cargas funcionales en la industria de plásticos.....	20
<b>Tabla 11.</b> Colorantes.- Óxidos metálicos.....	21
<b>Tabla 12.</b> Densidad de solidos de minerales importantes.....	22
<b>Tabla 13.</b> Valores de los Límites de Atterberg para minerales de arcilla.....	24
<b>Tabla 14.</b> Composición mineral de partículas de diferentes rangos de tamaño.....	26
<b>Tabla 15.</b> Equipos y materiales empleados para el desarrollo del presente trabajo.....	32
<b>Tabla 16.</b> Ensayos para la determinación de las propiedades físico – químicas del caolín.....	38
<b>Tabla 17.</b> Ubicación geográfica de sitio de estudio Salapa Alto.....	44
<b>Tabla 18.</b> Rango de Pendientes del área de estudio.- Salapa Alto.....	45

<b>Tabla 19.</b> Puntos de ubicación de afloramientos y muestras.....	63
<b>Tabla 20.</b> Clasificación de las muestras de acuerdo al color según Munsell.....	64
<b>Tabla 21.</b> Valores obtenidos de Contenido de Humedad.....	65
<b>Tabla 22.</b> Datos de densidades determinadas en laboratorio.....	66
<b>Tabla 23.</b> Resultado del Límite Líquido, ejemplo muestra dos.....	67
<b>Tabla 24.</b> Valores resultantes del Límite Líquido de las ocho muestras.....	68
<b>Tabla 25.</b> Resultados del Límite Plástico, ejemplo muestras dos.....	69
<b>Tabla 26.</b> Valores resultantes del Límite Plástico de las ocho muestras.....	70
<b>Tabla 27.</b> Índice de Plasticidad calculado de las ocho muestras.....	70
<b>Tabla 28.</b> Datos obtenidos de Textura y Sedimentometría, ejemplo muestra dos.....	71
<b>Tabla 29.</b> Resultados de Textura y Sedimentometría obtenidos de las ocho muestras.....	72
<b>Tabla 30.</b> Datos resultantes de contenido de Materia Orgánica.....	73
<b>Tabla 31.</b> Valores resultado de Sulfatos solubles contenidos las muestras.....	73
<b>Tabla 32.</b> Resultados del cálculo de pH y conductividad de las muestras.....	74
<b>Tabla 33.</b> Datos resultantes de Fluorescencia de Rayos X de las muestras.....	75
<b>Tabla 34.</b> Valores obtenidos de Difracción de Rayos X de las muestras.....	75
<b>Tabla 35.</b> Resumen de Resultados de Propiedades Físico – Químicas, Composición Química y mineralógica.....	78
<b>Tabla 36.</b> Análisis y comparación de valores de Densidades con diferentes autores.....	83
<b>Tabla 37.</b> Análisis y comparación de datos de Límite Líquido y Límite Plástico con diferentes autores.....	84

## X. ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
<b>Fotografía 1.</b> Levantamiento topográfico de la zona de estudio – punto base.....	35
<b>Fotografía 2.</b> Trabajo de campo. Afloramiento perteneciente a la F. Salapa compuesto de caolín con tonalidades blanco – naranja.....	36
<b>Fotografía 3.</b> Superficies con pendiente vertical 90° encontradas en el Área de estudio.....	45
<b>Fotografía 4.</b> Relieve montañoso al noreste del lugar de estudio.....	46
<b>Fotografía 5.</b> Colinas medianas observadas al sureste del área de estudio.....	46
<b>Fotografía 6.</b> Vegetación del Sector.- Salapa Alto.....	48
<b>Fotografía 7.</b> Afloramiento 1. Rocas volcánicas con diámetros de 5cm a 0,1cm - Tobas riódacíticas de tonalidad café – amarillenta (limolita) totalmente alteradas.....	53
<b>Fotografía 8.</b> Afloramiento 5. Rx. Ígneas Volcánicas-Tobas riódacíticas meteorizadas y alteradas a caolín, fragmentos de roca desde < 5cm y de tono blanco - amarillento.....	53
<b>Fotografía 9.</b> Muestras extraídas calicata 1. Rx. Metamórficas - Esquistos encontrados en el área de estudio.....	54
<b>Fotografía 10.</b> Afloramiento 2. Rx. Sedimentarias – Caolín blanco probablemente con mayor pureza en el área de estudio.....	55
<b>Fotografía 11.</b> Afloramiento 3. Rx. Sedimentarias – Lutita gris – verdosa (p = 10 cm) hallada en el área de estudio.....	56
<b>Fotografía 12.</b> Afloramiento 2. Rx. Sedimentarias – Arcillolita poco compactada (p = 15cm) intercalada con tuba (p = 1cm), encontradas en el área de estudio.....	56
<b>Fotografía 13.</b> Afloramiento 4. Material presente en el contacto deducido entre la F. Salapa y la U. Cera, Esméctitas verdosas y purpuras de aspecto graso.....	57
<b>Fotografía 14.</b> Afloramiento 2. Carbón Lignito encontrado en el área de estudio.....	58
<b>Fotografía 15.</b> Estratificación intercalada entre lutita gris – verdosa y caolín naranja.....	59
<b>Fotografía 16.</b> Discordancia estratigráfica y geométrica en el afloramiento 2.....	59
<b>Fotografía 17.</b> Diaclasamiento de la zona de estudio.....	60

<b>Fotografía 18.</b> Grietas convexas de desecación al pie del afloramiento 2.....	61
<b>Fotografía 19.</b> Grietas de desecación lenticular en base del tercer afloramiento.....	61
<b>Fotografía 20.</b> Afectación por disolución química y biológica de Arcillolita y el Lignito.....	62
<b>Fotografía 21.</b> Experimentación fallida. <b>A.</b> Límite Líquido de la muestra uno. <b>B.</b> Límite Líquido de la muestra ocho.....	68

## **1. TÍTULO**

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y DESCRIPCIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO - QUÍMICAS DEL DEPÓSITO DE CAOLÍN, UBICADO EN EL KM 5 VÍA LOJA - CUENCA, SECTOR ZALAPA ALTO, CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA.**



## 2. RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado “Caracterización Geológica y Descripción de las Propiedades Físico - Químicas del Depósito de Caolín, Ubicado en el Km 5 Vía Loja - Cuenca, Sector Zalapa Alto, Cantón y Provincia de Loja” se encaminó en la identificación y establecimiento de las características geológicas, la calidad de los minerales por medio de la determinación de las propiedades físico – químicas, la composición química y mineralógico con la utilización de metodologías.

Se inició con un levantamiento a detalle de la topografía de 10 Ha de estudio, resultando una superficie irregular con colinas medianas y relieve escarpado con pendientes de fuerte a muy inclinadas y una variación de altura que fluctúan entre 2536 m s.n.m. y 2590 m s.n.m., la geología se obtuvo a partir de la descripción de afloramientos, en donde se determinó que el área se encuentra constituida por caolín naranja rojizo - blanco como el material predominante y tobas riódacíticas pertenecientes a la Formación Salapa.

Se muestreo en afloramientos y calicatas, método de muestreo panel chip (pared - afloramiento y base - calicata), las muestras fueron llevadas y analizadas en el Laboratorio de Química y Geoquímica, Laboratorio de Mineralogía y Petrografía de la UNL se realizó el análisis de todas las características físico – químicas utilizando:

- El Sistema de Notación Munsell (Color),
- Norma-ASTM\_D2216 (Humedad),
- Método del Picnómetro – Norma-ASTM\_D854 (Densidad real),
- Cuchara Casa Grande – Norma-ASTM\_D423-66 Límite líquido y Norma-ASTM\_D424-59 Límite plástico,
- Diagrama Textural de la USDA (Textura),
- Método del Hidrómetro (H151) – Norma INV E 124-07 (Sedimentometría),
- Método de Calcinación e Ignición (Materia orgánica),
- Peachímetro (pH), y
- Conductímetro (Conductividad).

La composición química y mineralógica se determinó remitiendo las muestras a los Laboratorios de Metalurgia Extractiva, Laboratorio de Difracción de Rayos X de la UTPL, de manera que por Fluorescencia de rayos X se obtuvieron valores más altos de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y con alto contenido de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , así mismo, mediante Difracción de rayos X se identificó de manera cualitativa y cuantitativa minerales, como más representativo el cuarzo, caolinita y minerales poco comunes como la aerinita y heulandita.

Luego de terminada la fase experimental y con los resultados obtenidos de propiedades físico – química, y especialmente la composición química - mineralógica, se estableció que el mineral correspondiente a la zona noreste y suroeste de acuerdo a sus porcentajes de sílice y alúmina presenta una mayor calidad con respecto a la zona sureste; además, la calidad también se mide por el porcentaje de óxido férrico, es así que, la zona comprendida al sureste y noreste demuestra un caolín de una inferior calidad, mientras que, al suroeste del área de estudio se aprecia un material de primera calidad.

En total en el yacimiento de caolín del barrio Salapa Alto existen unas reservas de 500 mil toneladas, actualmente explotadas y comercializadas. La fabricación de cerámica es la principal industria que puede hacer uso de este tipo de mineral (estado natural) específicamente en la elaboración de ladrillos y tejas. Asimismo para ampliar su utilización se deberá someter a tratamientos previos para maximizar sus propiedades e incluirlo en otras manufacturas.

## ABSTRACT

The present research work entitled "Geological Characterization and Description of the Physical - Chemical Properties of the Deposit of Kaolin, Located at Km 5 Loja - Cuenca, Zalapa Alto Sector Route, Canton and Province of Loja" was aimed at the identification and establishment of the geological characteristics, the quality of the minerals by means of the determination of the physical - chemical properties, the chemical and mineralogical composition with the use of methodologies.

It began with a detailed survey of the topography of 10 Ha of study, resulting in an irregular surface with medium hills and steep terrain with slopes from strong to very steep and a variation in height that fluctuate between 2536 m s.n.m. and 2590 m s.n.m., the geology was obtained from the description of outcrops, where it was determined that the area is constituted by reddish orange-white kaolin as the predominant material and rhyodacite tuffs belonging to the Salapa Formation.

It was sampled in outcrops and pits, "Chip Panel" sampling method (wall - outcrop and base - pit), the samples were taken and analyzed in the Chemistry and Geochemistry Laboratory, Mineralogy and Petrography Laboratory from the UNL. Were made all the physical - chemical analysis characteristics using:

- The Munsell Notation System (Color),
- Norma-ASTM\_D2216 (Humidity),
- Pycnometer Method - Norma-ASTM\_D854 (Real Density),
- "Big House Spoon" - Norma-ASTM\_D423-66 Liquid and Norma limit-ASTM\_D424-59 Plastic Limit,
- Textural Diagram of the USDA (Texture),
- Hydrometer Method (H151) - Norma INV E 124-07 (Sedimentometry),
- Method of Calcination and Ignition (Organic matter),
- Peachimeter (pH), and
- Conductivity (Conductivity).

The chemical and mineralogical composition was determined by sending the samples to the Extractive Metallurgy Laboratories, X-Ray Diffraction Laboratory of the UTPL, so that by X-ray fluorescence higher values of SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and high content of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> were obtained. Likewise, by means of X-ray diffraction, minerals were qualitatively and quantitatively identified, such as quartz, kaolinite and unusual minerals such as aerinite and heulandite.

After completing the experimental phase and with the results obtained from physical - chemical properties, and especially the chemical - mineralogical composition, it was established that the mineral corresponding to the northeast and southwest zones according to their percentages of silica and alumina shows a higher quality with respect to the southeast area; In addition, the quality is also measured by the percentage of ferric oxide, so that the area to the southeast and northeast demonstrates a lower quality kaolin, while to the southwest of the study area is a material of first quality.

In total in the kaolin deposit of the Salapa Alto neighborhood, there are reserves of 500 thousand tons, currently exploited and commercialized. The manufacture of ceramics is the main industry that can make use of this type of mineral (natural state) specifically in the manufacture of bricks and tiles. Likewise, to expand its use, it must submit test to previous treatments to maximize its properties and include it in other manufactures.

### 3. INTRODUCCIÓN

Las materias primas minerales usadas en la obtención de piezas cerámicas son principalmente sólidos unas en comparación a otros materiales ocasionando propiedades físicas tales como suavidad, textura grasienta y clivaje fácil.

Las materias primas de mayor aplicación son los minerales arcillosos, partículas finas de aluminó-silicatos hidratados, los cuales desarrollan plasticidad cuando se mezclan con agua. Las diferentes arcillas varían mucho en cuanto a características químicas, mineralógicas y físicas pero una característica común es su estructura laminar cristalina, la cual consiste de capas de aluminó-silicatos eléctricamente neutras, lo que produce un tamaño de partícula pequeño y una morfología laminar permitiendo que las partículas se deslicen fácilmente. (Uribe R., Revista Politécnica - Septiembre 2015, Vol. 36, No. 39.).

Las arcillas cumplen dos funciones importantes en los cuerpos cerámicos:

- Primero, su plasticidad característica es esencial en diferentes procesos de fabricación usados comúnmente; la capacidad única de las composiciones arcilla-agua les permiten ser moldeadas y mantener su forma y resistencia durante el secado y la quema.
- Segundo, las arcillas vitrifican en un rango de temperatura, el cual depende de la composición, donde se convierten en materiales densos y resistentes sin perder su forma, todo esto a temperaturas que se alcanzan económicamente.

El caolín  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  es un silicato de aluminio hidratado, producto de la descomposición de rocas feldespáticas, es un material muy reconocido debido a las diferentes aplicaciones en donde puede ser utilizado. En el Ecuador se emplea principalmente como extensor de dióxido de titanio, su uso se ha popularizado debido a las propiedades que le ofrece a la pintura, como: su alto cubrimiento, mejora de la reología, lavabilidad, acabado entre otras. El caolín también es utilizado en otras aplicaciones como papel, cerámica pigmentos, refractarios, caucho, construcción, agroquímicos entre otros.

Para valorar la calidad/pureza del caolín se realizan:

- Mediciones de pH, distribución de tamaño de partícula,
- Color,
- Porcentaje de retenido,
- Composición química por Fluorescencia de Rayos X, y
- Análisis mineralógico por Difracción de Rayos X.

El caolín es una roca compuesta en su mayoría por caolinita, es una arcilla pura y blanca que procede de la descomposición de las rocas de feldespato. Es materia prima de un sinnúmero de industrias, sus aplicaciones son muy variadas y abarcan desde la industria cerámica hasta la industria del papel. En las ocurrencias de las provincias del Azuay, el Cañar, Morona Santiago, Zamora Chinchipe, y Loja, dada su naturaleza mineralógica se deben realizar varios ajustes en cuanto a su beneficio como materia prima, para mejorar sus características tanto en crudo seco y luego de la cocción. Asimismo, se deben considerar las actitudes en cuanto al secado, pues el comportamiento es muy crítico.

Las principales áreas de interés no metálico relacionadas a caolín se encuentran en la Región Austral en las cuencas intermontañas de Cuenca-Biblián-San Fernando y Loja- Malacatos-Catamayo. (Paladines, A. 2005).

En la provincia de Loja se explota una gran cantidad de materiales para la construcción por parte de instituciones públicas y empresas constructoras privadas, como arcilla para ladrilleras, arenas, gravas y rocas masivas para el mercado local.

El centro de la industria ladrillera se encuentra en el Cantón Catamayo, asimismo, las ocurrencias conocidas de caolín están situadas en la parte este de la provincia, sector Salapa de la parroquia el Valle, dentro de la zona metamórfica de la Cordillera Real.

Esto marca la premisa de necesidad de investigaciones de carácter técnico que impulsen el desarrollo industrial de la Región Sur del Ecuador. Sobre la base de lo expuesto y con el fin de cumplir con la secuencia de investigación del presente trabajo; se han planteado los siguientes objetivos:

**Objetivo General:**

- Caracterizar la geología y describir las propiedades físico-químicas del depósito de caolín, ubicado en el Sector Zalapa Alto dentro de las coordenadas UTM PSAD 56: 693681-9569306, 694032-9569306, 694032-9569076 y 693681-9569076, Cantón y Provincia de Loja.

**Objetivos Específicos:**

- Caracterizar la geología 1: 1000 del depósito de caolín.
- Determinar experimentalmente las características físicas-químicas del caolín.
- Definir la calidad del mineral y sugerir posibles usos.

## **4. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **4.1. Marco Geológico**

#### **4.1.1. Topografía**

Aranha Domínguez (1979) entiende por Topografía: "el conjunto de principios, métodos, instrumentos y procedimientos utilizados para la determinación del entorno, dimensiones y posición relativa de una porción limitada de la superficie terrestre, del fondo de los mares y del interior de las minas. También compete a la topografía el replanteo de proyectos".

Todo estudio de ingeniería, desde el proyecto de un tramo de carretera o una línea eléctrica hasta el diseño de un sistema de riego, precisa una representación clara y fidedigna del terreno en el que se va a desarrollar. Todo proyecto ingenieril se apoya principalmente en un trabajo topográfico, que puede tener dos fases:

- La primera es un levantamiento topográfico, que consiste en realizar todas las mediciones necesarias de la zona de interés, con objeto, de obtener un plano topográfico de la misma.
- La segunda es un replanteo, que consiste en señalar sobre el terreno, empleando técnicas topográficas, todos los detalles necesarios para el desarrollo de las obras que contemple el proyecto (García y Rosique, 1994).

#### **4.1.2. Geomorfología**

El relieve de la superficie terrestre es el resultado de la interacción de fuerzas endógenas y exógenas. Las primeras actúan como creadoras de las grandes elevaciones y depresiones, producidas fundamentalmente por movimientos de componente vertical y, las segundas como desencadenantes de una continua denudación que tiende a rebajar el relieve originado.

El Manual de Geología para Ingenieros, enuncia que: "La geomorfología es la ciencia que estudia las formas de la Tierra. Se especializa en estructural (que atiende a la arquitectura geológica) y climática (que se interesa por el modelado), incorpora las técnicas estadísticas



sedimentológicas, en laboratorio y, sobre todo, pierde su aislamiento para convertirse en una ciencia que atiende múltiples factores e inserta el estudio del relieve al conjunto de relaciones naturales que explica globalmente la geografía física” (Escobar, 2003).

Geomorfología es la ciencia que estudia los fenómenos sobre y cerca de la superficie terrestre y se preocupa de las interacciones entre varios tipos de materiales y procesos, implicando los sólidos, líquidos y gaseosos (Gutiérrez, 2008).

#### **4.1.3. Pendiente**

Uno de los conceptos con el que la mayoría de los profesionales de la planificación del paisaje o de la topografía están familiarizados es el de medir pendientes. La pendiente es una forma de medir el grado de inclinación del terreno. A mayor inclinación mayor valor de pendiente. La pendiente se mide calculando la tangente de la superficie. La tangente se calcula dividiendo el cambio vertical en altitud entre la distancia horizontal. (Burrough, P.A, 1986).

A partir de esta definición se conoce el grado de inclinación que presenta el terreno en el área de estudio, determinando así áreas y porcentajes que se encuentran propensas a algún tipo de afectación por la influencia de las pendientes; cabe recalcar que esta información se encuentra representada gráficamente en un mapa de pendientes.

#### **4.1.4. Hidrología**

La hidrología subterránea o hidrogeología según Gil Montes en 2011, puede definirse como “el estudio geológico de las aguas subterráneas”, o bien, “aquella parte de la Hidrología que estudia el almacenamiento, circulación y distribución de las aguas subterráneas en el interior de las formaciones geológicas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, sus interacciones, sus reacciones a la acción antrópica, etc.”

#### **4.1.5. Geología**

La geología especifica las características y propiedades de los materiales, litologías y estratificaciones que componen la corteza terrestre, además, de su comportamiento frente a

diferentes fenómenos endógenos y exógenos a los que se encuentra expuesta y que son el motivo de su evolución. La formación geológica determina la presencia de materiales duros o de baja resistencia y las discontinuidades pueden facilitar la ocurrencia de movimientos a lo largo de ciertos planos de debilidad.

Tarback E & Lutgens F, (2005) indica que la Geología se percibe como una ciencia que se realiza en el exterior, lo cual es correcto. Una gran parte de la Geología se basa en observaciones y experimentos llevados a cabo en el campo. Pero la Geología también se realiza en el laboratorio donde, por ejemplo, el estudio de varios materiales terrestres permite comprender muchos procesos básicos. Con frecuencia, la geología requiere una comprensión y una aplicación del conocimiento y los principios de la física, la química y la biología.

#### **4.1.6. Geología Estructural**

La geología estructural será empleada para la identificación, caracterización de las estructuras geológicas presentes en la zona de estudio y además estudia la disposición de los materiales como resultado de la dinámica que tiene lugar en el interior de la corteza terrestre (Diez, 2005). El libro de Geología Estructural de Belousov V. (1974), manifiesta que “La geología estructural es una parte de la geotectónica, es decir, de esa asignatura geológica que estudia las particularidades de la estructura y desarrollo de la corteza terrestre relacionadas con los procesos mecánicos, movimientos y deformaciones que en ella tienen lugar”.

#### **4.1.7. Caolín**

Caolín es un término que tiene distintas connotaciones dependiendo del campo en el que se emplea. Mineralógicamente el caolín es una roca formada esencialmente por caolinita, un silicato de aluminio hidratado o sus polítipos halloysita, nacrita y dickita que además puede contener cantidades menores de otros minerales como Cuarzo, sulfuros, feldespatos, micas, óxidos de hierro y titanio, así como de otros minerales de arcilla, Montmorillonita, Illita, Esmectita o una posible combinación con uno o más de estos (Norton, 1983). Industrialmente es una arcilla compuesta de caolinita u otros minerales arcillosos relacionados.

#### 4.1.7.1. Composición

Es un silicato de aluminio hidratado formado normalmente por la descomposición de feldspatos y otros silicatos de aluminio cuya fórmula química es  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$  y si bien la composición química de la caolinita es muy simple:  $SiO_2=46,53\%$ ,  $Al_2O_3=39,49\%$  y  $H_2O=13,98\%$ , con la relación Al-Si varía desde 2: 2 hasta cerca de 2: 3. (Heinrich, 1965).

La composición mineralógica de un caolín bruto consiste en caolinita/haloisita, cuarzo, feldspatos y micas. Además, en función de la roca de procedencia, se presenta una corte de minerales accesorios. Los más frecuentes de estos son: óxidos de hierro y titanio, gibsita, alófana, esmectitas, cloritas, carbonatos y pirita. Tampoco es rara la presencia de materia orgánica de escasa madurez.

El caolín a parte de la caolinita, tiene presentes otros elementos como aluminio, silicio, hidrógeno y oxígeno. La composición química de la arcilla normalmente se da en función de los óxidos de varios elementos, aunque podrán estar presentes en formas complicadas y algunas veces desconocidas (Muñoz, 2010). En la siguiente Tabla 1 se muestran algunos de los elementos que se pueden encontrar en el caolín y la forma como éstos se presenta:

**Tabla 1. Forma en las que se presentan los elementos en el caolín.**

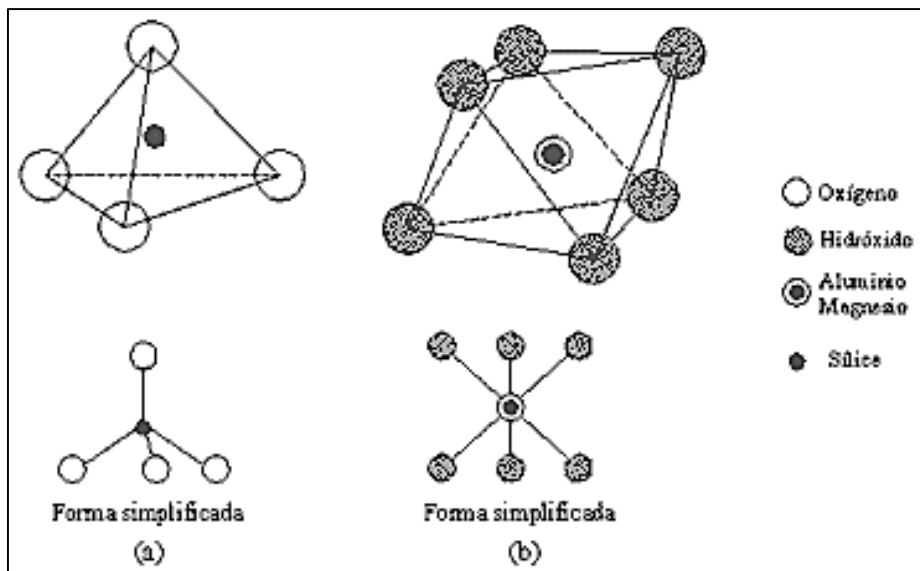
<b>Elemento</b>	<b>Forma de Presentación</b>
Silicio	Sílice – $SiO_2$
Aluminio	Alúmina – $Al_2O_3$
Hierro	Óxido de hierro – $Fe_2O_3$
Titanio	Dióxido de titanio – $TiO_2$
Calcio	Cal – $CaO$
Magnesio	Magnesita - $MgO$
Potasio	Óxido de potasio – $K_2O$
Sodio	Óxido de sodio – $Na_2O$
Manganeso	Óxido de manganeso - $MnO$
Cobre	Óxido de cobre - $CuO$
Hidrógeno - oxígeno	Agua – $H_2O$
Sulfuro	Trióxido de azufre – $SO_3$
Carbón	Dióxido de carbono – $CO_2$

**Fuente:** Muñoz, 2010.

#### 4.1.7.2. Estructura

Todos los minerales arcillosos tienen como contenido esencial el grupo de los Silicatos ( $\text{SiO}_4$ ), pero lo que permite identificar el tipo de grupo de mineral arcilloso son los contenidos de diferentes elementos, como son: Al, Mg, Fe, K, y en menor grado el Na y Ca. Un criterio adicional importante para poder identificar un grupo de mineral arcilloso de otro es la distancia que hay entre capas de la estructura cristalina de cada uno, dado que la composición es poco variable, la estructura es la que varía. A esta característica se le denomina espaciado basal (Velde, 1992).

La estructura de la caolinita es importante, ya que representa a todo el grupo de los minerales de caolín. Otros tipos de minerales arcillosos no pueden derivar de estos. Existen pequeñas sustituciones dentro de la estructura, por lo que los minerales de este grupo son químicamente puros, dándoles las propiedades necesarias para su uso industrial. La sustitución del silicio por otro elemento, como el aluminio, o bien la sustitución del aluminio en la hoja tipo octaédrica por otro elemento de menor carga, por ejemplo el magnesio, causa un cambio químico en el material pero mantiene esencialmente la misma estructura. Estas sustituciones dan origen a la familia de los caolines (Domínguez y Shifter, 1992).



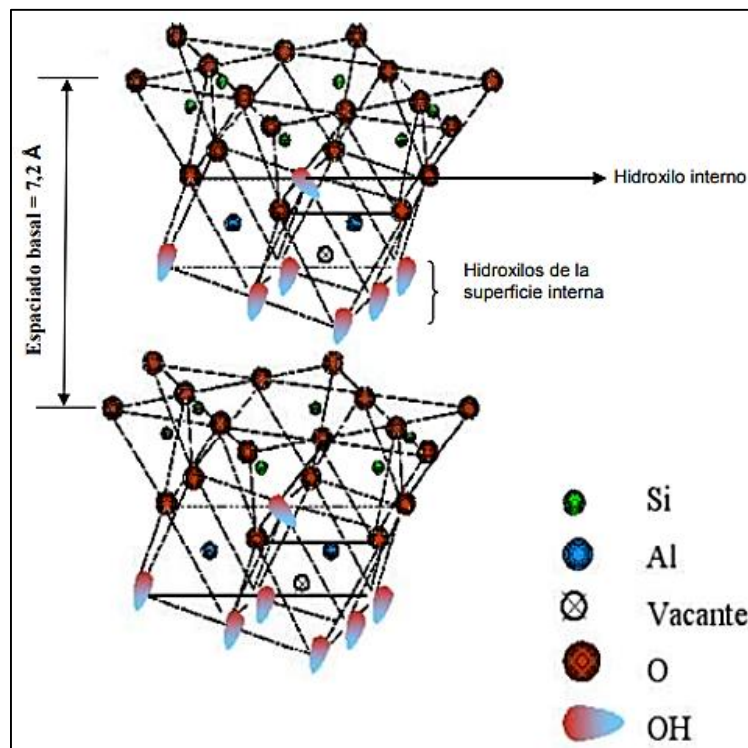
**Figura 1.** Estructuras atómicas básicas de los minerales de arcilla.

(a). Unidad tetraédrica. (b). Unidad octaédrica.

**Fuente:** Whitlow, 1994.

La caolinita está formada por pequeñas capas hexagonales de superficie plana. En su estructura cristalina se distinguen dos láminas, una de tetraedros en cuyos vértices se situarían los oxígenos y en el centro el átomo de silicio, y otra formada por octaedros, en cuyos vértices se situarían los grupos de hidróxilo y dos oxígenos compartidos mientras que en el centro estará el átomo de aluminio.

En la Figura 2 pueden apreciarse con claridad dos tipos de grupos hidroxilo en la caolinita: los grupos hidroxilo dirigidos hacia fuera de la superficie interna de las láminas adyacentes, conocidos como grupos hidroxilo de la superficie interna y por otra parte los grupos hidroxilo dirigidos hacia dentro de las láminas o grupos hidroxilo internos. Los grupos hidroxilo de la superficie interna intervienen mayoritariamente en la cohesión interlaminar, mediante enlaces de hidrogeno con oxígenos de la capa silícica de la lámina adyacente. En contraste, los grupos hidroxilos internos se encuentran dentro de cada lámina y no están expuestos en la superficie de las láminas de caolinita.



**Figura 2.** Estructura de la caolinita.

**Fuente:** Norma DIN: 50359-1. "Testing of metallic materials. Universal hardness test. Part 1: Test Method".

#### **4.1.7.3. Génesis**

El origen de los minerales de caolín en la naturaleza está controlado por una litología favorable y unas condiciones de ambiente que permitan la transformación de los silicatos ricos en alúmina (feldespatos) en filosilicatos. Esto se debe a que los feldespatos favorecen la eliminación de los elementos alcalinos. En determinadas condiciones, los feldespatos y en especial los cálcicos, pueden producir halloysita o mezclas de halloysita y caolinita. La génesis de la caolinita se relaciona siempre con un ambiente de fuerte lavado y movilización de cationes. La energía necesaria para la alteración puede ser exógena (climas cálidos) o endógena (fluidos hidrotermales de temperatura media-baja).

El campo de estabilidad del caolín es muy grande, por lo que es un material bastante común en la superficie de nuestro planeta. La caolinita se origina también debido a la alteración de diferentes rocas como son: graníticas, gneises, rocas volcánicas félsicas, grauvacas, arcosas, micasquistos y pizarras alumínicas, debido al intemperismo en condiciones de clima templado y húmedo, por hidrotermalismo o vulcanismo. Las condiciones ácidas parecen favorecer la formación de caolinita. (Domínguez y Shifter, 1992).

#### **4.1.7.4. Aplicaciones**

Actualmente el mercado es cada vez más competitivo y las industrias exigen especificaciones más estrictas y constancia a lo largo del tiempo lo que se puede conseguir a partir de la selección de materia prima en el yacimiento y de su posterior procesado. El primer paso para ello es la investigación y selección en cantera, seguido de la optimización del tratamiento industrial. Los caolines deben ser sistemáticamente controlados a lo largo de su tratamiento en varias etapas críticas. Cuando la composición y propiedades son las requeridas, se preparan los caolines e incluso se pre-formulan pastas para su venta. Todo ello deriva lógicamente en un aumento del precio de la materia prima (Galán, E. y Aparicio, P., 2006).

Los materiales para carga, pigmentos y extendedores, son el segundo grupo más importante, abastece a industrias tales como pintura, papel, plásticos y caucho. Suelen ser consumidos en función de propiedades tales como: blancura, dispersión en agua o en aceite, tamaño, forma

y distribución de las partículas. Los principales minerales de este grupo son: calizas y calcitas, caolines, talcos, óxidos de hierro, baritas, dolomías y muchísimos otros (Sastre, 2007).

▪ **Cerámica**

Una de las principales especificaciones de caolín cerámico concierne a la presencia de minerales que puedan afectar el color de quemado del cuerpo cerámico. El principal problema es el óxido de hierro, pero un contenido significativo de cobre, cromo y manganeso también es perjudicial. Tales impurezas producen manchas cuando el cuerpo cerámico es quemado. En el grado cerámico se requiere caolinita de 75 a 85%, la porcelana requiere un brillo de 83 - 91 % a 1180 °C y <0.9% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

**Tabla 2. Especificaciones para caolín grado cerámico.**

<b>Tipo de producto</b>	<b>Blancura sin hornear (%)</b>	<b>Tamaño de partícula % &lt; 2µm</b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%)</b>
Alta resistencia	78 - 83	55 - 65	9 – 12 meq
Loza para baño	75 - 80	Menos de 60	Menos de 0,5
Fibra de vidrio	Ninguno	Menos de 70	Menos de 0,5

Fuente: Roskill, 1996.

**Tabla 3. Requisitos granulométricos, mineralógicos y químicos de los caolines para su uso en porcelana de mesa y sanitarios.**

<b>Uso</b>	<b>Granulometría</b>	<b>Mineralogía</b>	<b>Composición química</b>
<b>Porcelana de mesa</b>	100 % < 63 µm	Caolinita > 80% Cuarzo ~ 5% Illita + Esmectita + feldspatos < 3%	SiO <sub>2</sub> < 50% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 34 % Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> < 0,5 % TiO <sub>2</sub> < 0,1 % CaO < 3 % K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O < 3% P <sub>1</sub> C <sub>1</sub> > 10 %
<b>Sanitarios</b>	>53 µm: 0,1 – 0,05% >10 µm: 18 – 25% < 2 µm: 38 – 40 %	Caolinita 80 – 85% Illita: 10 – 15% Feldspatos: 0 – 1% Cuarzo: 0 – 2%	SiO <sub>2</sub> < 46 - 48% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 37 - 38% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> < 0,7 – 0,8% TiO <sub>2</sub> < 0,06 – 0,07% CaO < 0,08 – 0,10% K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O < 1,5 - 2%

Fuente: Galán, E. y Aparicio, P. (2006).

- **Papel**

La industria del papel divide al caolín en fino (90% < 2µm) y grueso (50% < 2µm) y requiere arcillas de baja viscosidad, el contenido de bacterias y hongos necesita ser controlado cuidadosamente cuando sea transportado como un sólido en suspensión.

- **Recubrimiento para papel**

Se requiere caolinita de 90 a 100%, bajo contenido de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0.5 - 1.8%) y TiO<sub>2</sub> (0.4 - 1.6%), sin cuarzo abrasivo y brillo > 85%. Tamaño de partícula de 80 - 100% < 2µm y viscosidad < 7000 cpe. Habilidad para ser dispersado en agua para producir sólidos en suspensión con viscosidades bajas en alto contenido sólido.

**Tabla 4. Comparación entre minerales usados como coberturas en el papel.**

	<b>Talco</b>	<b>Caolín</b>	<b>Carbonato de calcio</b>
<b>Densidad gr/cm<sup>3</sup></b>	2,80	2,58	2,70
<b>Tamaño de partícula</b>			
< 2mm	45%	80%	90%
> 10mm	98%	99%	100%
<b>Forma de partícula</b>	Plana	Plana, laminar	Redonda
<b>pH de la suspensión</b>	9,0	6,5	9,2
<b>Solubilidad en condiciones ácidas</b>	Baja	Ninguna	Alta
<b>Afinidad al agua</b>	Baja	Alta	Moderada
<b>Energía de la superficie (j/cm<sup>2</sup>)</b>	68 -70	550 - 600	75 - 80

Fuente: Industrial Minerals "Pigments and extenders", 1985 en segemar.gov.ar.

- **Relleno de papel**

Se necesita caolinita 90%, < 1% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y TiO<sub>2</sub>, bajo en cuarzo abrasivo (1 - 2%) y brillo > 80%. Tamaño de partícula de 50 - 70% < 2µm y viscosidad < 4000 cpe.

**Tabla 5. Características de los principales minerales usados como relleno en el papel.**

<b>Carga</b>	<b>Índice de refracción</b>	<b>Brillo seco (%)</b>	<b>Tamaño de partícula (µm)</b>	<b>Peso específico</b>	<b>Usos</b>
<b>Talco</b>	1,57 - 1,59	70 - 97	0,3 - 5	2,7 - 2,8	Impresión cartón
<b>Baritina</b>	1,64	95	2,5	4,48	Especiales
<b>Carbonato de calcio</b>					Libros, periódicos, cigarrillos
<b>Molido</b>	1,49 - 1,66	94 - 97	1,2	2,7	
<b>Precipitado</b>	1,49 - 1,66	96 - 99	0,5 - 1	2,7	
<b>Diatomita</b>	1,33	60 - 90	2- 10	2,7	Cartón
<b>Yeso</b>	1,57	92 - 96	6 - 7	2,51	Bond
<b>Caolín</b>	1,55	70 - 90	0,5 - 5	2,58	Impresión

Fuente: Modificada de Roskill, the economic of talc, 1996 en segemar.gov.ar.



- **Pinturas**

El caolín contribuye dando brillo y opacidad a la pintura y, por lo tanto, los caolines usados en pinturas deben tener buen brillo y bajos niveles de impurezas. Otros requerimientos adicionales para caolines utilizados en pinturas es que deben deflocular fácilmente y tener bajos niveles de sales solubles. La distribución del tamaño de las partículas tiende a ser 70% a 80% menor de dos micrones. Los caolines calcinados son utilizados en pinturas porque imparten alto poder de cubrimiento en seco a la pintura y también producen una película de pintura más durable.

En la elaboración de pigmentos de extensión para pinturas y en la fabricación de tintas, como dilatador por su inercia química, suave fluidez, facilidad de dispersión y por no ser abrasivo. En pinturas de agua con liga de aceite, a base de silicato y al temple; en pinturas para moldes de fundición; en pigmentos para el color ultramarino. Da suavidad y brillo a la superficie, mejora la durabilidad de la misma y reduce la cantidad de pigmento necesario.

**Tabla 6. Propiedades de los extensores minerales usados en pintura.**

Mineral	Forma de partícula	Tamaño de la partícula (µm)	Brillo (%)	Absorción aceite (%)	Peso específico	Índice de refracción
Caolín	Plana	0,2 - 5,0	80 - 93	25 - 58	2,6	1,56
Carbonato de calcio	Rombo	5 - 44	93 - 95	6 - 15	2,7	1,60
Talco	Varias	2,5 - 13	90 - 95	29 - 72	2,85	1,59
Asbesto	Fibra	...	85	40 - 90	2,5	1,50
Baritina	Irregular	1 - 12	...	5 - 13	4,44	1,64
Mica	Plana	44 - 120	...	48	2,7	1,59
Atapulgita	Aguja	0,1	...	80 - 190	2,4	...
Diatomita	Amorfa	4 - 8	...	130 - 170	2,2	1,45
Sílice	Irregular	1 - 5	85 - 91	22 - 32	2,6	1,55
Wollastonita	Aguja	3 - 8	84 - 93	26	2,9	1,63

Fuente: Tobón, 2004.

Por ejemplo: para mejorar la brochabilidad o aumentar el rendimiento se prefieren minerales de forma plana y alto índice de refracción como las micas, el caolín y el talco. A continuación se presenta una tabla en la cual se indica la utilización en pinturas de interiores o exteriores de los principales rellenos minerales de acuerdo con sus propiedades y muy especialmente con la capacidad anticorrosiva.

**Tabla 7. Clasificación de los pigmentos inactivos por usos.**

Mineral	Características	Uso	
		Interior	Exterior
<b>Carbonato de calcio</b>	Pureza química, alcalinidad, densidad de la estructura cristalina, baja porosidad de la película. Todo esto le confiere una gran capacidad anticorrosiva.		<b>x</b>
<b>Talco</b>	Su finura y forma cristalina le confiere una buena capacidad anticorrosiva.		<b>x</b>
<b>Baritina</b>	Su resistencia al calor y estabilidad química le confiere una buena capacidad anticorrosiva.		<b>x</b>
<b>Mica</b>	Habito laminar que produce una película casi impermeable.		<b>x</b>
<b>Anhidrita</b>	Carácter aglomerante y dureza que le produce resistencia a la película.	<b>x</b>	
<b>Silíceos</b>	Forma irregular que reduce el brillo.	<b>x</b>	
<b>Caolín</b>	Poder cubriente, reduce costos de materias primas y mejora brochabilidad.	<b>x</b>	

Fuente: Gysau, 2000.

▪ **Plásticos**

Las resinas empleadas en los plásticos normalmente son formuladas con rellenos minerales, estabilizantes, colorantes y otros aditivos para alcanzar las propiedades físicas, químicas y mecánicas requeridas.

**Tabla 8. Análisis químico de los caolines utilizados para la elaboración de plásticos.**

Análisis químico	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	LOI (índice de oxígeno límite)
%	44,6	52,3	0,1 – 0,2	1,7 – 1,9	0,03	0,5 – 0,8	0,04	0,1 – 0,2	0,3

Fuente: DGDMM, 2014.

**Tabla 9. Principales minerales industriales utilizados en plásticas.**

<b>Mineral</b>	<b>Principales resinas</b>	<b>Funciones/observaciones</b>
<b>Alúmina trihidratada</b>	ABS, TPES, LDPE, PVC, epoxy, fenólico, PU.	Obtenida a partir de la bauxita, extensor, retardante de llama, supresor de humo.
<b>Baritina</b>	PEU, PU.	Pigmento de carga y blanco, aumento del peso específico, resistencia a la fricción y química.
<b>Carbonato de calcio</b>	ABS, fluorplásticos, poliolefina, PP, PS, PVC, epoxy, fenólico, PES, PU.	Muy ampliamente usado como carga, mejora el módulo de flexión y la superficie final, control de la viscosidad, producido sintéticamente como CCP.
<b>Feldespatos/sienita/nefelina</b>	Acrílico, poliolefina, PP, PS, PVC, epoxy, PU.	Especialmente carga, fácilmente humedecible, permite transparencia y translucidez; resistencia a los agentes meteorológicos y química.
<b>Caolín</b>	Nylon, poliolefina, PU, PVC, PEU, TPES.	Gran volumen utilizado, tipo hidratado y calcinado, muy utilizado en PVC para cables, SMC, BMC y en mosaicos vinílicos, modificador de la reología, reducción de costo y mejora el acabado.

Fuente: Tobón, 2004.

**Tabla 10. Propiedades de los minerales utilizados como cargas funcionales en la industria de plásticos.**

	<b>Tamaño de partícula (µm)</b>	<b>Área superficial (m<sup>2</sup>/g)</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Dureza Mohs</b>
<b>Caolín</b>	0,2 – 1,0	10 - 20	2,6	2,0 – 2,5
<b>Carbonato de calcio:</b>				
<b>Molido</b>	5 – 15	1 – 5	2,7	3,0 – 3,5
<b>Precipitado</b>	0,1 – 1,0	5 - 20	2,6	2,5 – 3,0
<b>Sílice:</b>				
<b>Molido</b>	2 – 6	1 – 2	2,65	7,5
<b>Humo</b>	0,04 – 0,05	50 - 150	1,8 – 2,2	...
<b>Alúmina hidratada</b>	1 – 1,5	5	2,4	2 - 3
<b>Mica</b>	...	6 - 10	2,9	1,5
<b>Talco</b>	1 – 1,5	6 - 10	2,8	1,5
<b>Wollastonita</b>	...	1	2,8 – 2,9	4,5 – 5,0

Fuente: Tobón, 2004.

## 4.2. Propiedades físicas

### 4.2.1. Color natural

La tonalidad blanco o casi blanco, a veces puede ser gris o amarillenta. Otro componente que le da la apariencia blanca al caolín es derivado de sus partículas finas, lo que hace que la luz se disperse (Pruett y Pickering, 2006). Las impurezas más comunes que se pueden encontrar en los caolines son: cuarzo, mica, illita, esmectita, feldespatos, goethita, hematita, pirita, anatasa, rutilo, ilmenita y trazas de turmalina, zircón, cianita y otros minerales pesados (Murray, 2007).

**Tabla 11: Colorantes.- Óxidos metálicos**

Óxidos metálicos	Fórmula química	Coloración
Óxido férrico	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Rojo, pardo, verde
Óxido de cromo	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Verde.
Óxido de cobre	CuO	Verde, Azul, Negro.
Óxido de cobalto	CoO	Azul.
Óxido de manganeso	MnO <sub>2</sub>	Marrón, Violeta.
Óxido de níquel	NiO <sub>2</sub>	Marron, Amarillo azul.
Óxido de titanio	TiO <sub>2</sub>	Blanco, No da color.

**Fuente:** Ballesteros B., Taller cerámico.

### 4.2.2. Contenido de humedad y pérdida por ignición

El agua en el material puede estar en dos diferentes formas: agua de hidratación y agua de constitución. El agua de hidratación es la que está adsorbida en la superficie o en las partículas del material, mientras que el agua de constitución es la que forma parte de las moléculas. El contenido de humedad efectivo de arcillas caoliníticas naturales varía entre el 6-14 %. La pérdida de ignición se reporta como el porcentaje de masa perdida por la volatilización de la humedad combinada (agua de hidratación + agua de constitución) y el dióxido de carbono proveniente de los carbonatos presentes en la muestra, si los hubiera; y se determina gravimétricamente, sometiendo de la muestra a una temperatura de 1050° C. (Escobar A, Osorio A, Palma J, Palma A, Pérez M. 2012).

### 4.2.3. Densidad

La densidad es una magnitud referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen, y puede utilizarse en términos absolutos o relativos. Así por ejemplo el plomo es más denso que un corcho, el agua de mar más densa que la lluvia, el aire en la ciudad más denso que el del campo. La densidad es una propiedad elemental y fundamental de los materiales, relacionada con la naturaleza de sus constituyentes. No obstante su valor es específico para cada sustancia, lo cual permite identificarla o diferenciarla de otras.

#### 4.2.3.1. Densidad absoluta

La densidad absoluta o densidad normal, también llamada densidad real, expresa la masa por unidad de volumen. Cuando no se hace ninguna aclaración al respecto, el término densidad suele entenderse en el sentido de densidad absoluta.

#### 4.2.3.2. Densidad relativa

La densidad relativa o aparente expresa la relación entre la densidad de una sustancia y una densidad de referencia, resultando una magnitud adimensional y, por tanto, sin unidades. La densidad de los sólidos se determina exactamente en laboratorio. La mayoría de los minerales tienen una densidad de sólidos que caen dentro de un rango general de 2,6 a 2,9; es en el cual encajan los suelos arcillosos y limosos (Braja M. Das, 2001).

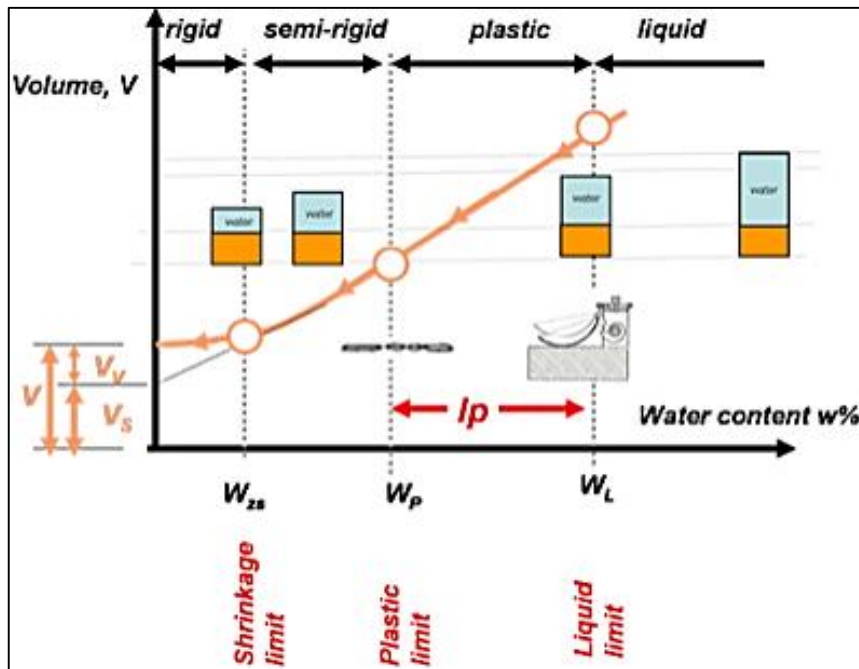
**Tabla 12. Densidad de sólidos de minerales importantes.**

<b>Mineral</b>	<b>Densidad de lo sólidos Gs</b>	<b>Mineral</b>	<b>Densidad de lo sólidos Gs</b>
Cuarzo	2,65	Feldespatos de calcio y sodio	2,62 – 2,76
Caolinita	2,60	Clorita	2,60 – 2,90
Illita	2,80	Biotita	2,80 – 3,20
Monmorillonita	2,65 – 2,80	Moscovita	2,76 – 3,10
Haloisita	2,00 – 2,55	Hornblenda	3,00 – 3,47
Feldespatos de potasio	2,57	Limonita	3,60 – 4,00

**Fuente:** Braja M. Das, 2001.

#### 4.2.4. Consistencia

Esta propiedad se determina mediante los límites de Atterberg (Figura 4) o también llamados límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo de su propia naturaleza y la cantidad de agua que contengan. Así, un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico y líquido o viscoso. La arcilla, por ejemplo, si está seca se encuentra muy suelta o en terrones, añadiendo agua adquiere una consistencia similar a una pasta, y añadiendo más agua adquiere una consistencia fluida. Estos límites en si son valores de humedad de los suelos que se utilizan en la identificación y clasificación de un suelo. (Holtz & Kovacs, 1981).



**Figura 3.** Límites de Attemberg.

**Fuente:** Osorio, 2010.

La elevada plasticidad de las arcillas es consecuencia, nuevamente, de su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeño (elevada área superficial) y alta capacidad de hinchamiento. La relación existente entre el Límite Líquido y el Índice de Plasticidad ofrece una gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla. (Jiménez Salas, et al., 1975).

**Tabla 13. Valores de los Límites de Atterberg para minerales de arcilla.**

<b>Mineral</b>	<b>Límite líquido (%)</b>	<b>Límite plástico (%)</b>
Montmorillonita	100 - 900	50 - 100
Nontronita	37 - 72	19 - 27
Illita	60 - 120	35 - 60
Caolinita	30 - 110	25 - 40
Hallosyta hidratada	50 - 70	47 - 60
Hallosyta deshidratada	35 - 55	30 - 45
Atapulgita	160 - 230	100 - 120
Clorita	44 - 47	36 - 40

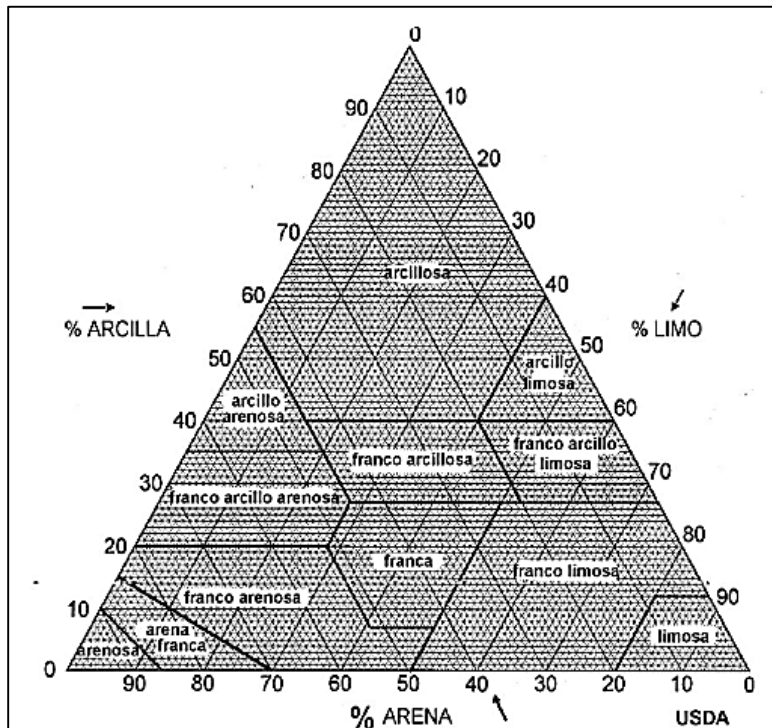
**Fuente:** J.K. Mitchell y Soga, K., 2005.

Cabe indicar que esta propiedad se determinará para el mineral caolín con el propósito de que mediante los valores arrojados de los ensayos de Límite Líquido, Límite Plástico y su diferencia Índice de Plasticidad, se realizará las respectivas comparaciones con datos de plasticidad y tipo de minerales de arcilla ya establecidos en tablas por diversos autores; y por otra parte, se trata de determinaciones sencillas y rápidas, que permiten una pronta identificación de los suelos y la selección adecuada de muestras típicas para ser sometidas a ensayos más complicados.

#### **4.2.5. Textura**

La textura corresponde a las características individuales y/o las relaciones que tienen entre sí las partículas, ósea los clastos o componentes químicos, por ejemplo el tamaño, forma, etc. La proporción (en % de peso) de partículas menores a 2 mm de diámetro (arena, arcilla y limo) existentes en los horizontes del suelo. En edafología las partículas de un suelo se clasifican en elementos gruesos (> 2 mm) y elementos finos (< 2 mm). Estos últimos son los utilizados para definir la textura de un suelo.

El Diagrama textural de la USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América) es una herramienta para obtener las clases texturales en función de los porcentajes de arena, limo y arcilla.



**Figura 4.** Diagrama Textural de la USDA

**Fuente:** USDA

Si siguiendo la terminología establecida por la USDA, se tiene las siguientes clases de partículas inferiores a 2 mm de diámetro:

- Arena muy gruesa       $2 \text{ mm} > \varnothing > 1 \text{ mm}$
- Arena gruesa             $1 \text{ mm} > \varnothing > 0.5 \text{ mm}$
- Arena media             $0.5 \text{ mm} > \varnothing > 0.25 \text{ mm}$
- Arena fina                 $0.25 \text{ mm} > \varnothing > 0.10 \text{ mm}$
- Arena muy fina         $0.10 \text{ mm} > \varnothing > 0.05 \text{ mm}$
- Limo                         $0.05 \text{ mm} > \varnothing > 0.002 \text{ mm}$
- Arcilla                      $\varnothing < 0.002 \text{ mm}$

Las texturas arcillosas dan suelos plásticos y difíciles de trabajar. Retienen gran cantidad de agua y de nutrientes debido a la microporosidad y a su elevada capacidad de intercambio catiónico. Aunque retengan agua en cantidad presentan una permeabilidad baja, salvo que estén bien estructurados y formen un buen sistema de grietas.



#### 4.2.6. Granulometría

El análisis granulométrico de un suelo es de gran importancia ya que nos da una idea de cómo es su comportamiento para posterior disposición de él, proceso para determinar la proporción en que participan los granos del suelo, en función de sus tamaños. Esa proporción se llama gradación del suelo. La gradación por tamaños es diferente al término geológico en el cual se alude a los procesos de construcción y la destrucción del relieve, por fuerzas y procesos tales como tectonismo, vulcanismo, erosión, sedimentación, entre otros.

En gran parte, esta variación se debe a la diferencia en el tamaño de partícula y al grado de perfección del cristal. En general, cuanto más pequeñas son las partículas y más imperfecta su estructura, más plástico es el material. La distribución de tamaños de partículas más grandes de 75  $\mu\text{m}$  (retenidas en el tamiz N° 200) se determina por tamizado, en tanto que la distribución de las partículas más pequeñas que 75  $\mu\text{m}$  se determina por un proceso de sedimentación, usando un hidrómetro que es ideal al trabajar con arcillas. (Norma INV-124-07, 2007).

**Tabla 14. Composición mineral de partículas de diferentes rangos de tamaño.**

<b>Tamaño de partícula (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Constituyentes predominantes</b>	<b>Constituyentes comunes</b>	<b>Constituyentes raros</b>
0,1	Montmorillonita – Beidellita	Mica intermedia	Illita
0,1 – 0,2	Mica intermedia	Caolinita Montmorillonita	Illita Cuarzo
0,2 – 2,0	Caolinita	Illita Mica intermedia Micas Hallosyta	Cuarzo Montmorillonita Feldespatos
2,0 – 11,0	Micas Illitas Feldespatos	Cuarzo Caolinita	Hallosyta Montmorillonita

**Fuente:** J.K. Mitchell, 1976.

### **4.3. Propiedades químicas**

#### **4.3.1. Materia orgánica**

Las arcillas suelen contener pequeñas cantidades de compuestos orgánicos de muy diversa naturaleza, normalmente adsorbidos sobre la superficie de las partículas arcillosas o intercaladas en las redes de los silicatos, así como partículas carbonosas discretas de distinto tamaño. Todos estos materiales constituyen lo que se denomina MO. (Grim, 1968). La presencia de estas impurezas condiciona notablemente la utilización de estas materias primas en la industria pues está directamente relacionada con ciertos defectos de fabricación.

El contenido máximo permisible de MO, si se quiere evitar la aparición de defectos, depende de muchos factores, entre los que cabe destacar la duración y el tipo de ciclo de cocción, el tamaño, forma y porosidad de las piezas, la composición y propiedades de la pasta utilizada, la atmósfera y la clase de horno que se emplee, etc. (A. Barba, F. Negre, M. J. Orts y A. Escardino, 1992). Aunque no puede darse una norma general aplicable en todos los casos, diversos autores (A. de Pretis, D. Minichelli, 1987; H. A. Osman, S. H Ehmke, 1970 y R Sladek, 1986) coinciden en afirmar que no es conveniente superar una proporción de materia orgánica del 0,3% (expresada como carbono elemental) en las pastas que se emplean en la obtención por monococción rápida de baldosas de pavimento y revestimiento cerámico.

#### **4.3.2. Sulfatos solubles**

Los sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) están distribuidos en infinidad de sitios de la naturaleza, y pueden estar presentes en aguas con distintas concentraciones y formando sólidos con distintos cationes. Para la determinación de sulfatos presentes en la roca el método más idóneo es el Turbidimétrico, este método permite obtener de manera fiable y sin apenas manipular la muestra el contenido de sulfato en términos de concentración.

El contenido de sulfatos es el indicador de la existencia de minerales como la anhidrita formada por un 41% de CaO y un 59 % de  $\text{SO}_3$ , cuando se expone al agua, la anhidrita absorbe las moléculas de agua y pasan a ser yeso o el yeso es un sulfato de calcio hidratado

además de una roca sedimentaria de origen químico. Es un mineral muy común y puede formar rocas sedimentarias monominerales) en los materiales. (Tarragó, 2006).

### **4.3.3. Potencial de Hidrogeno**

El pH de un mineral es el grado de acidez o alcalinidad relativa que el sólido es capaz de comunicar al agua en la cual está sumergido. Los caolines y la mayor parte de arcillas comunican al agua destilada, en la cual hayan sido puestas en digestión, un pH ligeramente ácido, entre 5 y 6. Las bentonitas proporcionan un medio ligeramente alcalino. El pH de la arcilla debe encontrarse entre 5 y 6. (MEYM, 2003).

### **4.3.4. Conductibilidad**

La conductividad eléctrica es el parámetro más extendido y ampliamente utilizado en la estimación de la salinidad. Se basa en la velocidad con la que la corriente eléctrica atraviesa una solución salina, la cual es proporcional a la concentración de sales en solución. Hasta hace unos años se expresaba en mmhos/cm. En la actualidad se expresa en dS/m (dS=deciSiemens), siendo ambas medidas equivalentes (1 mmhos/cm = 1 dS/m). La conductividad eléctrica, se define como la capacidad que tienen las sales inorgánicas en solución (electrolitos) para conducir la corriente eléctrica.

Se trata de un parámetro físico que mide, a una determinada temperatura, la capacidad de una sustancia para conducir la corriente eléctrica. Los suelos de textura fina al tener mayor capacidad de almacenamiento de agua y mayor capacidad de intercambio catiónico, las arcillas poseen mayores valores de conductividad. La CE en suelos arcillosos va desde 10 a 100  $\mu$ S.

### **4.3.5. Evaluación mineralógica**

#### **4.3.5.1. Difracción de rayos X**

Las rocas, los sedimentos y las arcillas son ejemplos de materiales geológicos compuestos de minerales. Aunque se utilizan diversos métodos para caracterizar dichos materiales –

microscopía óptica, microscopía electrónica de barrido y microsonda principalmente – la Difracción de Rayos X de material en polvo se ha convertido, para el especialista en Ciencias de la Tierra, en una herramienta indispensable ya que permite identificar, caracterizar y cuantificar con precisión materiales de grano fino e intercrecimientos que difícilmente pueden ser estudiados con otros métodos. Esto se debe en gran medida a que más de un 95% de los materiales de la superficie terrestre presentan estructura cristalina y únicamente para algunos materiales de baja cristalinidad como los ópalos, óxidos de manganeso y algunos óxidos de hierro la caracterización obtenida por DRX debe complementarse con otros métodos.

Algunos de los aspectos que se caracterizan comúnmente mediante la DRX de los minerales y materiales de origen geológico son:

- a. La identificación y cuantificación de las fases presentes en muestras cronológicamente o estratigráficamente relacionadas, p.ej. registros lacustres o perfiles del suelo.
- b. El grado de cristalinidad de los materiales, p.ej. en arcillas como lo ilita y el caolín y en ópalos.
- c. Desviaciones respecto a una composición ideal, p.ej. sustituciones y soluciones sólidas en alunitas.
- d. Estado estructural de los minerales para deducción de condiciones de temperatura y presión, p.ej. en feldespatos alcalinos y
- e. Grados de hidratación de las fases, por ejemplo, en sulfatos hidratados de eflorescencias de sales asociadas a apilamientos de rocas.

En el caso de la geología algunas de las áreas en las que de forma cotidiana utilizamos la DRX son: en mineralogía ambiental (apilamientos mineros); génesis de yacimientos minerales (minerales de mena, ganga y de las zonas de alteración); análisis estratigráficos (secuencias marinas, lacustres o continentales para reconstrucción de paleoambientes); riesgos geológicos (identificación de fases solubles y de arcillas expansibles); explotación de recursos minerales (caracterización de minerales industriales); patrimonio arqueológico (caracterización de materiales prehispánicos de origen geológico); edafología (mineralogía

total y de arcillas en suelos); geología del petróleo (mineralogía de filosilicatos de rocas madre y rocas almacén), meteorítica y geocronología (estudio de las fases a datar). Esa versatilidad permite que la mineralogía moderna sea una ciencia interdisciplinaria destinada a resolver problemas aplicados de diferente índole y en diferentes áreas del conocimiento geológico, edafológico, arqueológico y de las ciencias de materiales. (Hernández, 2017).

## **5. MATERIALES Y MÉTODOS**

En el presente proyecto de tesis se contempla un proceso ordenado, adaptado a métodos y técnicas fundamentales de la ingeniería geológica y a la experimentación en laboratorio con el propósito de llegar a conseguir los objetivos, los cuales se encuentran encaminados a caracterizar geológicamente el área, descripción de las propiedades físico - químicas de los materiales, conocer la calidad de los mismos y conseguir obtener el mayor aprovechamiento dentro de industria.

De tal manera que, para facilitar el cumplimiento de los objetivos que persigue el presente proyecto de investigación se trazó un cronograma de actividades, mediante el cual se permitió desarrollar una metodología experimental y descriptiva para cada una de etapas de trabajo a realizarse, que como primera fase comprende actividades de recopilación de información bibliográfica técnica, veraz y confiable en gabinete. Así mismo, en cuanto al trabajo de campo la información adquirida establece la descripción de afloramientos, potencia de estratos, elementos de yacencia y la metodología de muestreo y ensayos de muestras.

Por lo expuesto anteriormente, al ser un estudio de caracterización geológica y descripción de las propiedades físicas – químicas conlleva a realizarse múltiples actividades que parten desde la observación y reconocimiento en campo hasta ultimar en un análisis y hacer las adecuadas recomendaciones para el uso potencial de los materiales ensayados. Inmediatamente se expondrá a detalle los materiales, métodos y el desarrollo de cada una de las metodologías a manejar en la presente investigación.

### **5.1. Materiales**

Con el propósito de adquirir, generar y procesar toda la información que conforma el actual documento se manipulo una serie de materiales de campo, laboratorio y oficina seguidamente detallados:

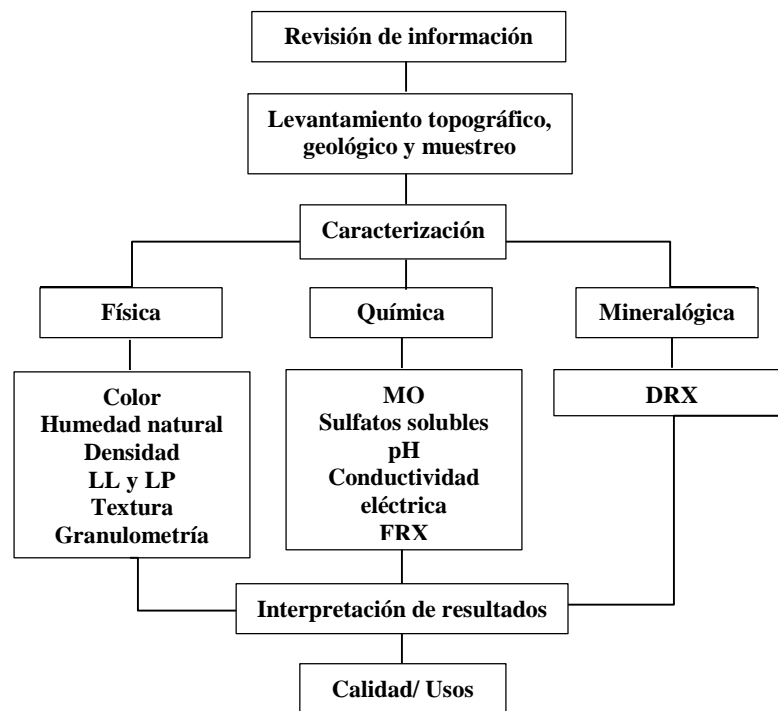
**Tabla 15. Equipos y materiales empleados para el desarrollo del presente trabajo.**

<b>Campo</b>	<b>Laboratorio</b>	<b>Oficina</b>
<b>Equipos</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Documentos bibliográficos (libros, investigaciones, artículos, entre otros.)</li> <li>▪ Carta topográfica de Catamayo y Loja Norte 1: 50000</li> <li>▪ Carta geológica de Loja 1: 100000</li> <li>▪ Guía de Ensayos</li> <li>▪ Computadora</li> <li>▪ Calculadora</li> <li>▪ Impresora</li> <li>▪ Flash Memory</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estación Total SOKKIA CX505</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Balanza analítica</li> <li>▪ Estufa</li> <li>▪ Desecador</li> <li>▪ Cuchara Casa Grande</li> <li>▪ Parrilla de calentamiento con agitador magnético</li> <li>▪ Batidora</li> <li>▪ Hidrómetro 151H</li> <li>▪ Mufla</li> </ul>	
<b>Herramientas manuales</b>		<b>Software</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Barreta, pala, barrenos, machete</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Porrón</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Google Earth</li> <li>▪ ArcGis 10.1</li> <li>▪ AutoCAD 2010</li> <li>▪ INFOPLAN 1: 50 000</li> <li>▪ Microsoft Excel</li> <li>▪ Microsoft Word</li> <li>▪ Microsoft Power Point</li> </ul>
<b>Materiales</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ GPS Garmin</li> <li>▪ Brújula BRUNTON</li> <li>▪ Martillo geológico</li> <li>▪ Estacas</li> <li>▪ Cinta métrica (30 m)</li> <li>▪ Flexómetro</li> <li>▪ Cámara fotográfica</li> <li>▪ Fichas para la descripción de afloramientos y calicatas</li> <li>▪ Bolsas herméticas y sacos</li> <li>▪ Etiquetas para muestras</li> <li>▪ Libreta de campo</li> <li>▪ Juego de escuadras y graduador.</li> <li>▪ Marcadores permanentes y lápiz.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Capsulas de porcelana y metal</li> <li>▪ Bandejas de vidrio</li> <li>▪ Morteros</li> <li>▪ Tamices N° 40 y 200</li> <li>▪ Fundas plásticas</li> <li>▪ Cuchareta, Espátula</li> <li>▪ Vasos de precipitación de 250 ml</li> <li>▪ Picnómetros de 100, 50, 25 y 10 ml.</li> <li>▪ Pissetas</li> <li>▪ Probetas de 1000 ml</li> <li>▪ Termómetro</li> <li>▪ Papel filtro</li> <li>▪ Embudos</li> <li>▪ Matraces 500, 250 y 100 ml.</li> <li>▪ Pipetas</li> </ul>	
<b>Sustancias</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Defloculante Sodio Esametafosfato (<math>\text{NaPO}_3</math>)<sub>6</sub></li> <li>▪ Ácido clorhídrico N/20</li> <li>▪ Cloruro barico al 5%</li> <li>▪ Nitrato de plata</li> <li>▪ Agua destilada</li> </ul>		

**Elaboración:** Autora, 2019.

## 5.2. Métodos

Para el desarrollo de la presente tesis se guía principalmente en el estudio empírico controlado, crítico y sistemático llamado Método Científico, es decir, en un proceso natural sucesivo que consta de pasos interdependiente, que utiliza complementariamente el razonamiento inductivo que permite llegar a ciertos supuestos generales que posteriormente serán verificados por el conocimiento deductivo, verificando así los hechos observados. Además, este método permite tener libertad dentro nuestra investigación y no solamente seguir una serie de pasos prefijados.



**Figura 5.** Esquema secuencial de la metodología de trabajo.

**Fuente:** Autora, 2019.

Además, se hizo uso de la investigación de campo y técnicas de observación aquellas que se aplica extrayendo datos e informaciones directamente de la realidad a través del uso de técnicas de recolección (como visitas de campo, levantamiento de datos) con el fin de dar respuesta a alguna situación o problema planteado previamente.



Finamente se manejó el método experimental en el cual se recopilan datos para comparar las mediciones de comportamiento de un grupo control, con las mediciones de un grupo experimental. Las incógnitas que se utilizan pueden ser variables dependientes (las que queremos medir o el objeto de estudio del investigador) y las variables independientes (las que el investigador manipula para ver la relación con la dependiente). Se práctica la mayor parte de las veces dentro del laboratorio, aunque no está estrictamente ligado a él.

### **5.3. Metodología**

#### **5.3.1. Recopilación de información**

Con el fin de conseguir datos para la elaboración de este proyecto y permitir determinar las características geológicas, estructurales y los lugares más idóneos para la realización del muestreo, y por ende establecer las diferentes formaciones geológicas de la zona de estudio, se procedió a recopilar la información como: cartas topográficas, geológicas a diferente escala, estudios preliminares similares de la zona, y toda la información necesaria.

#### **5.3.2. Metodología para el primero objetivo**

*“Caracterizar la geología 1: 1000 del depósito de caolín”*

##### **5.3.2.1. Levantamiento topográfico**

En la zona de estudio existía un punto de control (mojón) que había sido manipulado por las labores de extracción del material, lo que impidió su utilización y se procedió a tomar un punto base para luego corregirlo y tenerlo como punto de control con la estación total SOKKIA CX505. La superficie levantada comprende 10 hectáreas y el área exhibe un relieve un tanto irregular y con presencia de vegetación arbustiva, de tal manera que se tuvo que realizar un sinnúmero de cambios de estación para facilitar la visualización y obtener a detalle aspectos del terreno como curvas de nivel lo más exactas posible, infraestructura (casetas, postes, vía), red hídrica (quebrada) capaz de representar todos los elementos que se encuentran distribuidos dentro del sitio en estudio.



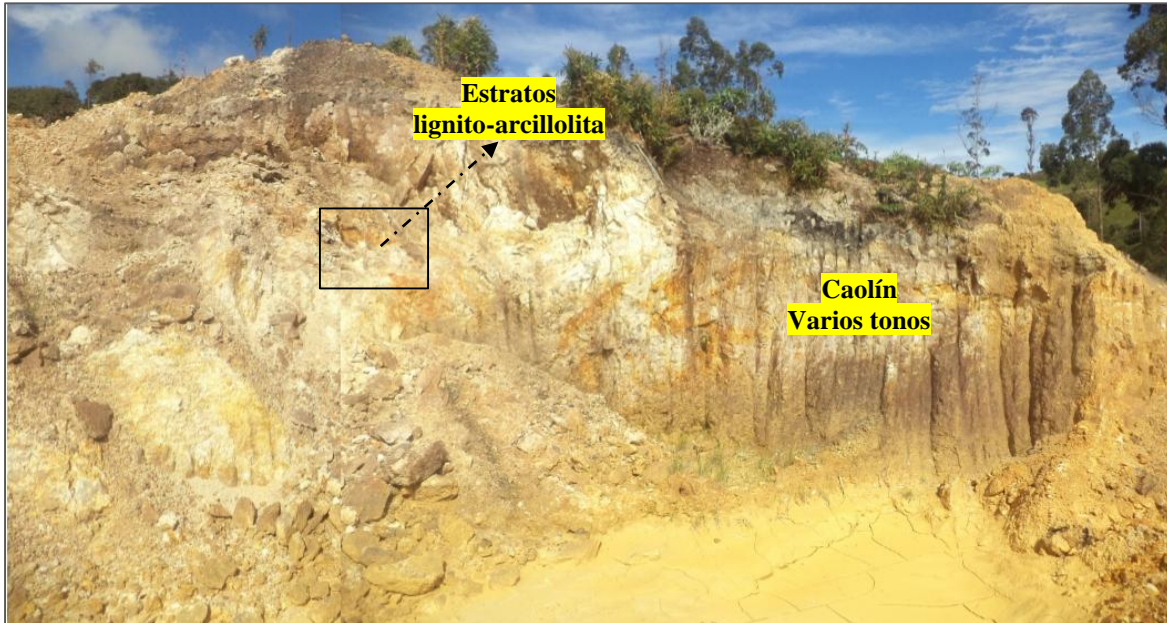
**Fotografía 1.** Levantamiento topográfico - zona de estudio – punto base. **Fuente:** La autora, 2019.

Una vez recolectada la información en campo se procede a descargarla del instrumento de medición al computador, datos que se exportan en formato Excel y consisten en coordenadas en X, Y y Z se ordena con código de leyenda y transfiere con extensión .xls sirviendo de base para la generación de curvas de nivel en el software ForeSight, elaborando un archivo compatible para AutoCAD se modifica y guarda en un nuevo archivo mediante el software ArcGIS 10.1, se realiza finalmente el mapa topográfico a escala 1: 1000. La tipificación de las curvas de nivel se aplicó a cada 5 metros las curvas principales y a cada metro para las secundarias con un sistema de coordenadas PSad 56 UTM, Zona 17 Sur.

### **5.3.2.2. Levantamiento geológico**

Como base para el levantamiento geológico, se tomó la topografía a detalle antes elaborada, carta geológica de Loja hoja 56 a una escala 1:100.000, información digital de ArcGIS Infloplan 2010, observación y descripción directa de zonas representativas expuestas del territorio como afloramientos naturales, artificiales creados para extracción del mineral y calicatas en fichas previamente elaboradas para la documentación de litología, estructuras, anomalías, puntos GPS y registro fotográfico para posteriormente en oficina comparar,

corroborar, adicionar o complementar la información obteniendo así una geología completa y confiable.



**Fotografía 2.** Trabajo de campo. Afloramiento perteneciente a la F. Salapa compuesto de caolín con tonalidades blanco – naranja. **Fuente:** La autora, 2019.

La toma de información en campo de los elementos de yacencia se lo obtuvo gracias a la brújula, ubicación geográfica mediante coordenadas UTM con el GPS, además del martillo geológico y la cinta métrica para medir las dimensiones de los afloramientos y calicatas.

### **5.3.3. Metodología para el segundo objetivo**

*“Determinar experimentalmente las características físicas-químicas del caolín”*

#### **5.3.3.1. Fase de campo**

Previo a esta etapa se verifica que el material a utilizar este disponible, perfecto estado, se elaborara las etiquetas, de los diferentes tipos de fichas de descripción de afloramientos y calicatas.

- **Muestreo**

Para la determinación de las propiedades físico – químicas del material, se aplicó 2 tipos de muestreo: M. exploración y M. Calicatas. Además el método de muestreo por puntos situados en cada una de las superficies a muestrear y distribuidos por el área para obtener mayor información los cuales son:

- a. Muestreo de exploración.- Aquel que se toma de un estrato aflorante a la superficie y se aplica específicamente en afloramientos.
- b. Muestreo de pozos abiertos o calicatas.- Deben tomarse las precauciones necesarias al efectuarla extracción de muestras inalteradas, extrayendo el material por capas, para lo cual se excavara prismas rectangulares concéntricos, cuya profundidad será de 1 m, dependiendo de las características de cementación del material, dejando un escalón en el perímetro a medida que sea profunda la excavación y evitar, hasta donde sea posible, la contaminación de las muestras simples.

- **Recolección de muestras**

La toma de muestras se lo realizara previo a una limpieza de  $(30 \times 30) \text{ cm}^2$  de la pared del afloramiento con barreta/ martillo geológico y de profundidad 50 cm, en los afloramientos con el método de muestreo por puntos en la espacio visible del talud se trazara una malla y de las intersecciones (nudos) o del centro de cada cuadrado se recogerá un peso de 20 a 25 gr. De igual manera se excavara calicatas con dimensiones de  $(1 \times 1) \text{ m}^2$  y profundidad de 1m aplicando el mismo método en cada uno de sus estratos obteniendo así una muestra fresca y representativa; es decir, la cantidad de muestra a analizar debe representar la composición total de aquello que se investiga y además deben mantenerse las proporciones de los distintos componentes que la integran.

Las muestras se colocaron en fundas herméticas lo que evitara que la muestra sufra algún tipo de alteración en sus propiedades, con su respectiva etiqueta y se transportaran en un cajón o caja de cartón para preservar su integridad.

### 5.3.3.2. Fase de laboratorio

Con el propósito de dar cumplimiento a este objetivo, se ejecutaron una serie de análisis de laboratorio estandarizados de acuerdo a las normas, que se encuentran detalladas en la siguiente tabla:

**Tabla 16. Ensayos para la determinación de las propiedades físico – químicas del caolín.**

Propiedades	Ensayo	
	Parámetro	Metodología/ Norma
Físicas	Color natural	Sistema de Notación Munsell
	Contenido de humedad	Norma.- ASTM _ D2216
	Densidad real	Método del Picnómetro Norma.- ASTM _ D854
	Límites Líquido	Cuchara de Casagrande Norma.- ASTM _ D423-66
	Límite Plástico	Norma.- ASTM _ D424-59
	Textura	Diagrama Textural de la USDA.
	Granulometría (Sedimentometría)	Método del hidrómetro (H151). Norma.- INV E 124-07.
Químicas	Materia orgánica	Método de calcinación e ignición
	Sulfatos solubles	Norma.- NLT – 120/72.
	pH	Peachímetro
	Conductibilidad	Conductímetro
Mineralógicas	Composición química	Fluorescencia de rayos X
	Identificación cualitativa y cuantitativa de minerales	Difracción de rayos X

Elaboración propia, 2019.

Con los datos arrojados de los diferentes ensayos en esta etapa de laboratorio se procede a realizar su interpretación, llegando a obtener las propiedades físico – químicas que conjuntamente con la comparación de análisis preexistentes de otros caolines actualmente utilizados como materia prima en la industria y así definir los usos se le pueda dar a este tipo de arcilla.

#### **5.3.4. Metodología para el tercer objetivo**

*“Definir la calidad del mineral y sugerir posibles usos”*

Finalmente para lograr determinar los posibles usos industriales de la arcilla más pura el caolín se hará la comparación de resultados de los análisis obtenidos con análisis de otros caolines que ya se estén utilizando como materia prima dentro de la industria. Se contrastara datos como humedad, color natural, densidad, límite líquido y plástico, granulometría (sedimentometría) y la evaluación mineralógica mediante difracción de rayos X. En último lugar con los resultados obtenidos de parámetros ensayados en laboratorio se establecerá si el caolín sirve de materia prima para la industria cerámica, plástico, pintura y especificaciones para cada uso según "Minerales Javano S.C. de R.L. de C.V.":

##### **◆ Especificaciones para la cerámica**

La caolinita es la arcilla mineral más utilizada en las aplicaciones cerámicas debido a sus propiedades físicas y químicas que son impartidas al procesamiento de los cerámicos y a los productos finales (vajillas, sanitarios, azulejo, porcelana eléctrica, cerámica y refractarios). Las propiedades de los cerámicos de los materiales arcillosos son variables dependiendo de la composición de la arcilla mineral y sus propiedades como son distribución de tamaño de partícula, presencia de materia orgánica y la composición del mineral no arcilloso.

La industria de la cerámica emplea una extensa variedad de formulaciones: métodos de fabricación, moldeado y prácticas de quemado; por lo tanto no existe una especificación ajustada para el caolín usado en cerámica. Las propiedades más importante que imparten el caolín a los cerámicos es la plasticidad, resistencia en verde (estado natural), resistencia en seco, resistencia a la cocción, color, refractariedad, fácil vaciado o colada en los sanitarios, baja o cero absorción de agua y control en el encogimiento o contracción.

##### **◆ Especificaciones para papel**

El principal consumidor de caolín es la industria papelera utilizando más del 50 % de la producción, mejora la impresión, hace que la superficie de la hoja sea más blanca y suave.

El caolín es utilizado como relleno en los intersticios de la hoja y añade receptividad a la tinta y opacidad a la hoja de papel. También es utilizado como recubrimiento en la superficie de la hoja haciendo posible una aguda ilustración fotográfica e impresiones de color luminosas.

Las características de mayor importancia de esta arcilla para la industria del papel son; su brillantez, baja viscosidad, no abrasiva, control del tamaño de partícula y su superficie plana en forma de platos hexagonales. Las propiedades de flujo o reología son muy importantes en el caolín utilizado principalmente para recubrimiento de papel ya que influyen el peso del recubrimiento, la suavidad, textura y otras propiedades de la hoja.

#### ◆ **Especificaciones para la pintura**

Como extensor (entiéndase como extensor.- componentes de las pinturas que modifican brillo, sus características de flujo, el manejo y las propiedades de la película) es el más importante uso dentro de esta industria. Es también utilizado en primers industriales (pinturas base) exteriores a base de aceite. Es promovida la lavabilidad con el uso de esta arcilla, la cuál es la facilidad con que una mancha puede ser removida por lavado y la retención del esmalte (la habilidad de una sustancia para evitar la entrada de esmalte en el interior de su estructura). Da suavidad y brillo a la superficie, mejora la durabilidad de la misma y reduce la cantidad de pigmento necesario.

#### ◆ **Especificaciones para los plásticos**

El caolín es utilizado como relleno de plásticos ya que ayudan a producir un acabado superficial liso, reduce el agrietamiento y la contracción durante el curado, obscurece el patrón de fibra de vidrio cuando se utiliza como refuerzo, mejora la estabilidad térmica, contribuye a una alta fuerza de impacto, mejora la resistencia al ataque químico y al desgaste y ayuda al control de las propiedades de flujo.

El uso es en el cloruro de polivinilo (PVC) recubrimientos sobre alambres y cables. Generalmente, entre más fino sea el tamaño de partícula del caolín, será mejor el refuerzo de las propiedades físicas de todos los polímeros. Es usado como relleno en hules, plásticos y

auxiliar en procesos de filtración. En revestimientos plásticos para ductos y tejas plásticas. Se mezcla bien con oleoresinas en plásticos, mejora la rigidez y dureza del mismo.

Luego con los resultados obtenidos de someter a ensayos de laboratorio las muestras en el segundo objetivo, se realizara la comparación de valores y particularidades de los diferentes parámetros con las tablas que se muestran desde la pág. 15 – 29, donde se puede visualizar datos estándar de las diversas propiedades que necesita tener el caolín para ser utilizado como materia prima dentro de las industrias de cerámica, papel, pinturas y plástico.

Lo que se quiere llegar a cumplir es, darle a este material un uso potencial ya sea de acuerdo a sus características naturales o aplicando un método de tratamiento a bajo costo y que sea factible para los fabricantes, que permita su utilización total y clasificada en numerosos productos, de distintas calidades e industrias.

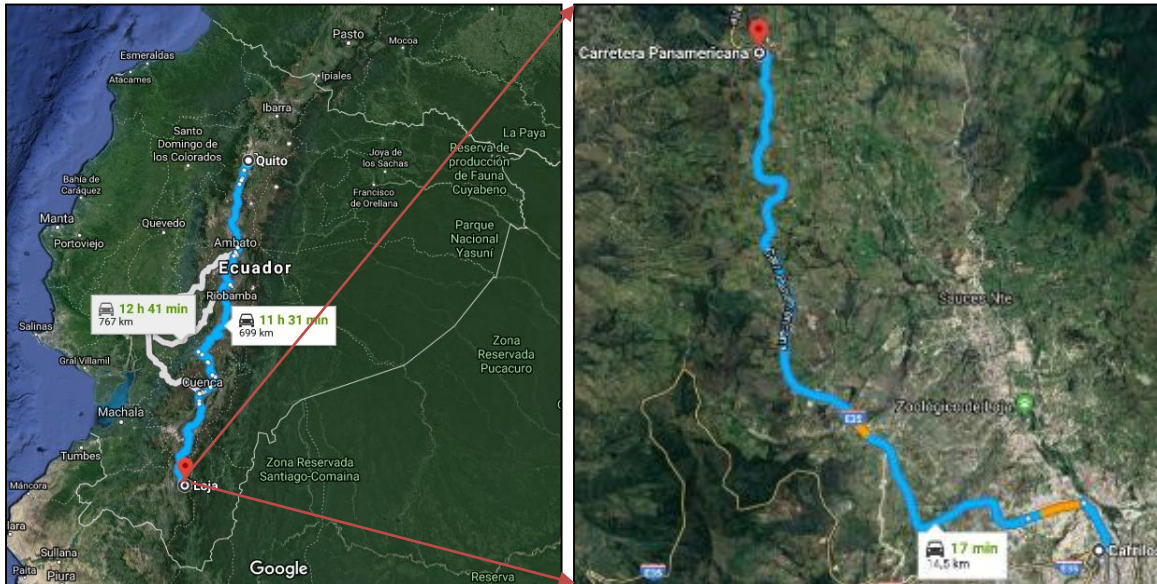


## 6. RESULTADOS

### 6.1. Accesos

#### 6.1.1. Vía terrestre

El acceso se lo realiza desde la ciudad de Quito por la trocal de la Sierra, que atraviesa las capitales de las provincias de Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Cañar, Azuay hasta llegar a Loja, en la ciudad se aborda un vehículo hacia el Barrio Salapa Alto, el mismo que va por la vía a la Sierra/E35, pasando el redondel del Barrio Carigán y se recorren 14.5 km por la Panamericana norte.

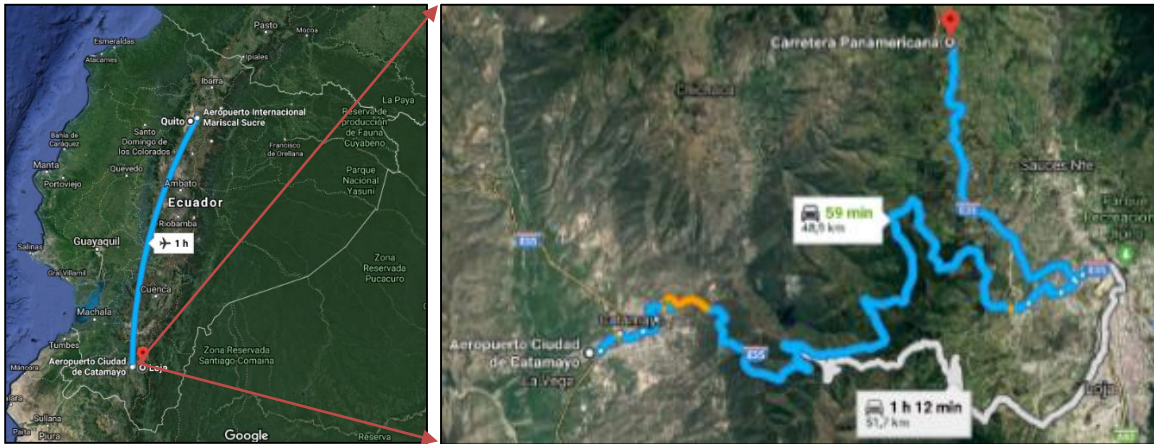


**Figura 6.** Acceso al área de estudio por vía terrestre.

**Fuente:** Google Maps, 2018.

#### 6.1.2. Vía aérea

Quito – Catamayo, desde el Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre, hasta el aeropuerto Ciudad de Catamayo en el transcurso de una hora. En Catamayo por vía terrestre se toma la Troncal de la Sierra (E35) recorriendo 37.5 Km hasta la ciudad de Loja y para que finalmente en 15 minutos recorriendo 14,5 Km llegar al sitio de estudio.



**Figura 7.** Acceso al área de estudio por vía aérea. **Fuente:** Google Maps, 2018.

## 6.2. Ubicación administrativa

El presente proyecto de acuerdo a la división política - administrativa se encuentra ubicado al sur de Ecuador, al Noreste de la Provincia de Loja, aproximadamente entre el límite de las parroquias urbana Carigán y rural Taquil en el cantón Loja. (Ver Anexo 1.- Mapa 1. Ubicación Administrativa del Área de estudio.- Sector Salapa Alto).



**Figura 8.** Vista aérea del Área de estudio.- Sector Salapa Alto. **Fuente:** Google Earth, 2018.

### 6.3. Localización geográfica

En este apartado se definen las coordenadas geográficas (Tabla 19) en Datum Psad 56 y WGS 84 de los puntos que conforman el polígono del lugar de estudio.

**Tabla 17. Ubicación geográfica de sitio de estudio Salapa Alto.**

Datum Psad 56			Datum WGS 84	
Código	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada X	Coordenada Y
P1	693681	9569076	693422	9568703
P2	693681	9569306	693422	9568933
P3	694032	9569306	693773	9568933
P4	694032	9569076	693773	9568703

**Fuente:** Autora, 2019.

### 6.4. Descripción biofísica del área de estudio

#### 6.4.1. Topografía

La topografía a detalle del área de estudio se la realizó mediante levantamiento topográfico y reconocimientos de campo, dándonos como resultado una alteración en la superficie del lugar. La recientemente declarada Parroquia Carigán a la cual pertenece el Barrio Salapa Alto donde se encuentra el sector de estudio muestra un relieve bastante irregular con colinas medianas y terreno escarpado con alturas que oscilan entre los 2536 m s.n.m (cota más baja) a 2590 m s.n.m (cota más alta) comprendiendo un área de 10 Ha.

El levantamiento topográfico no solo se destinó en generar las curvas de nivel sino que además se consideró el levantamiento de la infraestructura presente en el sitio, representando así casetas, vías y postes siendo mínima la distribución de estos elementos; asimismo se complementó la información con la toma de la red hídrica, la única Quebrada Sacama que consta en la Carta Topográfica Loja Norte y Catamayo 1: 50 000; obteniendo finalmente la topografía a detalle del área de estudio a escala 1: 1000. (Ver anexo 1.- Mapa 2)

### 6.4.2. Pendiente

Se refiere al grado de inclinación de las vertientes con relación a la horizontal. La zona posee pendientes en su gran mayoría fuertemente inclinada lo que indica que las pendientes van de 5 - 15°, abarcando un área de 71176,99 m<sup>2</sup> con un porcentaje de 50,90 %; mientras que el 0,57 % del área total es ocupado por pendientes verticales > 55° (Tabla 18); es decir, que el sitio en estudio se encuentra intervenido por las labores de extracción del material que en parte ha sufrido un cambio en la morfología del terreno y ha transformado considerablemente la topografía y por ende el paisaje. Posteriormente se obtuvo:

**Tabla 18. Rango de Pendientes del área de estudio.- Salapa Alto.**

Descripción	Rango	Área (m <sup>2</sup> )	Área (%)
Ligeramente inclinadas	0 – 5°	11280,86	8,07
Fuertemente inclinadas	5 – 15°	71176,99	50,90
Muy inclinadas	15 – 35°	48131,46	34,42
Empinadas	35 – 55°	8444,34	6,04
Verticales	> 55°	802,82	0,57

**Fuente:** Autora, 2019.



**Fotografía 3.** Superficies con pendiente vertical 90 ° encontradas en el Área de estudio.

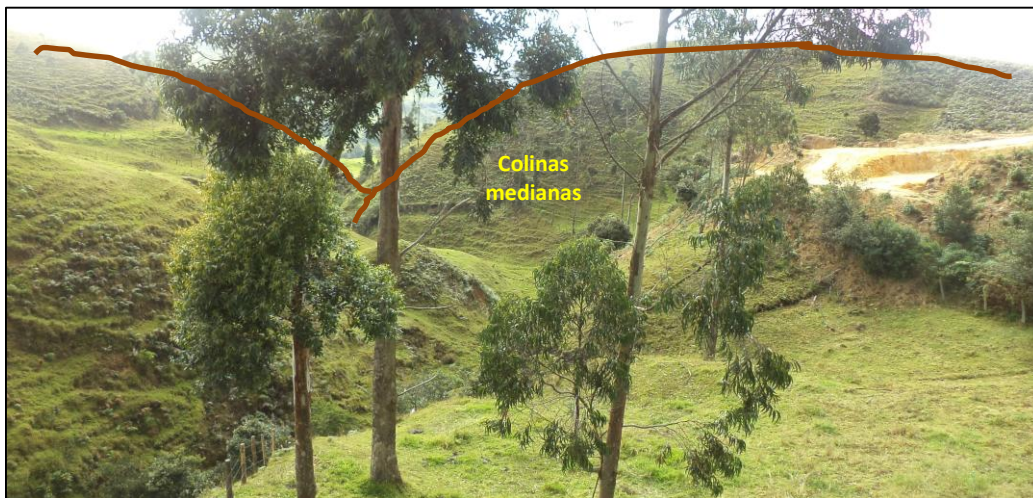
**Fuente:** Autora, 2019.

### 6.4.3. Geomorfología

Las formas del terreno en estudio realizada de acuerdo a la información generada por interpretación de fotos aéreas (Google Earth), topografía, pendientes e Infoplan (2010). Geomorfológicamente la zona está dominada por un terreno irregular con un relieve montañoso y colinas medianas con pendientes fuertes a muy inclinadas, algunas naturales y otras creadas a partir del arranque del material por la maquinaria. El sitio de estudio está formada por diversas ramificaciones montañosas, que oscilan entre los 2543 m s.n.m. en la Quebrada Sacama hasta los 2590 m s.n.m. hacia el oeste de la zona en la vía a Cuenca que forman las crestas de las montañas con un relieve muy accidentado. (Ver fotografía 4 y 5)



**Fotografía 4.** Relieve montañoso al noreste del lugar de estudio. **Fuente:** Autora, 2019.



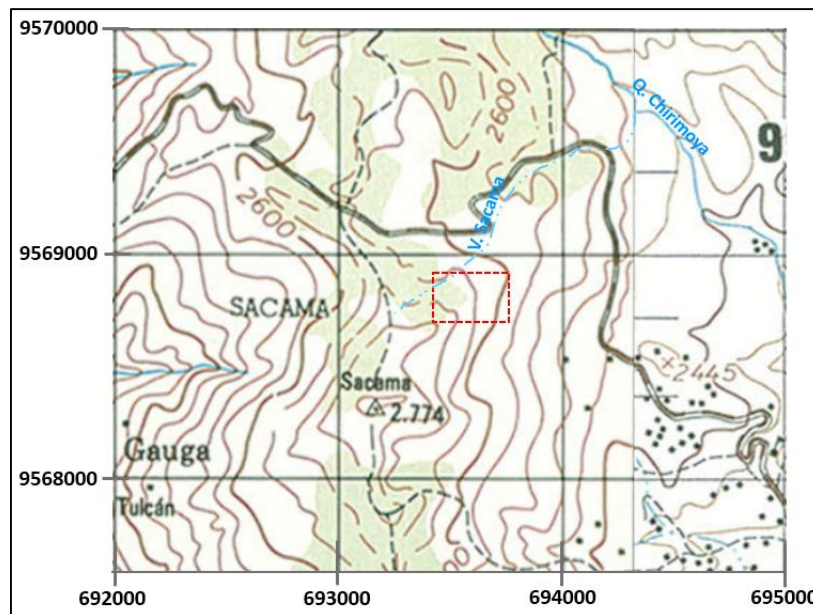
**Fotografía 5.** Colinas medianas observadas al sureste del área de estudio. **Fuente:** Autora, 2019.

#### 6.4.4. Clima

La Ciudad de Loja, posee una variedad de microclimas, con temperaturas extremas anuales, que oscilan entre (5 – 25) °C y precipitaciones medias anuales entre (600 – 1200) milímetros, concentrados en los 4 primeros meses del año, razón por lo que es importante su caracterización eco climática. El clima de la zona de estudio, se lo podría considerar entre húmedo a muy húmedo con temperaturas, que oscilan entre los (10 – 15) °C, con frecuentes heladas principalmente durante el verano, por las precipitaciones que recibe correspondería a la formación del bosque húmedo montano bajo, de acuerdo a la clasificación de Holdridge. La vegetación natural de esta zona ha sido ampliamente sustituida por pastizales y cultivos.

#### 6.4.5. Hidrología

El principal drenaje que atraviesa la cuenca de Loja, lo constituye el río Zamora situado al Este del área de estudio, las aguas fluyen en dirección Sur-Norte, recibiendo varios tributarios entre los que se destacan, la Quebrada del Chirimoyo con varios ramales afluentes que aportan con un caudal considerable. En la parte norte a la izquierda nace la Vertiente Sacama que alimentan a la Quebrada Chirimoya que a su vez esta se une con las quebradas Florencia, Paccha, Salapa y Pailón para desembocar en el Río Zamora.



**Figura 9.** Ubicación de la V. Sacama y Q. Chirimoya. **Fuente:** Carta Topográfica Loja y Catamayo 1: 50000.

#### **6.4.6. Vegetación**

La vegetación del lugar de estudio es de tipo arbórea y matorral, mismo que se encuentra ocupando las colinas medias y cerros que rodean el sector; está constituida básicamente por pastizales, zonas aptas para pastos y cultivos con limitaciones importantes, los que son utilizados de alimento para el ganado vacuno de varios terrenos ubicados en Salapa Alto. Existen dos zonas totalmente sin vegetación erosionadas por el arranque del mineral y constante paso las volquetas que lo transportan, consecuentemente no existe capa de materia orgánica. Los cereales y hortalizas que se cultivan son para consumo y comercialización.



**Fotografía 6.** Vegetación del Sector.- Salapa Alto. **Fuente:** Autora, 2019.

### **6.5. Caracterización geológica**

#### **6.5.1. Geología regional**

El área en estudio de acuerdo a información levantada por el IGM (1975) en la carta geológica de Loja hoja N° 56 establece que; regionalmente en su totalidad se encuentra conformada por depósitos piro clásticos que contiene tobas volcánicas acidas y caolín de variadas tonalidades pertenecientes la Formación Salapa y esquistos pelíticos de color gris verdoso, cuarzo, biotita y para gneises con bandas de cuarzo y sericita de la Unidad Cera, la cual se

encuentra asentada sobre la base metamórfica Unidad Chiguinda que comprende esquistos moscovíticos, sercíticos, cuarcitas, cuarzo de veta, gneis cuarcíticos, grafito y filitas.

**Unidad Chiguinda (Paleozoico).**- Esta unidad es una de las principales unidades litológicas de la Cordillera Real dominando la parte Sur que se encuentra bien expuesta a lo largo de las carreteras Loja - Zamora, Loja - Catamayo y constituye parte de la Serie no diferenciada Zamora de Kennerley (1973). Conforman el basamento de la hoya de Loja; su litología consiste de rocas metamórficas de bajo grado desde pizarras y filitas negras hasta esquistos grafitosos, variablemente intercaladas con cuarcitas. En la parte Sur forma un cinturón de rocas de más de 30km de ancho, acuniándose hacia el Norte. Está en contacto tectónico con el granito Tres Lagunas al Este y la migmatita Sabanilla en el Oeste. Litherland y otros (1994) asignan para la Unidad Chigüinda una edad del Devónico al Pérmico y se la interpreta como una secuencia derivada de una fuente continental, probablemente en una cuenca intercratónica o de margen pasivo. Chew y otros (2007) reportan una datación U/Pb en zircón detrítico de  $362 \pm 12$  Ma y se desconoce su espesor pero se supone que es de varios kilómetros.

**Unidad Agoyán (Paleozoico).**- Esta unidad de esquistos pelíticos y paragneises con bandeamiento de cuarzo y biotita aflora principalmente en la parte Norte de la cordillera. Los contactos con las unidades adyacentes son tectónicos y está estrechamente relacionada con el granito Tres Lagunas (Aspden y Litherland, 1994).

**Unidad Cera (Paleozoica).**- Definida como una secuencia metamórfica de grado medio que varía desde esquistos pelíticos hasta para gneises, correlacionadas con la Unidad Agoyán. Los principales afloramientos se encuentran en la vía Catamayo - Cera - Taquil y en la quebrada Chanipamba. Litológicamente consiste de esquistos pelíticos de color gris verdoso, cuarzo, biotita y para gneises con bandas de cuarzo y sericita.

**Unidad Tres Lagunas.**- (Litherland y otros, 1994). Los principales afloramientos se encuentran en la vía Salapa Alto - Quebrada Solamar y a lo largo del río Tambo Blanco. Consiste de cuerpos masivos de granitoides variablemente cizallados de grano medio a grueso, con plagioclasa, moscovita, biotita y fenocristales de cuarzo a zul. Al norte de Loja, la unidad se encuentra intruida por el plutón de San Lucas. Litherland y otros (1994), señalan



una edad de  $227,6 \text{ Ma} \pm 3,2 \text{ Ma}$ , e interpretan estos granitoides como granitos tipo S emplazados en una zona de rift.

**Formación Trigal (Mioceno Medio).**- Descrita originalmente en la parte occidental de la cuenca sedimentaria de Loja y aflora principalmente en los cortes de la vía de acceso a Loja desde Catamayo y en el sector de Carigán. Litológicamente está compuesta por una secuencia de areniscas y limolitas tobáceas café - verdosas y conglomerados. (Kennerley, 1973). En la transición hacia la Formación San Cayeta no se encontraron estratos de carbón, mientras que en el sector de Sauces Norte, los sedimentos incluyen restos vegetales, además de ostrácodos y gasterópodos. La formación pasa en transición lateral y hacia el tope a la Formación San Cayetano y se encuentra localmente en contacto tectónico con las rocas metamórficas del basamento. Se le asigna una edad del Mioceno según Hungerbühler (1997). La potencia varía de 50-150 m.

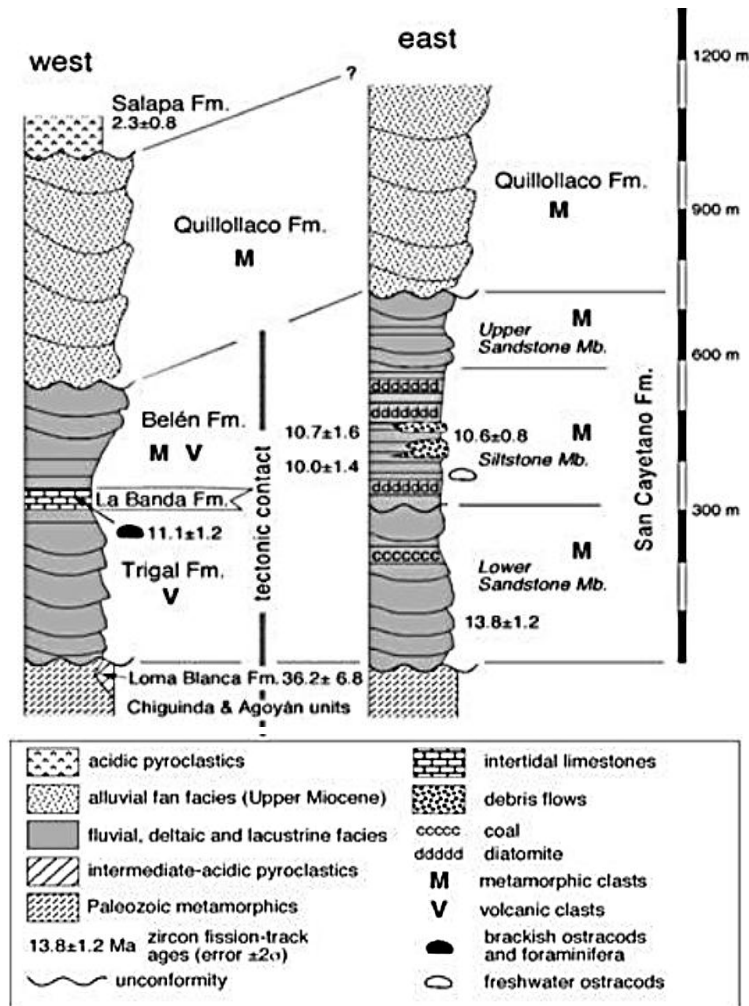
**Formación San Cayetano (Mioceno Tardío-Último).**- Se encuentra en la parte centro oriental de la cuenca de Loja, sin embargo, aflora en los cortes entre la Independencia – Virgen Pamba y La Banda – Jipiro – La Rivera. Está constituida por intercalaciones de areniscas, limolitas y lutitas con abundantes restos vegetales y de fauna fósil. Adicionalmente se observan capas de carbón lignito, diatomitas intercaladas con lutitas silíceas grises y calizas con niveles de chert, tiene una edad de  $13,8 \pm 1,2$  a  $10,0 \pm 1,4 \text{ Ma}$ . (Hungerbühler, 1997). Debido al fuerte plegamiento la estimación del espesor de esta formación es difícil, pero su potencia total puede llegar a 800 m.

**Formación Belén (Mioceno Medio - Tardío).**- Definida en la parte occidental de la cuenca de Loja, aflora en los alrededores del barrio Belén y en el corte de vía San Juan - Salapa Alto. Litológicamente está constituida por lutitas marrones y limolitas con laminación paralela que ocasionalmente presentan restos vegetales. Existen areniscas con nódulos de yeso, concreciones carbonatadas, además de conglomerados y se estima un espesor de 300 m.

**Formación Quillollaco (Mioceno Tardío).**- Tiene amplia posición en toda la cuenca sedimentaria de Loja, presente tanto al lado oriental como al occidental de la cuenca y sobreyace las formaciones más antiguas como a la Formación San Cayetano, está dominada

por conglomerados muy granulados compuestos por clastos redondeados metamórficos con pocas intercalaciones de arenisca. Kennerley, 1973, aflora en los alrededores del barrio Virgen Pamba y a lo largo de las vías a la salida de Loja hacia Zamora y Turunuma -Cristo Rey. Su espesor máximo es de 500m al este de la cuenca, 100m en la parte central y alcanza unos 600m al sur (Cuenca, 2008). La superposición de los cantos implica que el transporte fue de E a W.

**Formación Salapa.-** Kennerley (1973), incluye las rocas volcánicas con limitada exposición en el sector de Salapa Alto. Consiste de lavas andesíticas marrones y capas de aglomerados andesíticos con matriz clastosoportada, además de tobas púrpuras fuertemente diaclasadas y meteorizadas. Hungerbühler (1997) reportó una edad de  $2,4 \pm 0,8$  Ma.



**Figura 10.** Columna estratigráfica de la cuenca de Loja. **Fuente:** Tomado de Hungerbühler, 1997.

### **6.5.2. Geología a detalle**

Al realizar el levantamiento de campo se descubrió que geológicamente el área de estudio se sitúa sobre la Formación Salapa de origen cenozoico, caracterizada por presentar rocas ígneas volcánicas y también en rocas metamórficas del paleozoico de la Unidad Cera. A continuación se detallan las unidades litológicas presentes en la zona de estudio la cual fue representada en un mapa geológico. (Ver Anexo 1. Mapa 3)

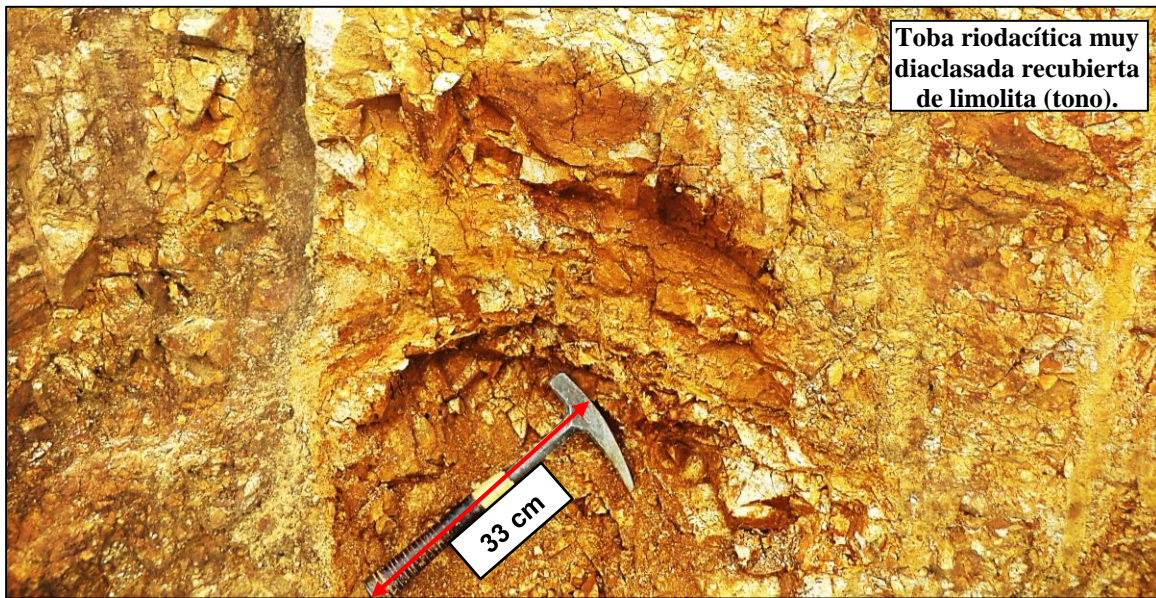
#### **6.5.2.1. Unidad de Rocas ígneas**

Existencia de rocas ígneas en la parte noreste y noroeste del polígono de estudio, hallándose afloramientos tanto naturales como antrópicos principalmente por la apertura de vías. Esta unidad descansa discordantemente sobre el metamórfico que bordea la cuenca, y está constituida localmente por tobas riódacíticas.

#### **Tobas riódacíticas**

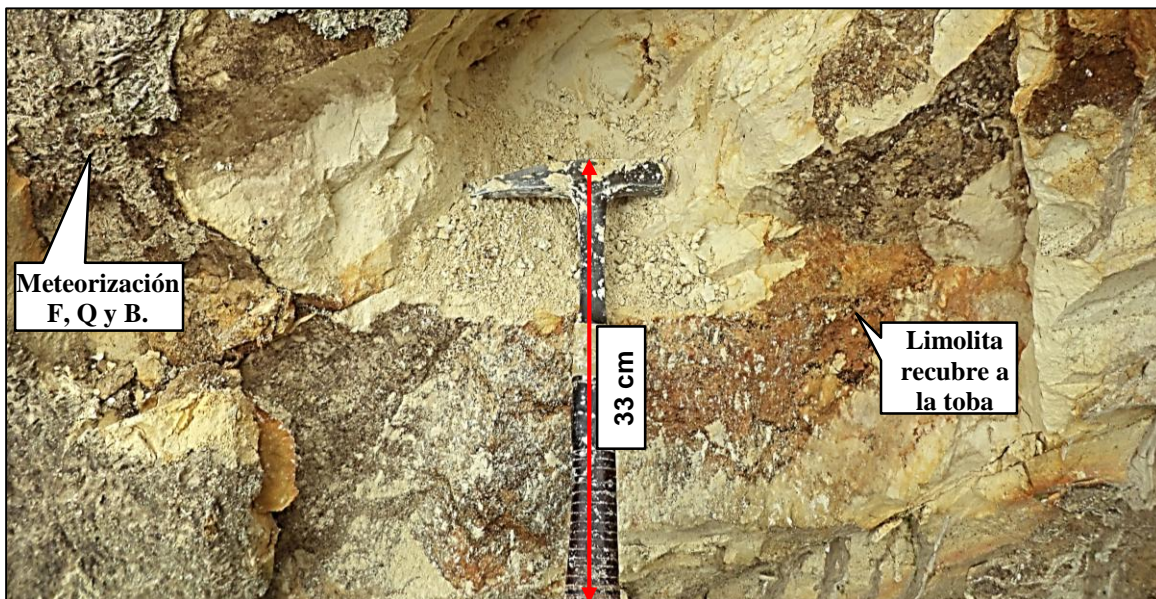
Roca volcánica con limitada exposición en la zona de estudio, son tobas dacíticas a riolíticas diaclasadas, meteorizadas, es decir totalmente alteradas (Fotografía 7) que presentan bioturbación y ripples; también son ricas en materiales alumínicos, que permiten la transformación de la roca a caolín, además de contener minerales ferruginosos como la limonita que al disolverse en el agua da el da la coloración café – amarillenta.

La toba riódacítica tiene una textura piro clástica, apariencia de roca sedimentaria liviana, de consistencia porosa, diámetros de rocas de 5 cm hasta 0,1 cm y tamaño de partículas semejantes a granos de arena; en su gran parte presenta un diaclasamiento no sistemático e irregular, estructuras predominantes con orientación N – W de azimut 165° y de buzamiento de 15° hacia el SO.



**Fotografía 7.** Afloramiento 1. Rocas volcánicas con diámetros de 5cm a 0,1cm - Tobas riódacíticas de tonalidad café – amarillenta (limolita) totalmente alteradas. **Fuente:** Autora, 2019.

Potencia de pocos metros que ya ha sido erosionada de depósitos piroclásticos, tobas volcánicas fuertemente alteradas en proceso de transformación a caolinita de coloración blanco - amarillento y no se observan estructuras primarias, siendo así que la meteorización del basamento permite la transformación a caolín, convirtiendo a la formación en joven de edad Pliocénico.



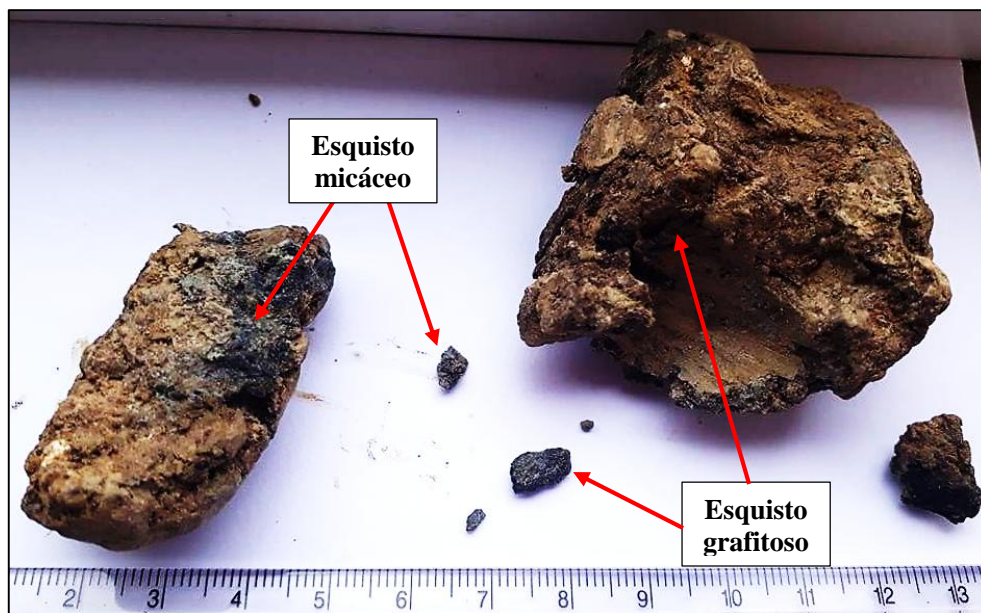
**Fotografía 8.** Afloramiento 5. Rx. Ígneas Volcánicas-Tobas riódacíticas meteorizadas y alteradas a caolín, fragmentos de roca desde < 5cm y de tono blanco - amarillento. **Fuente:** Autora, 2019.

### 6.5.2.2. Unidad de Rocas metamórficas

En la apertura de calicatas se observó la presencia de rocas metamórficas en la parte sur del área de estudio. Estos materiales que conforman el basamento tienen su origen en un metamorfismo de bajo grado y la capa de meteorización del basamento constituye otra unidad de grado medio de metamorfismo.

#### Esquistos

Estas rocas se exhibieron en el primer estrato de la calicata uno seguida de la capa de materia orgánica, se las encontró como fragmentos ( $\phi < 1\text{cm}$ ) incrustados en la capa de arcilla amarillenta. Son esquistos micáceos de tonalidad gris - azulados que contienen pocas escamas de biotita lo que le atribuye el brillo a la roca y también esquistos grafitosos de color negro y brillo metálico, formados por metamorfismo de bajo grado.



**Fotografía 9.** Muestras extraídas calicata 1. Rx. Metamórficas - Esquistos encontrados en el área de estudio. **Fuente:** Autora, 2019.

### 6.5.2.3. Unidad de Rocas sedimentarias

Estas rocas se hallan sueltas en algunos casos y otras fuertemente consolidadas dentro del sitio de estudio, formadas por acumulación de sedimentos. En este caso los procesos

geológicos externos han actuado sobre las rocas preexistentes (basamento metamórfico), estos agentes han meteorizado (física, química y biológica), transportado y depositado en diferentes lugares dependiendo del transporte (agua y viento).

### **Caolín**

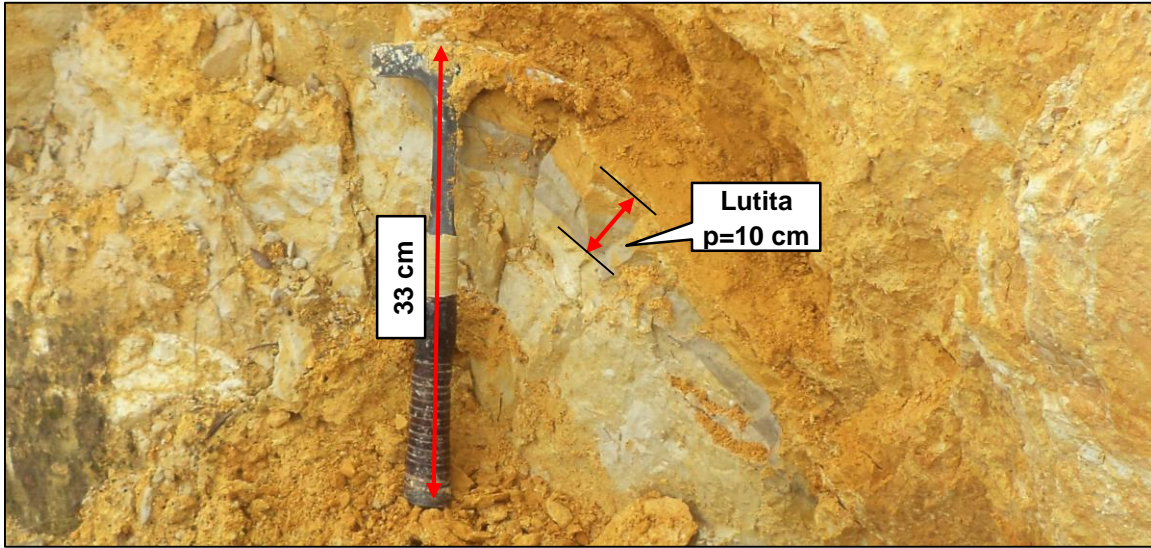
Distribuido por todo el polígono de estudio con varios matices que van de naranja - rojizo a blanco en función del contenido de las impurezas, posiblemente el caolín más puro se sitúan en el centro de área, este material blanco muestra un aspecto terroso, tacto árido y alta plasticidad.



**Fotografía 10.** Afloramiento 2. Rx. Sedimentarias – Caolín blanco probablemente con mayor pureza en el área de estudio. **Fuente:** Autora, 2019.

### **Lutita**

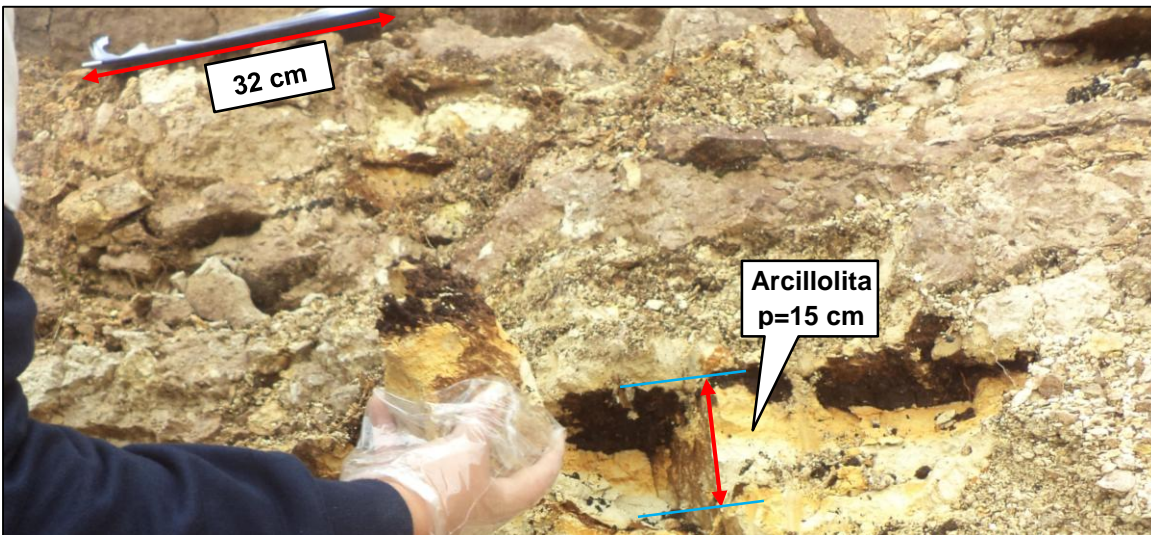
En el afloramiento 3 se visualiza un estrato (0,1 m) de roca masiva, terrosa, bien compactada como lo es la lutita de tonalidad gris - verdoso que buza  $26^\circ$  al NE y tiene un rumbo  $N85^\circ W$  que corta la continuidad del caolín (naranja) y que se muestra mayormente plástico y de aspecto grasoso. Las partículas de las lutitas son tan pequeñas que no pueden identificarse con facilidad sin grandes aumentos y, por esta razón, resulta más difícil estudiar y analizar las lutitas que la mayoría de las otras rocas sedimentarias.



**Fotografía 11.** Afloramiento 3. Rx. Sedimentarias – Lutita gris – verdosa (p = 10 cm) hallada en el área de estudio. **Fuente:** Autora, 2019.

### Arcillolita Calcárea

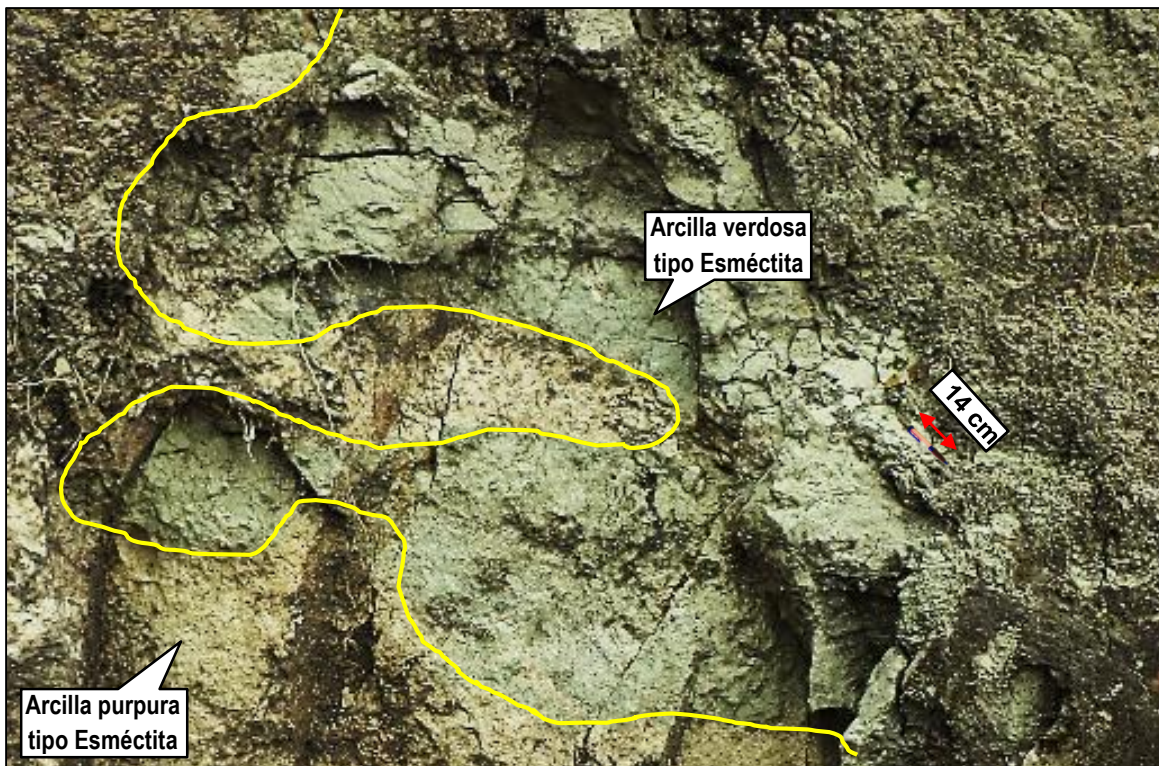
Esta roca exhibe un bajo grado de consolidación, se ubica en la parte central del afloramiento 2, en conjunto se alcanzó a visualizar la arcillolita dentro de una secuencia de estratos turba (p=1cm) - arcillolita (gris – amarillenta, p=15cm) con buzamiento  $14^\circ$  al SO y de rumbo  $N43^\circ O$ . La roca sedimentaria enseñaba una disolución química, meteorización biológica y un diaclasamiento perpendicular al plano de estratificación.



**Fotografía 12.** Afloramiento 2. Rx. Sedimentarias – Arcillolita poco compactada (p = 15cm) intercalada con tuba (p = 1cm), encontradas en el área de estudio. **Fuente:** Autora, 2019.

### Arcilla Esméctita (Montmorillonita)

Ubicado cerca del contacto de la Formación Salapa y la nueva Unidad Cera, se aprecia arcillas de coloración verdosa y purpuras con diaclasamiento no - sistemático, tienen un comportamiento especial que se puede definir como altamente plástico, hinchables, mayor capacidad de retención de agua y cabe indicar que al momento del muestreo fue un tanto difícil ya que el material aprisionaba (succionaba) las herramientas de recolección de las muestras.



**Fotografía 13.** Afloramiento 4. Material presente en el contacto deducido entre la F. Salapa y la U. Cera, Esméctitas verdosas y purpuras de aspecto graso. **Fuente:** Autora, 2019.

### Carbón (Lignito)

Roca sedimentaria ligera de estructura fibrosa y textura terrosa, material que se manifiesta desmenuzable en la que aún se pueden reconocer algunas estructuras vegetales, de color negro o pardo y frecuentemente presenta una textura similar a la de la madera de la que procede. Trazas de este tipo de carbón se descubrieron en el primer estrato de las dos



calicatas, también en la parte media del segundo afloramiento, además en el lignito se aprecian concavidades o nichos realizados por microorganismos, por disolución química y meteorización biológica.



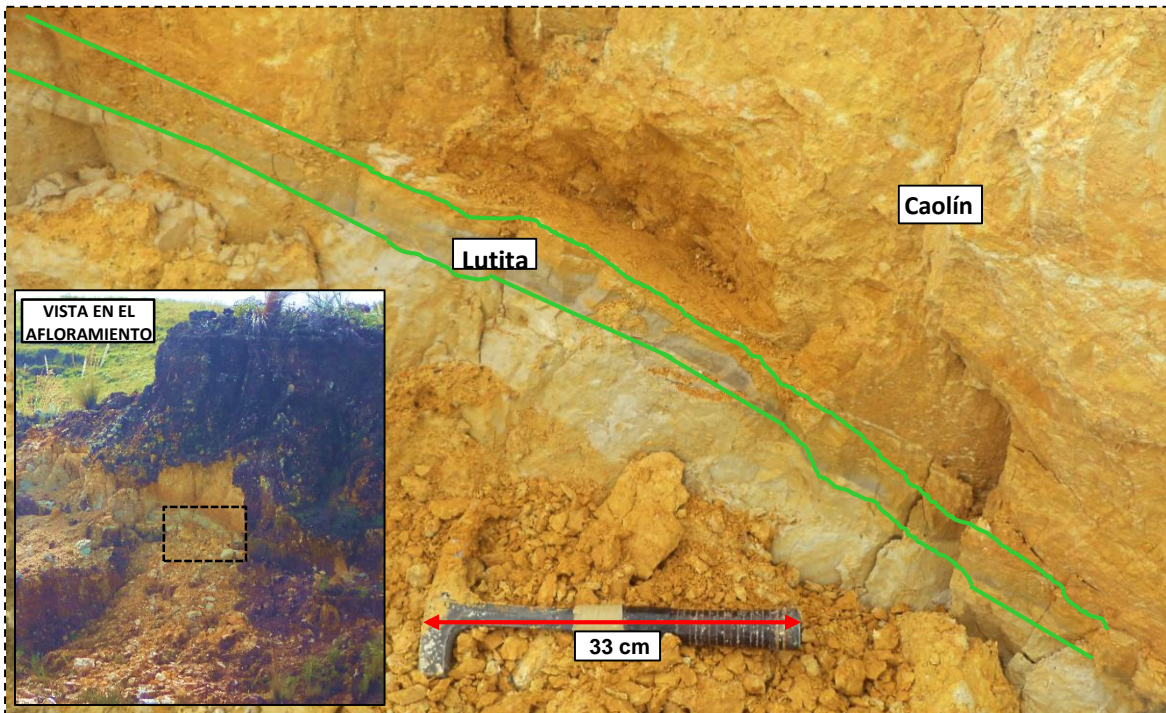
**Fotografía 14.** Afloramiento 2. Carbón Lignito encontrado en el área de estudio.  
**Fuente:** Autora, 2019.

### **6.5.3. Estructuras**

Interiormente en el sitio estudiado se consiguió evidenciar varias estructuras como: estratificación intercalada, discordancia estratigráfica, diaclasas, grietas de desecación y precipitación química. Las rocas volcánicas y sedimentarias del sector están siendo afectadas directamente por estas estructuras.

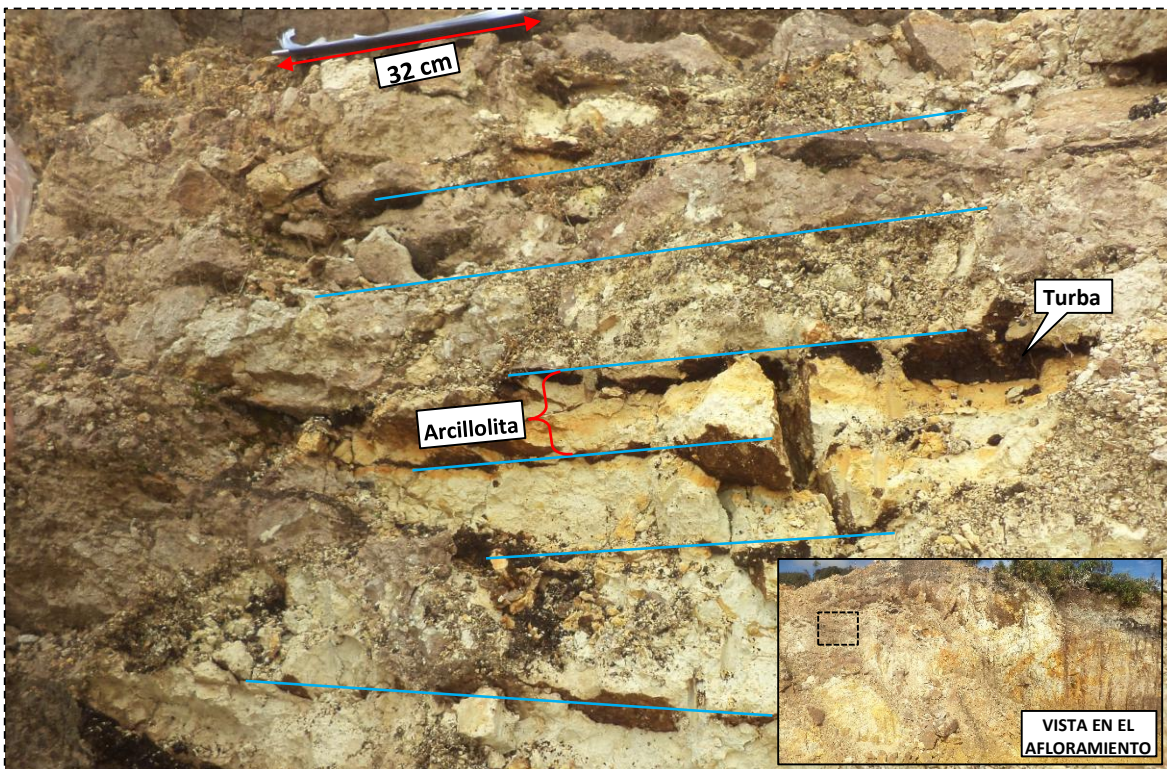
#### **Estratificación Intercalada**

Secuencia de estratos de diferente composición, textura y color, con alternancia de potencias finas y gruesas. Estrato de gran dureza y compactación (potencia = 0,1 m) de Lutita (tono gris) con un rumbo de N 85° W que se encuentra buzando 26° NE, mientras que el material de color naranja Caolín se encuentra suelto y presenta una potencia.



**Fotografía 15.** Estratificación intercalada entre lutita gris – verdosa y caolín naranja. **Fuente:** Autora, 2019.

### Discordancia estratigráfica y geométrica

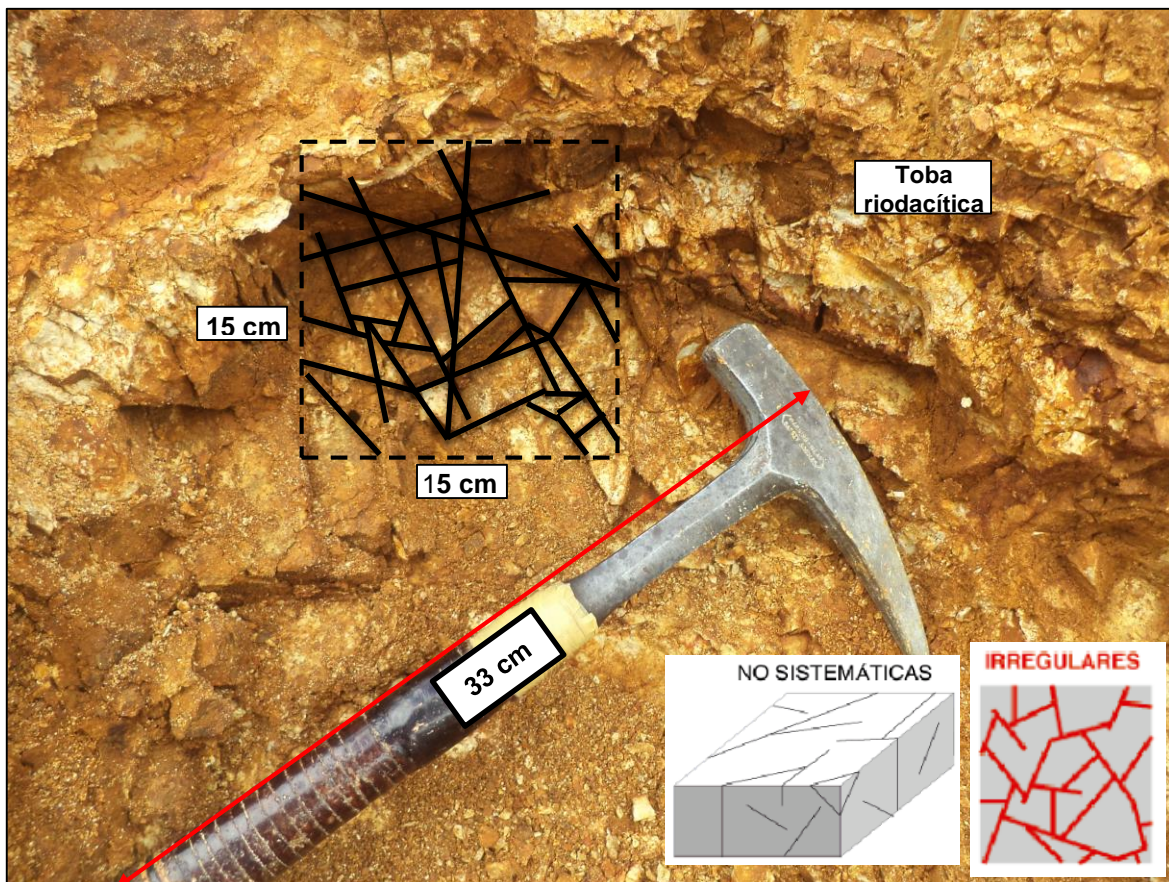


**Fotografía 16.** Discordancia estratigráfica y geométrica en el afloramiento 2. **Fuente:** Autora, 2019.

Esta serie de estratos puede considerarse como una interrupción sedimentaria y solo se pudo observar en un punto específico de uno de los afloramientos, estructuras frontalmente observadas que se hallaban inmersas dentro de una capa de caolín y rompen con la armonía de ésta en cuanto a geometría, litología y textura. Los estratos se ubican en un orden de turba (potencia 0,1 m) y material limo - arcilloso gris - amarillento posiblemente arcillolita (potencia 0,15 m), con rumbo N 43° O y 14° buzando hacia en SO.

### Diaclasas

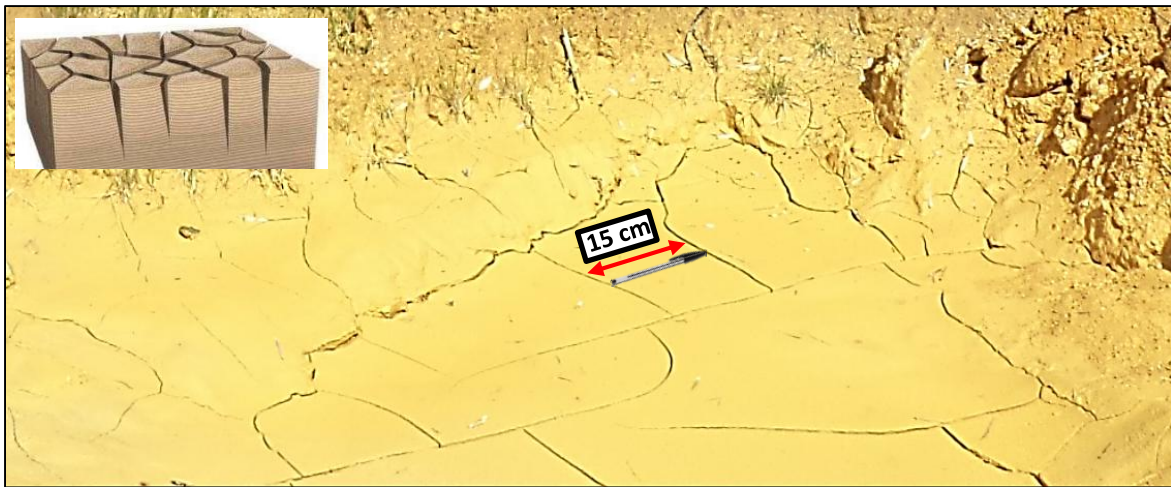
Estas discontinuidades estructurales, se observaron e identificaron en rocas volcánicas como fracturas en la cuales no existe desplazamiento de los bloques, pero con la presencia de una cierta separación originada por tracción, compresión o disolución. En los afloramientos se diferenciaron diaclasas de tipo no sistemáticas irregulares. El sistema predominante de diaclasas es el plano de estratificación de azimuth 165° y con buzamiento de 15° al SO.



**Fotografía 17.** Diaclasamiento de la zona de estudio. **Fuente:** Autora, 2019.

## Grietas de desecación

Se han originado en la superficie del terreno fangoso - arcilloso del área, se asocian a ambientes como lagos someros o acumulación de agua superficial, formadas por sedimentos cohesivos saturados en agua, que al perderla por evaporación producen este sistema de grietas que conforman una red y dividen la zona en áreas poligonales, los polígonos se encuentran separados en láminas que se denominan barquillos, los cuales se curvan debido a su escaso espesor y pueden yacer cóncavos o convexos hacia arriba.



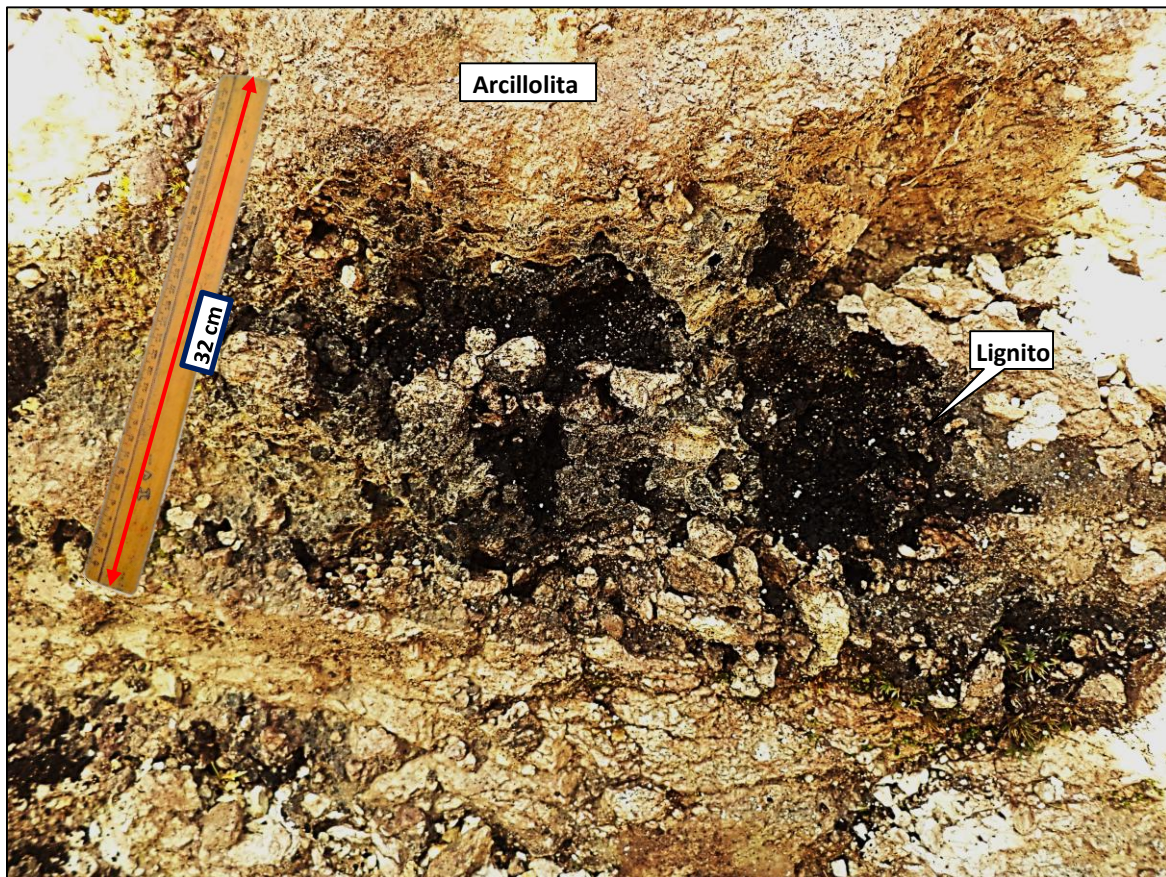
**Fotografía 18.** Grietas convexas de desecación al pie del afloramiento 2.  
**Fuente:** Autora, 2019.



**Fotografía 19.** Grietas de desecación lenticulares en base del tercer afloramiento.  
**Fuente:** Autora, 2019.

## Disolución química

Estos materiales se disgregan con gran facilidad gracias a la meteorización química ya que los granos de minerales pierden adherencia especialmente tras la disolución, mediante este sistema se disuelve se la rocas sedimentaria por sales que quedaron al evaporarse el agua que las contenía en solución. Además, se logra observar que los minerales del material están siendo descompuestos por acción de sustancias liberadas por organismos vivos, que potencian la acción erosiva del agua. También puede ser expansión de la roca, que pudo ser consecuencia de los cambios de temperatura como principal impulsador.



**Fotografía 20.** Afectación por disolución química y biológica de Arcillolita y el Lignito.

**Fuente:** Autora, 2019.

## 6.6. Determinación físico – química

Para la caracterización físico - química del Caolín se estableció la toma de diez muestras situadas dentro de los cinco afloramientos y dos calicatas planteadas interiormente en la zona de estudio. Este análisis se lo efectuó en los Laboratorios de Química - Geoquímica y de Mecánica de Rocas de la Universidad Nacional de Loja y a continuación se muestran los resultados obtenidos. A continuación en la Tabla 19 se muestra la ubicación de los afloramientos y calicatas, las muestras a ensayar y los puntos están tomados en coordenadas UTM Datum PSad 56.

**Tabla 19.- Puntos de ubicación de afloramientos y muestras.**

Afloramiento	X	Y	Z	Muestras			
				Número de Muestra	X	Y	Z
1	693819	9569254	2570	1	693819	9569254	2570
2	693799	9569222	2572	2	693805	9569234	2577
				3	693806	9569240	2577
3	693821	9569184	2575	4	693827	9569215	2576
				5	693827	9569203	2578
				6	693823	9569179	2578
4	693850	9569129	2577	7	693850	9569129	2577
5	693980	9569200	2562	8	693980	9569200	2562
<b>Calicata</b>							
1	693797	9569111	2578	9	693797	9569111	2578
2	693717	9569140	2583	10	693717	9569140	2583

**Fuente:** Autora, 2019.



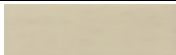


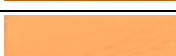

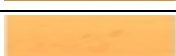


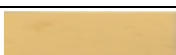
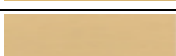
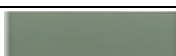
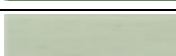

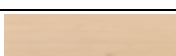



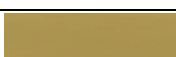
### 6.6.1. Caracterización física

#### 6.6.1.1. Color natural

Los materiales estudiados presentan diversas coloraciones según los minerales que contiene y que pueden en algunos casos considerarse como impurezas en los productos terminados en la manufactura, estos van desde el anaranjado hasta el blanco, este parámetro se lo determinó

por medio de las Tablas del Sistema de Notación Munsell de esta manera especificando el color en estado húmedo – seco.

**Tabla 20.- Clasificación de las muestras de acuerdo al color según Munsell.**

<b>Muestras</b>	<b>Atributos</b>	<b>Clasificación de Munsell</b>	<b>Color</b>
1	Húmedo	<b>7.5YR 5/8</b> Marrón brillante	
	Seco	<b>7.5YR 6/6</b> Naranja	
2	Húmedo	<b>7.5Y 8/1</b> Gris claro	
	Seco	<b>N 8/0</b> Blanco grisáceo	
3	Húmedo	<b>7.5 YR 6/8</b> Anaranjado	
	Seco	<b>7.5 YR 8/6</b> Amarillo anaranjado claro	
4	Húmedo	<b>10YR 7/8</b> Amarillo naranja	
	Seco	<b>10YR 8/6</b> Amarillo naranja	
5	Húmedo	<b>7.5Y 8/3</b> Amarillo pálido	
	Seco	<b>7.5Y 8/2</b> Gris claro	
6	Húmedo	<b>2.5YR 8/6</b> Amarillo	
	Seco	<b>2.5YR 8/4</b> Amarillo pálido	
7	Húmedo	<b>10G 6/1</b> Gris verdoso	
	Seco	<b>10GY 8/1</b> Gris verdoso	
8	Húmedo	<b>10YR 8/3</b> Amarillo anaranjado claro	
	Seco	<b>10YR 8/2</b> Gris claro	
9	Húmedo	<b>2.5YR 6/3</b> Amarillo opaco	
	Seco	<b>2.5YR 7/3</b> Amarillo claro	
10	Húmedo	<b>5Y 5/4</b> Aceituna	
	Seco	<b>5Y 7/4</b> Amarillo claro	

**Elaboración:** Autora, 2019.

Como se puede observar en la Tabla 20 como resultado de la comparación de muestras tanto húmedas (natural) como secas (3 días a 105° C) con las hojas de Munsell, existe un mediano a ligero cambio de coloración.

### 6.6.1.2. Humedad inicial

El cálculo de la humedad se lo obtuvo por la diferencia de peso húmedo de muestra traída directamente de campo y peso seco luego de haber pasado tres días en la estufa sometida a temperatura constante de 105 ° C.

$$W = \left( \frac{M - M1}{M1} \right) \times 100$$

Dónde: *f.1.*

*W* = Porcentaje de humedad.

*M* = Masa muestra húmeda, inicial (gr).

*M<sub>1</sub>* = Masa muestra seca, final (gr).

**Tabla 21.- Valores obtenidos de Contenido de Humedad.**

Muestra	Peso Húmedo Wh (gr)	Peso Seco Ws (gr)	Humedad %
1	171.10	138.40	23.63
2	176.18	122.14	44.24
3	164.10	120.44	36.25
4	198.91	141.60	40.47
5	178.29	120.62	47.81
6	176.61	125.85	40.33
7	212.29	147.55	43.88
8	184.89	140.88	31.24
9	122.66	81.11	51.23
10	137.36	88.92	54.48

**Fuente:** Autora, 2019.

La humedad del mineral indica el contenido de agua de esta, la misma que debido a sus condiciones topográficas y climáticas con temperaturas bajas la mayoría del tiempo y con aguaceros constantes; y, a los aspectos geológicos conformándose por arcillas con una capacidad de retención de agua muy alta.



### 6.6.1.3. Peso específico y Densidad real

Los valores para este parámetro se los obtuvieron aplicando el método del picnómetro y se utilizó cuatro variables (f.2.):

$$P_e = \frac{M - P}{M + W - P - S}$$

Dónde: f.2.

$P_e$  = Peso específico (s/u).

$M$  = Peso de ¼ de caolín en el picnómetro (gr).

$P$  = Peso del picnómetro vacío, seco y limpio (gr).

$S$  = Peso del picnómetro con el ¼ de la sustancia y lleno de agua destilada (gr).

$W$  = Peso del picnómetro lleno de agua destilada (gr).

Se determinó valores de peso específico ( $P_e$ ) que van desde 2.46 a 2.69, mientras que para la densidad ( $\delta$ ) tenemos datos aproximados al  $P_e$ , ya que esta se la obtuvo multiplicando el  $P_e$  por densidad ( $\delta$ ) agua a la temperatura ambiente 0.99798<sup>1</sup> gr/cm<sup>3</sup> (18 – 24 °C) (f.3.), resultados que permitirán compararlos y correlacionarlos con valores datos por autores en un análisis posterior.

$$P_e = \frac{\delta_{\text{mineral}}}{\delta_{H_2O}} \quad \Rightarrow \quad \delta_{\text{mineral}} = P_e \cdot \delta_{H_2O}$$

Dónde: f.3.

$P_e$  = Peso específico.

$\delta_{\text{mineral}}$  = Densidad real del caolín (gr/cm<sup>3</sup>).

$\delta_{H_2O}$  = Densidad del agua a temperatura ambiente (gr/cm<sup>3</sup>).

**Tabla 22. Datos de densidades determinadas en laboratorio.**

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Peso específico</b>	2,591	2,537	2,692	2,599	2,586	2,465	2,597	2,588	2,592	2,582
<b>Densidad gr/cm<sup>3</sup></b>	2,586	2,532	2,686	2,594	2,581	2,460	2,592	2,583	2,587	2,577

**Fuente:** Autora, 2019.

<sup>1</sup> 0,99798 gr/cm<sup>3</sup> valor promedio de la densidad del agua desde 18 a 24 °C, tomado de Tabla de Densidad del agua de la Norma ASTM D 854 – 02.

El parámetro de la densidad real obtenida luego de realizado el ensayo indica que las muestras están entre  $2,68 \text{ gr/cm}^3$  (máximo) y  $2,46 \text{ gr/cm}^3$  (mínimo), datos que se encuentran en el rango de las arcillas.

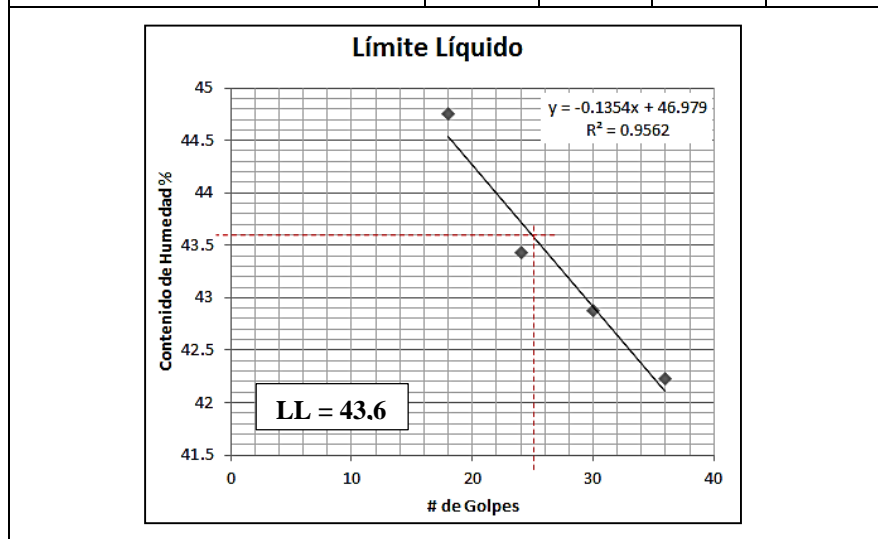
#### 6.6.1.4. Límite líquido y plástico

##### Límite Líquido

Se ejecutaron 8 ensayos con el método tradicional de Casagrande siguiendo los lineamientos estipulados en la Norma ASTM\_D 423-66, y se procedió a determinar el contenido de humedad (f.1.), se registró el número de golpes y además se realizó la respectiva lectura logarítmica de cada uno de los ensayos. Para darle mayor claridad a los datos obtenidos, a continuación como ejemplo se muestra la Tabla 23.

**Tabla 23. Resultado del Límite Líquido, ejemplo muestra dos.**

Lata	1	2	3	M3
Peso de suelo húmedo + lata	65.74	58.16	49.77	85.93
Peso de suelo seco + lata	55.59	50.13	44.92	82.10
Peso de lata	32.91	31.64	33.61	73.03
Peso de suelo seco	22.68	18.49	11.31	9.07
Peso de agua	10.15	8.03	4.85	3.83
Contenido de humedad %	44.75	43.43	42.88	42.23
Numero de golpes, N	18	24	30	36



Fuente: Autora, 2019.

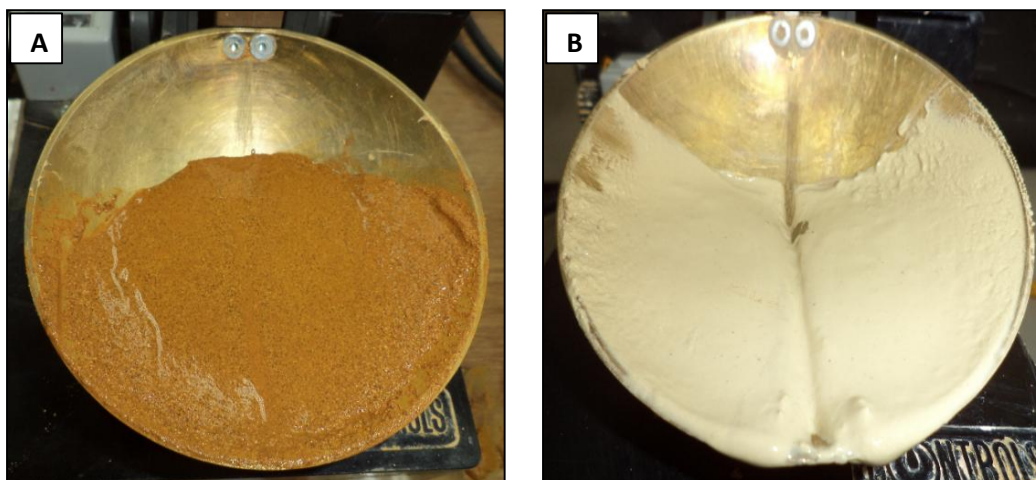
Este método de cálculo usado permitió deducir los valores en los ocho ensayos los cuales se registran a continuación en la Tabla 24.

**Tabla 24. Valores resultantes del Límite Líquido de las ocho muestras.**

Muestras	2	3	4	5	6	7	9	10
LL (%)	43,6	47,5	44,3	45,4	47,4	59,4	64,7	64

**Fuente:** Autora, 2019.

Hay que indicar que no se pudo ensayar el Límite Líquido de las muestras 1 y 8 debido a que en el momento de empezar el ensayo con 2 que 3 golpes el material presento un comportamiento peculiar; es decir, un tanto granulado con hinchamiento (apariencia de café granulado húmedo) representando un aspecto de micro licuefacción en la Cuchara de Casagrande.



**Fotografía 21.** Experimentación fallida. **A.** Límite Líquido de la muestra uno. **B.** Límite Líquido de la muestra ocho. **Fuente:** Autora, 2019.

### Límite Plástico

El límite plástico es la humedad correspondiente en la cual un suelo se cuartea y quiebra al formar pequeños rollitos ó cilindros, se determinó mediante la Norma ASTM \_ D 424 - 59, al mismo tiempo se efectuó el calculó la desviación estándar de tipo muestral (*f.4.*), valores

que deben estar por debajo del índice de precisión  $\sigma \leq 0,9^2$  y así convalidar los datos obtenidos para este indicador.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{n-1}^n (x_i - \hat{x})^2}$$

Dónde:

f.4.<sup>3</sup>

$\sigma$  = desviación estándar.

$n$  = número de casos.

$x_i$  = humedad

$\hat{x}$  = promedio de humedad

A continuación en la Tabla 25 se muestran los resultados de límite plásticos de la muestra 2 del caolín. Al tener los valores de humedad del ensayo, se realizó el promedio de los mismos, para de esta forma tener el valor del Límite Plástico en unidades de porcentaje. Para dar un dato más ilustrativo en la misma tabla se grafican los datos registrados por ensayo.

**Tabla 25. Resultados del Límite Plástico, ejemplo muestras dos.**

Lata	M4	D1332	M7	Desviación Estándar				
Peso suelo húmedo + lata	73.78	36.12	74.97	<b>n</b>	<b>xi</b>	<b>x</b>	<b>xi-x</b>	<b>(xi-x)<sup>2</sup></b>
Peso suelo seco + lata	73.49	35.94	74.8	1	33.33	33.16	0.173	0.03
Peso de lata	72.62	35.39	74.28	2	33.46		0.295	0.087
Peso de suelo seco	0.87	0.547	0.52	3	32.69		-0.468	0.219
Peso de agua	0.29	0.183	0.17	<b><math>\sigma = 0.41</math></b>				
Contenido de humedad %	33.33	33.46	32.69	<b>LP = 33.16</b>				

Fuente: La autora, 2019.

Este método de cálculo usado permitió establecer los valores en los 8 especímenes los cuales están registrados en la Tabla 26 que se describen de la siguiente manera:

<sup>2</sup> El índice de precisión de la desviación estándar aceptable es de **0.9** para un solo operador, es decir, a cada una de las muestras se ejecuta un ensayo simple (ASTM Reference Soils and testing program).

<sup>3</sup> Formula de Desviación estándar muestral, utilizada de acuerdo a los grados de libertad N menor a 10 (Loga, Murray. 2010).

**Tabla 26. Valores resultantes del Límite Plástico de las ocho muestras.**

Muestra	Líquido Plástico	Clasificación del suelo AASHTO	Clasificación del suelo SUCS	
2	33,16	Grupo A – 7	ML OL	
3	31,37			
4	29,70			
5	34,88		Subgrupo A – 7 – 5	MH
6	35,67			OH
7	33,46			CH
9	30,86	MH		
10	34,51		OH	

**Fuente:** Autora, 2019.

### Índice de plasticidad

Este valor se determinó con la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, dato principal para la clasificación del suelo.

**Tabla 27. Índice de Plasticidad calculado de las ocho muestras.**

Muestra	IP	Tipo de suelo Sanz, 1975.	Plasticidad Holtz & Kovacs, 1981.
2	10,44	Arcilloso	Baja
3	16,13		Media
4	14,60		Baja
5	10,52		
6	11,53		
7	25,94		Muy arcilloso
9	33,84	Muy arcilloso	Alta
10	30,49		

**Fuente:** Autora, 2019.

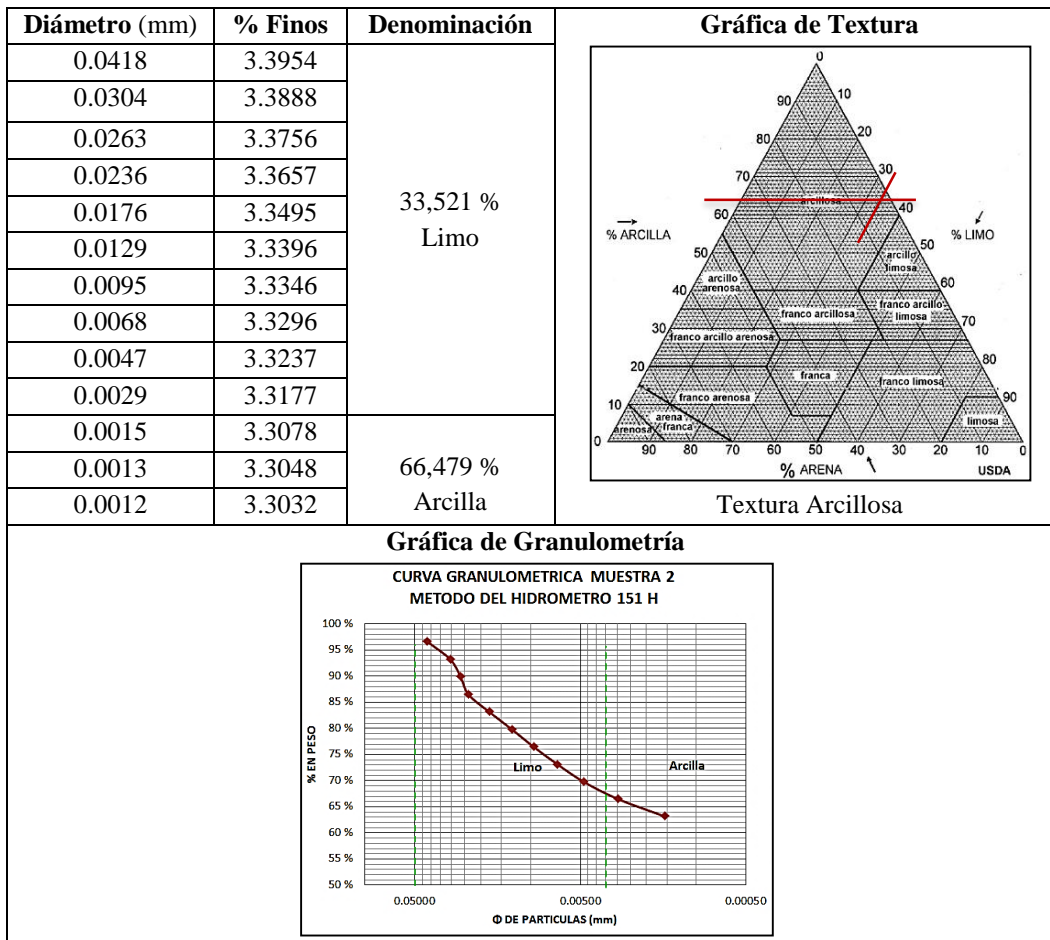
Este parámetro se determina para suelos, pero en esta investigación se calculó esta propiedad con el fin de establecer que tan plástico es el mineral y en base a estos índices clasificar este tipo de caolín dentro del grupo conformado por las arcillas.

### 6.6.1.5. Textura y Granulometría (Sedimentometría)

El análisis textural va de la mano con el granulométrico, y se aplica un conjunto de operaciones útiles para determinar las proporciones cuantitativas de cada fracción granulométrica que presenta un suelo. Existen diversas técnicas como para este caso el Diagrama Textural de la USDA para determinación de texturas y el método del hidrómetro (H151) y la Norma INV E 124-07, siendo el mayormente utilizado para suelos que tienen tamaños de partículas muy pequeñas; es decir, suelos finos que pasan el tamiz N° 200 y es el ideal para nuestro estudio de caolines.

Seguidamente se expone como ejemplo en la Tabla 28. Deducción de textura y sedimentometría de la muestra 2 con sus respectivos cálculos y gráficas.

**Tabla 28. Datos obtenidos de Textura y Sedimentometría, ejemplo muestra dos.**



Fuente: Autor, 2019.

Todos los valores de los componentes de la textura y granulometría del suelo, determinadas en laboratorio de las muestras recolectadas en campo, que en la Tabla 29 se describen detalladamente.

**Tabla 29. Resultados de Textura y Sedimentometría obtenidos de las ocho muestras.**

Muestra	Granulometría		Muestra	Granulometría		Textura
	$\phi$ partícula (mm)	% Finos		$\phi$ partícula (mm)	% Finos	
2	< 0,0418	33,521 Limo	6	< 0,04376	37,501 Limo	Arcillosa
		66,479 Arcilla			62,499 Arcilla	
3	< 0,042	32,362 Limo	7	< 0,04095	36,516 Limo	
		67,638 Arcilla			63,484 Arcilla	
4	< 0,04167	36,337 Limo	9	< 0,04019	36,659 Limo	
		63,663 Arcilla			63,341 Arcilla	
5	< 0,04098	36,348 Limo	10	< 0,04019	36,728 Limo	
		63,652 Arcilla			63,272 Arcilla	

Fuente: Autora, 2019.

## 6.6.2. Caracterización química

### 6.6.2.1. Materia orgánica

La materia orgánica se encuentra asociada al caolín y su determinación se realizó por el Método de Pérdida de Peso por Calcinación e Ignición (LOI), y su contenido se lo calculó mediante la siguiente expresión:

$$\%MO = \left( \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \right) \cdot 100$$

Dónde:

f.5.

**MO** = materia orgánica (%).

**m1** = peso crisol + muestra a 105° C (gr).

**m2** = peso crisol + muestra a 440° C (gr).

**m0** = peso crisol (gr).

**Tabla 30. Datos resultantes de contenido de Materia Orgánica.**

Muestra	2 – 5 – 6 – 8	4 – 7 – 9 – 10	1 – 3
Materia Orgánica (%)	Bajo 0,4 – 0,8	Medio 1,2 – 1,8	Alto 3,2 – 3,6

Fuente: La autora, 2019.

Se muestran en la tabla 30 los valores obtenidos de MO, porcentajes respectivamente bajos pero no insignificantes ya que tiene como consecuencia cambiar la tonalidad del mineral pero beneficia a su plasticidad.

### 6.6.2.2. Sulfatos solubles

Los suelos con sulfatos son muy abundantes en la corteza terrestre, cuya propiedad química es perjudicial en cuanto a la construcción ya que los convierten en materiales inadecuados para la ejecución de multitud de obras. El contenido de sulfatos solubles en el material se lo determinado mediante la norma NLT-10/72, aplicando la fórmula que se muestra a continuación:

$$\%SO_4 = \frac{(P_p \times 0,41153^4)}{P_m} \cdot 100$$

Dónde: f.6.

$P_p$  = peso del precipitado (gr).

$P_m$  = peso de la muestra analizada (gr).

**Tabla 31. Valores resultado de Sulfatos solubles contenidos las muestras.**

Muestra	1 – 3 – 4 – 8	2 – 5 – 6	7 – 9 – 10
Sulfatos solubles (%)	Bajo 0,13 – 0,15	Medio 0,19 – 0,21	Alto 0,23 – 0,25

Fuente: La autora, 2019.

En el ensayo para este parámetro prácticamente se obligó a la muestra a precipitar los sulfatos BaSO<sub>4</sub> (sulfato de bario), valores que van hasta el 0,25 % que son relativamente bajos y se agruparon en tres clases por el contenido como se observa en la tabla 31.

<sup>4</sup> En la determinación de sulfatos, por precipitación se consigue sulfato BaSO<sub>4</sub>. El factor gravimétrico **0.41153**, resulta de dividir la masa molecular del sulfato (SO<sub>4</sub> = 96,06 gr/mol) para la masa molecular del BaSO<sub>4</sub> = 233,38 gr/mol.



### 6.6.2.3. Potencial de Hidrógeno/ Conductividad

El pH considerado como una de las principales variables en los suelos, parámetro que permite conocer que tan ácida (por debajo de 7) o alcalina (por encima de 7) es la solución del suelo, la escala de medición del pH está entre los valores de 0,0 a 14,0., valor obtenido por medio del pH-metro. Mientras que los valores de CE se determinó con el conductímetro y esta dependerá de: contenido de humedad, contenido de sales disueltas y textura del suelo.

**Tabla 32. Resultados del cálculo de pH y conductividad de las muestras.**

Muestra	pH	Conductividad ( $\mu\text{s}$ )
1	5,65	21,9
2	5,80	9,0
3	5,63	12,0
4	5,37	9,1
5	5,13	16,4
6	5,24	15,0
7	5,31	12,3
8	5,27	9,1
9	4,74	54,1
10	5,02	51,6

**Fuente:** Autora, 2019.

De ácido a muy ácido fue el resultado según el rango de valores del pH presentadas en la tabla 34, datos de 5,02 – 5,8. La conductividad eléctrica de las muestras llega hasta 54,1  $\mu\text{s}$  y la salinidad es nula en todas las muestras.

### 6.6.3. Evaluación mineralógica

#### 6.6.3.1. Fluorescencia de rayos x

La composición química porcentual de los elementos que se encuentran en el caolín se determinó empleando el método de medición Mining Linght Elements para FRX:

**Tabla 33. Datos resultantes de Fluorescencia de Rayos X de las muestras.**

<b>Muestra</b>	<b>M10 Norte</b>	<b>M7 Sur</b>	<b>C2 Oeste</b>
% SiO <sub>2</sub>	57,00	51,70	66,30
% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24,50	20,90	24,80
% CaO	ND	0,04	0,01
% MgO	ND	2,05	0,84
% K <sub>2</sub> O	2,61	2,92	1,02
% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ND	ND	ND
% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,57	5,94	1,31
% MnO	0,04	0,07	0,04
% TiO <sub>2</sub>	0,84	0,86	0,14
% S	ND	ND	ND
ND = No detectado			

**Fuente:** Autora, 2019.

#### 6.6.3.2. Difracción de rayos x

A continuación se detallan los resultados obtenidos de DRX mediante el Difractómetro D8 ADVANCE, y el programa para la determinación cualitativa EVA y cuantitativa TOPAS:

**Tabla 34. Valores obtenidos de Difracción de Rayos X de las muestras.**

<b>Mineral identificado</b>	<b>Porcentaje %</b>		
	<b>Norte</b>	<b>Sur</b>	<b>Oeste</b>
Cuarzo	51,57	46,46	23,08
Albita	0,26	0,98	---
Ortoclasa	---	1,22	0,42
Mormorillonita	---	---	8,84
Illita	10,33	6,63	---
Caolinita	31,52	16,67 (2M)	6,25
Biotita	6,33	15,96	0,59
Aerinita	---	---	21,20
Zeolita -L	---	---	23,42
Heulandita	---	---	13,54
Clorita	---	12,08	2,66

**Fuente:** Autora, 2019.

## **6.7. Calidad y Usos**

### **6.7.1. Definición de la calidad del Caolín de la Formación Salapa**

La calidad de los caolines, excepto por algunos estudios analíticos, no está determinada. No existen normas ni patrones en el país a las cuales deban regirse las industrias. La calidad de los caolines dependerá única y exclusivamente de su uso. Como en nuestro país se emplea principalmente de forma importante en la fabricación de la cerámica, plásticos, pinturas y en la producción de papel. Esta diversificación del mineral, hace que potencialmente sea más atractiva su comercialización, aunque hay que tener en cuenta las restricciones físicas y químicas de los caolines, así como las restricciones técnicas de cada uno de los productos a comercializar.

Se considera a un caolín de mejor calidad si la relación del tenor de sílice expresado como  $\text{SiO}_2$  y alúmina como  $\text{Al}_2\text{O}_3$  más se acerque a la de la caolinita. Desde este punto de vista se notan diferencias en los caolines extraídos del Noreste, Sureste y Suroeste del área de estudio. A pesar de la variabilidad de las tres muestras, en este sentido, se destaca que la zona NE y SO, proporcionan la mayor parte de los caolines de calidad superior.

En cuanto al tenor en hierro los materiales a utilizarse deben contener porcentaje menores al 1,5 determinado como óxido férrico indicado como  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , para ser considerados de primera calidad. Es así que este óxido se presenta en cantidades diferenciales en las tres muestras estudiadas de la F. Salapa, dos de ellas la Sureste y Noreste presentan contenidos en óxido de hierro superiores al 1,5 %. Esto indica que la mayoría del material es homogéneamente considerado de segunda calidad. Mientras que el mineral extraído del Suroeste tiene un valor situado por debajo del 1,5 % de óxido, área de la cual provienen los materiales de primera calidad.

Las reservas existentes del yacimiento de caolín en su totalidad en el Sector Salapa son del orden de 500 mil toneladas, las cuales como ya se ha descrito anteriormente contiene propiedades adecuadas para la venta y efectivamente se encuentran actualmente siendo explotadas y comercializadas a diferentes manufacturas. Es necesario no perder el sentido de

la verdadera dimensión económica de estas áreas, que aunque en extensión puedan ser comparables, el rendimiento y el valor económico en cuanto a la producción, como su calidad nunca pueden ser comparables. Por lo tanto, el interés económico de estas áreas es pequeño pero no insignificante frente a yacimientos de mayor magnitud.

### **6.7.2. Usos del Caolín de la Formación Salapa**

Los usos del caolín son múltiples y variados hasta el punto que el empleo de este llega a cubrir más de un centenar de aplicaciones en productos industriales muy diferentes entre sí. Esto unido a su abundancia y amplia distribución global, hacen de este mineral una de las materias primas no metálicas, de mayor consumo e importancia mundial. Las causas que determinan esta amplitud y diversidad de usos son consecuencias de una serie de propiedades esenciales a su naturaleza, entre las que cabe destacar fundamentalmente su blancura y brillo, el fino tamaño de sus partículas, reología y plasticidad.

Las arcillas como el caolín son materiales de utilización directa en la industria, el principal uso que se le puede dar al mineral caolín del lugar de estudio luego de un tratamiento básico (triturado, lavado y secado) y también de acuerdo con sus características físico - químicas y composición química – mineralógica es en la industria cerámica tosca de manera especial en la fabricación de ladrillos y tejas.

Es así que para la inclusión de este tipo de caolín en la fabricación de otros productos, debe someterse a procesos previos de blanqueamiento o eliminación del  $Fe_2O_3$ ; de esta forma se incrementarían las propiedades deseadas aumentando su blancura, pureza u otras características comerciales importantes que permitirían su uso en porcelana de mesa, sanitarios y de relleno en el papel de impresión.

**Tabla 35. Resumen de Resultados de las Propiedades Físico – Químicas, Composición Química y Mineralógica.**

ZONA	Muestra	Color Natural	Humedad (%)		Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )		Límite Líquido		Límite Plástico		Índice de Plasticidad		Textura/ Granulometría		Materia Orgánica (%)	Sulfatos Solubles (%)	PH
Noreste	1	Naranja	23,63	Área parcialmente saturada	2,586	Caolinita	-	-	-	-	-	-	-	-	Alto 3,2 - 3,6	Bajo 0,13 – 0,15	5,65
	8	Gris claro	31,24		2,583	Halloysita	-		-	-	-	-	-	-	Bajo < 0,8		5,27
Sureste	7	Gris verdoso	43,88	Área saturada	2,592	Caolinita	59,4	Nontronita, Caolinita y Halloysita hidratada.	33,46	Caolinita	25,94	Media plasticidad	Arcillosa	Valor promedio 65 % arcilla 35 % limo	Medio 1,2 – 1,8	Alto 0,23 – 0,25	5,31
	9	Amarillo claro	51,23		2,587	Caolinita	64,7	Nontronita, Caolinita, Illita y Halloysita hidratada.	30,86	Caolinita y Halloysita deshidratada	33,84	Alta plasticidad					4,74
Suroeste	2	Blanco grisáceo	44,24	Área parcialmente saturada	2,532	Halloysita	43,6	Nontronita, Caolinita, Halloysita deshidratada y Clorita.	33,16	Caolinita	10,44	Baja plasticidad	Arcillosa	Valor promedio 65 % arcilla 35 % limo	Bajo < 0,8	Medio 0,19 – 0,21	5,80
	3	Amarillo anaranjado claro	36,25		2,686	Mormorillonita	47,5		31,37		16,13	Media plasticidad			5,63		
	4	Amarillo naranja	40,47	2,594	Caolinita	44,3	29,70		14,60	Baja plasticidad	5,37						
	5	Gris claro	47,81	Área saturada	2,581	45,4	34,88		10,52		5,13						
	6	Amarillo pálido	40,33	Área parcialmente saturada	2,460	Halloysita	47,4		35,67	Illita y Caolinita	11,53	Bajo < 0,8			Medio 0,19 – 0,21	5,24	
	10	Amarillo claro	54,48	Área saturada	2,577	Caolinita	64		Nontronita, Caolinita, Illita y Halloysita hidratada.	34,51	Caolinita y Halloysita deshidratada	30,49			Alta plasticidad	Medio 1,2 – 1,8	Bajo 0,13 – 0,15

Elaboración propia, 2019.

ZONA	Conductividad μS/m	Composición Química FRX (%)										Evaluación Mineralógica DRX (%)										Calidad		Usos
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	TiO <sub>2</sub>	S	CUARZO	ALBITA	ORTOCLASA	MORMORILLONITA	ILLITA	CAOLINITA	BIOTITA	AERINITA	ZEOLITA -L	HEULANDITA	CLORITA	% SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
Noreste	21,9	57,0	24,5	ND	ND	2,61	ND	2,57	0,04	0,84	ND	51,57	0,26	-	-	10,33	31,52	6,33	-	-	-	-	Primera	Elaboración de <b>ladrillos y tejas</b> en estado natural.  Fabricación de <b>porcelana de mesa y sanitarios y de relleno en el papel de impresión</b> luego de un tratamiento blanqueo o eliminación de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .
	9,1																							
Sureste	12,3	51,7	20,9	0,04	2,05	2,92	ND	5,94	0,07	0,86	ND	46,46	0,98	1,22	-	6,63	16,67 (2M)	15,96	-	-	-	12,08	Segunda	
	54,1																						Segunda	
Suroeste	9,0	66,3	24,8	0,01	0,84	1,02	ND	1,31	0,04	0,14	ND	23,08	-	0,42	8,84	-	6,25	0,59	21,2	23,42	13,54	2,66	Primera	
	12,0																							
	9,1																							
	16,4																							
	15,0																							
51,6																								

Elaboración propia, 2019.

## 7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Loja actualización 2014 – 2022, menciona que la topografía de Loja es bastante montañosa con altitudes de 1300 m s.n.m. a 3800 m s.n.m. y le atribuye al área de estudio una altura de 2500 m n.s.m. a 3000 m s.n.m., además se tomó como referencia las cartas topográficas de Loja y Catamayo a escala 1:50 000, también describe la geología de manera general como la presencia de materiales volcánicos (cuerpos graníticos), metamórficos (Unidad Chiguinda) y sedimentarios (cuenca de Loja, Malacatos y Vilcabamba).

Mientras que para Cuenca M. (2008) en su Estudio Geológico Estructural e Inventario de Deslizamientos del Área cinco (Barrio Salapa alto y bajo) de la Cuenca de Loja manifiesta que topográficamente el sector forma diversas ramificaciones montañosas, que oscilan entre los 2000 m s.n.m, en la quebrada de Cumbe hasta los 2650 m s.n.m., hacia el norte de la zona en la vía a Cuenca que forman las crestas de las montañas con un relieve muy accidentado y geológicamente presentan una variedad de rocas que corresponden a las diferentes formaciones geológicas existentes en la cuenca sedimentaria: Formación Salapa, Quillollaco, San Cayetano, Trigal; cuyo basamento son las rocas metamórficas de la unidad Chiguinda.

En el presente trabajo se realizó un levantamiento a detalle de la topografía de las 10 hectáreas de estudio, en ellas se logró evidenciar una variación de alturas que fluctúan entre 2536 m s.n.m. (cota más baja) y 2590 m s.n.m. (cota más alta) lo cual indica una superficie bastante irregular como colinas medianas y superficies escarpadas con pendientes de fuerte (5 – 15°) a muy inclinadas (15 – 35°), con formas del terreno naturales e intervenidas por las labores de arranque del material.

El área de estudio se ubica en un depósito de tipo residual formado en la corteza de meteorización de las rocas metamórficas que conforman la Formación Salapa y a su vez, por ser un territorio muy húmedo no simplemente por el poder de retención de agua de los materiales, sino que también se asocia a frecuentes heladas, constantes y abundantes lluvias torrenciales con temperaturas bajas de 10 a 15° C la mayoría del año.

Acorde a la geología establecida por el Instituto Geográfico Militar del Ecuador y editada por INIGEMM 2017 en la carta geológica de Loja a escala 1:100000, muestra al graficar sobre el mapa, el polígono de estudio que regionalmente el territorio se encuentra inmerso en rocas de origen volcánico de la Formación Salapa, Unidad Cera correspondiente a una capa de material resultante de la meteorización de base de la cuenca y basamento formado por rocas metamórficas de la Unidad Chiguinda.

Con la información levantada en campo mediante la descripción de afloramientos se verificó las características litológicas del sitio estudiado, presenta caolín de diversas coloraciones (naranja rojizo a blanco) como el material predominante dentro del área y del mismo modo rocas de origen volcánico como lo son las tobas riódacíticas ricas en materiales aluminicos y contenido de minerales ferruginosos en proceso de transformación a caolín con fuerte diaclasamiento, muy alteradas es decir meteorizadas con apariencia de actividad de bioturbación y existencia de ondulaciones llamado ripples probablemente por el movimiento del material saturado.

Simultáneamente se logró descubrir estructuras en los afloramientos dos y tres que cortaban la continuidad litológica, al inicio se visualizó una secuencia lignito – arcillolita de buzamiento 14° SO y rumbo N43°O, posteriormente un estrato de buzamiento 26° NE con un rumbo N85°O de aparentemente lutita gris verdosa muy plástica y mayormente compactada de aspecto grasoso. Importante mencionar que el material verdoso y purpura posiblemente de tipo esméctitas hallado en el afloramiento cuatro y las arcillas de color amarillento a gris- azulado y amarillento – gris verdoso de las dos calicatas muestra un comportamiento peculiar que se manifestó como altamente plástico, gran retención de agua y señales de hinchamiento.

Para la caracterización físico-química de las diez muestras de material recogido durante el muestreo, primeramente se realizó la descripción visual y seguidamente se hicieron uso varias metodologías normadas que se detallan en la página 38, Tabla 18. Ensayos para la determinación de las propiedades físico – químicas del caolín.



Las muestras recolectadas en campo se calificaron de acuerdo al color de forma natural recogida en campo (húmedo) y secado a la estufa a 105°C. El color del material pulverizado en el mortero fue contrastado con las Tablas del Sistema de Notación Munsell el cual arroja una serie de tonalidades debido a los óxidos que se encuentran adheridos o recubriendo a las muestras a ensayar. En la página 21, Tabla 11. Colorantes.- Óxidos metálicos tomados de Ballesteros Basilio en el Taller Cerámico.- Pastas de Arcillas – Pastas Cerámicas, se muestra a los óxidos contenidos en los ejemplares recolectados y su tonalidad distintiva.

De acuerdo a su coloración anaranjada hasta rojiza las muestras 1, 3, 4 y 6 contienen óxidos de hierro (hematita), hidróxidos de hierro (goethita-lepidocrocita), óxidos hidratados de hierro férrico; mientras que los especímenes 7, 9 y 10 presentan una tonalidad verde (cromita, eskolaita, polvo de corindón), azul (malaquita, azurita) y además las muestras 2, 5 y 8 tienen un color gris a blanco (brookita, anatasa y rutilo).

Bartolomé J. en el Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio en 1997, indica que el color original de la arcilla no es tan estricto, sino el color del producto tostado. La mayoría de arcillas, después de quemarlas a 1050° C son de color rosado claro, rosado, canela o rojo ladrillo, mientras que sólo unas cuantas son de color blanco grisáceo claro a blanco rosado claro. Algunas muestras al quemarlas a 1250° C cambiaron su color a blanco más claro, con un matiz grisáceo o rosado.

Las muestras de las dos calicatas y la muestra siete se manifiestan como materiales altamente plásticos y con tonos oscuros causados por la presencia de materia orgánica y hierro coloidal, pero que según la teoría cuecen de tonalidades blancas. En si todas las muestras demuestran un gran cambio de húmedo a seco (105°C) y por ende si se quemará de 1050 a 1250° C el material reducirá la escala de color.

Normalmente los caolines en mina tienen una humedad de 30 a 40 % y en este caso el terreno en estudio consta de zonas parcialmente saturadas (30 – 40) %, saturadas (40 – 80) %, las muestras recolectadas para este estudio contenían del 23,63 al 54,48 % de agua. El secado de las muestras para este parámetro se lo realizó en la estufa a 105° C con mediciones repetitivas

durante unas 72 horas. Además, la mayor pérdida de agua la presentaron la muestra cinco y las muestras de las dos calicatas debido a su alta humedad natural.

Como resultado del contenido de humedad de los ejemplares ensayados se tiene valores de 23.63 a 54.48 %; lo cual indica que este material retiene gran cantidad de agua, esto puede deberse a que la zona de estudio se ubica a 2578 m s.n.m. perteneciente a un páramo, con temperaturas desde 8 a 15°C y por presentar fuertes lluvias constantemente, un cierto grado de humedad es sustentable a ser modelada que con porcentajes de agua adquieren plasticidad y moldeabilidad; cabe recalcar que su consistencia depende de la humedad.

La densidad teórica indicada por Rex W. Grimshaw en su estudio.- La química y física de las arcillas y Worrall W. en su publicación.- Materia prima de cerámica muestran un valor de entre el 2,6 a 2,8 g/cm<sup>3</sup>, mientras en el libro Fundamentos de Ingeniería Geotécnica de Braja M. Das concede un valor a la densidad relativa del caolín de 2,60.

**Tabla 36. Análisis y comparación de valores de densidades con diferentes autores.**

Muestra	Densidad gr/cm <sup>3</sup>	Minerales importantes Braja, M. Das, 2001.	Bartolomé, 1997; De Pablo, 1964; Prasad y Murray, 1990; Murray, 2007.
1	2,59	Caolinita	Caolín
2	2,53	Halloysita	
3	2,69	Montmorillonita	---
4	2,59	Caolinita	Caolín
5	2,58		
6	2,46	Halloysita	
7	2,59	Caolinita	
8	2,53	Halloysita	
9	2,59	Caolinita	
10	2,58		

Elaboración propia, 2019.

Conforme a los resultados de densidad obtenidos de 2,46 a 2,69 g/cm<sup>3</sup> de este parámetro, se puede señalar que estos valores se encuentran aproximadamente en el rango de referencia para la Caolinita señalado por algunos autores en sus diferentes publicaciones.

La plasticidad de un suelo depende únicamente de sus elementos finos, es la propiedad que representa los suelos de poder deformarse hasta un cierto límite, sin romperse y se determinó con el instrumento Cuchara Casa Grande por medio del cual se consiguió los valores de LL y LP de las ocho muestras recogidas en campo. Los límites de Atterberg dan como resultado la plasticidad de los suelos, propiedad índice, es decir, los límites del rango de humedad dentro del cual el suelo se mantiene en estado plástico, permitiendo así clasificar un suelo y este método consiste en definir los límites correspondientes a los tres estados en los cuales puede presentarse un suelo: líquido, plástico o sólido.

Cabe mencionar que tres de las muestras tuvieron un comportamiento especial y según los resultados se ubican dentro de media a alta plasticidad, se obtuvo valores de LL entre 43,60 a 65,00; LP de 29,70 a 35,67 y con IP que va de 10,44 a 33,84.

**Tabla 37. Análisis y comparación de datos de Limite Líquido y Límite Plástico con diferentes autores.**

Muestra	LL	LP	IP	Tipo de arcilla Mitchell, 1976.		Holtz & Kovacs, 1981.
				LL	LP	Plasticidad
2	43,60	33,16	10,44	Nontronita, Caolinita, Hallosyta deshidratada, Clorita	Caolinita	Baja
3	47,50	31,37	16,13			Media
4	44,30	29,70	14,60			Baja
5	45,40	34,88	10,52		Illita, Caolinita	Media
6	47,40	35,67	11,53			
7	59,40	33,46	25,94		Nontronita, Caolinita, Hallosyta hidrata	Caolinita
9	64,70	30,86	33,84	Nontronita, Caolinita Illita, Hallosyta hidrata	Caolinita, Hallosyta deshidratada	Alta
10	65,00	34,51	30,49			

Elaboración propia, 2019.

El análisis granulométrico por Método del Hidrómetro Norma I.N.V. E-124-07 tiene el objetivo de instituir la textura, es una característica más estable, que permite inferir en sus propiedades y particularmente esta directamente relacionadas con el uso y comportamiento del suelo. Mientras que la textura es un elemento esencial que establece y define propiedades permanentes en el largo plazo dado que especifica la proporción relativa de las distintas

partículas minerales inferiores a 2 mm, que se obtienen tras la destrucción de los agregados, por clases de tamaños en fracciones granulométricas, mediante porcentajes de arcilla, limo y arena con el denominado Triángulo Textural de la USDA.

En relación con la granulometría, se manipuló una muestra de 50 gr (100%) de suelo por cada espécimen y los datos arrojados de todas las muestras dieron como resultado limo con un diámetro  $\phi \leq 0,0413$  a 0,002 mm y de arcilla de  $< 0,002$  mm; y, los resultados de este ensayo se representan en la grafica "log-normal" que en la horizontal una escala logarítmica ubica el  $\phi$  de partículas (mm), y en la vertical una escala natural coloca el porcentaje en peso.

Todos los valores de los porcentajes de limo en promedio son de  $(35,689 \pm 2,56)$  %, los cuales se trazan en una paralela al lado de la derecha de la figura de textura y de la misma forma se situa en el lado izquierdo del diagrama la arcilla con un numero de  $(64,25 \pm 2,57)$  % en el triángulo textural y al intersecarse estos datos dentro de la gráfica determinando así el grupo textural al cual pertenecen y este es Textura Arcillosa.

Autores como J. González, E. Perino y M. Ruiz (2003), en su investigación Blanqueado de Arcillas Mediante la Eliminación de Hierro en la Etapa de Quemado menciona que las arcillas blancas caolin poseen materia orgánica, generalmente lignito, y otros minerales coloidales que mejoran sus propiedades plásticas, pero que otorgan coloración. También la Sociedad Cooperativa General Agropecuaria enmarca a los suelos arcillosos de 0 – 2% muy bajo, 2 – 3% bajo y 3 – 4% normal contenido de MO, mientras que para A. de Pretis, D. Minichelli, 1987; H. A. Osman, S. H Ehmke, 1970 y R Sladek, 1986 coinciden en afirmar que no es conveniente superar una proporción de materia orgánica del 0,3% en pastas empleadas en la obtención de baldosas de pavimento y revestimiento cerámico (monococción rápida).

Claramente se consiguió apreciar por el olor característico y tono la existencia de MO en algunos de los materiales recolectados, en el cálculo de la materia orgánica se obtuvieron valores que oscilan entre 0,4 a 3,6 %, de tal manera que la muestra uno y tres tienen un valor normal de 3,2 a 3,6 % MO y el resto de muestras presentan de 0,4 a 1,8 lo que significa según el porcentaje son de muy bajo a bajo contenido de MO. El caolín para determinar esta propiedad se calcino a 440 °C por un periodo de 15 min que arrojaron valores que no son

insignificantes y que la monococción rápida se la realiza a mayor temperatura de la cual se ha calculado la propiedad, lo que da a entender que las muestras ensayadas para este parámetro pueden incorporar al valor establecido de 0,3% por los autores mencionados en el parrafo anterior.

En el estudio de nombre Ataque de Sulfatos en Obras de Albañilería realizada por Consejo Superior de Investigación Científica 1959, recomienda que el contenido en sulfatos es inferior al 1% en condiciones medias, e inferior al 0,5 en condiciones de humedad elevada en arcillas para ladrillos y que los sulfatos son minerales relativamente comunes, su presencia en el suelo no es muy frecuente por su facilidad de lavado, puesto que son compuestos de solubilidad relativamente alta.

La solubilidad de los sulfatos se ve afectada fuertemente por el clima de la zona, las temperaturas bajas y constantes lluvias que lavan estos materiales arcillosos, los cuales ensayandolos en laboratorio contenian un porcentaje de entre 0,13 a 0,25 que son valores practicamente bajos que no afecta a sus demas propiedades.

El pH es un parámetro que permite conocer que tan ácida o alcalina es la solución del suelo, así que de acuerdo a MEYM en 2003 asigna un pH ligeramente ácido de 5 a 6 para los caolines y la mayor parte de arcillas, mientras que para el Servicio Geológico Minero Argentino en 1985 le atribuye al caolin un pH de 6,5 en su utilización para cobertura de papel y asimismo la Sociedad Cooperativa General Agropecuaria establece un pH en solución muy ácido con un valor  $\leq 5,5$  y ácido con un rango de 5,6 a 6,5.

De acuerdo con los valores de pH del caolin obtenidos de las muestra ensayadas, se apreció que en promedio el pH en el área de estudio es de 5,32 y los resultados de nueve de las muestras coinciden de manera exacta (5,02 – 5,8) y una de 4,74 que demuestran que son arcillas y especialmente caolín con un pH de ácido a muy ácido.

En el caso de la Conductividad Eléctrica se determino de la solución del suelo es uno de los índices más difundidos para evaluar la concentración salina del suelo a nivel de laboratorio. Los suelos de textura fina al tener mayor capacidad de almacenamiento de agua y mayor capacidad de intercambio catiónico, las arcillas poseen mayores valores de conductividad.

La CE en suelos arcillosos va desde 10 a 100  $\mu\text{S}$  definido por G. Rodríguez, Moreno, & Vera, 2008; Useche Julio, Peña Rodríguez, & Dulcé Moreno, 2010, y Peña Rodríguez, Peña Quintero, & Gómez Tovar, 2014 y además ACOR señala que los suelos no salinos tienen un  $\text{CE} < 2\text{mmhos/cm}$ .

Ya que la conductividad eléctrica es directamente proporcional a la salinidad los suelos, es decir, que a mayor CE mayor es la concentración de sales, conjuntamente al analizar esta propiedad también se determinó la salinidad. La medición de la CE dio valores de 9,0 a 54,1  $\mu\text{S}$  que entran en el rango de las arcillas que algunos autores indican e igualmente los datos sobre salinidad de todas las muestras fueron de 0, lo que significa que el área en estudio corresponde a un suelo no salino.

La composición química según Muñoz en 2010 (ver Tabla 1, pág. 12) detalla los elementos y la forma en la que estos se presenta en el caolín, de los cuales en su gran mayoría se encontró al analizar las muestras de la zona de estudio. Así que aplicando FRX se obtuvo valores de Sílice –  $\text{SiO}_2$  (66,30 - 51,70) %, de Alúmina –  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (24,80 - 20,90) %, con Óxido de hierro –  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (5,94 - 1,31) %, de Óxido de potasio –  $\text{K}_2\text{O}$  (2,92 - 1,02) %, con Magnesita –  $\text{MgO}$  (2,05 - 0,84) %, de Dióxido de titanio –  $\text{TiO}_2$  (0,86 - 0,14) %, con Óxido de manganeso –  $\text{MnO}$  (0,07 - 0,04) % y de Cal –  $\text{CaO}$  (0,04 - 0,01) %.

La identificación cuantitativa y cualitativa de minerales existentes en las muestras (Composición Mineralógica) se lo llevo a cabo por DRX que arrojó como valores: cuarzo (51,57 – 23,08) %, caolinita (31,52 – 6,25) %, zeolita 23,42 %, aerinita 21,20 %, biotita (15,96 – 0,59) %, heulandita 13,54 %, clorita (12,08 – 2,66) %, Illita (10,33 – 6,63) %, mormorillonita 8,84 %, ortoclasa (1,22 – 0,42) % y albita (0,98 – 0,26) %.

## 8. CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos planteados y a partir de los resultados obtenidos luego de culminar con el trabajo de campo, laboratorio y de gabinete se presenta a continuación las respectivas conclusiones a las que se llegó al terminar el presente proyecto investigativo.

- El sitio de estudio se encuentra ubicado en las parroquias de Carigán colindando con Taquil del cantón y provincia de Loja, enfocándose en la caracterización geológica y descripción de las propiedades físico-químicas del depósito de caolín situado en el Barrio Salapa Alto.
- Topográficamente el área de estudio comprende 10 Ha que muestra variaciones de alturas de entre los 2536 m s.n.m cota más baja y 2590 m s.n.m cota más alta, la zona posee el 50,90 % de pendientes fuertes (5 - 15°) con un área 7,1 Ha; mientras que el 0,57 % ocupado por pendientes verticales > 55°; es decir, la zona se halla intervenida por las labores de extracción del material que en parte han devastado el terreno y ha transformado considerablemente la topografía y por ende el paisaje.
- El área de estudio de clima húmedo a muy húmedo con temperaturas de 10 a 15 °C con fuertes lluvias hasta heladas, Holdridge clasifican el terreno como bosque húmedo montano bajo, lugar que originalmente contaba con vegetación de tipo arbórea y matorral la cual ha sido sustituida por pastizales y cultivos con limitaciones.
- Un depósito residual es donde se localiza el caolín formado por una capa de meteorización de rocas metamórficas de la Formación Salapa, conforme a la geología local de sitio está comprendido por un 31,69% por la Unidad Cera, mientras que el 68,41% lo constituye la Formación Salapa que litológicamente consta de caolín y tobas riódacíticas en proceso de caolinización.
- En cuanto a la clasificación de suelos se tiene que en área de estudio prevalecen con un 62,5% a ML – OL según la SUCS pertenece a suelos de grano fino con bajo porcentaje de limos; con respecto a la AASHTO corresponde al grupo A-7 específicamente al A-7-5 suelos finos cohesivos indicando la presencia de arcillas y

limos; estableciendo así que en el sitio existen suelos de grano fino o llamados materiales limo – arcillosos.

- Las propiedades físico – químicas del caolín se obtuvieron a partir de una serie de ensayos, teniendo así un Color natural más intenso posiblemente impuro 7,5YR 5/8 marrón brillante (húmedo) - 7,5YR 6/6 naranja (seco) y 7,5YR 8/1 gris claro (húmedo) – N 8/0 blanco grisáceo (seco) tono con mayor pureza, el contenido de Humedad que va de 23,63 a 54,48 %, un promedio de 2,583 de Peso específico, una Densidad real promedio de 2,578 gr/cm<sup>3</sup>, de Límite líquido (43,60 - 64,70), el Límite plástico (29,70 - 35,67), de Textura arcillosa (35,689 ± 2,56) % limo y (64,25 ± 2,57) % arcillas, con un Tamaño de grano  $\phi \leq 0,0413$  a 0,002 mm limos y  $\leq 0,002$  arcillas, de 0,4 a 3,6% de Materia orgánica, con un porcentaje de 0,13 a 0,25 de Sulfatos solubles, el pH de 4,74 a 5,80 y una Conductividad de 9,0 a 54,1  $\mu$ S.
- De acuerdo con la composición química - mineralógica del material obtenida por fluorescencia y difracción de rayos x se muestra un alto contenido de Sílice > 50 %, alúmina entre 20 al 25 %; así mismo, se desea para la utilización en cualquier industria un < 1% de impurezas principalmente el Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y el mineral en estudio no cumple con este requerimiento, ya que presenta un valor < 5 % de óxido de hierro.
- Definitivamente la calidad del mineral se distingue por zonas en base al porcentaje de SiO<sub>2</sub> resaltando la zona Noreste y Suroeste poseen calidad superior a la Sureste; mientras que la zona Suroeste presenta mayor calidad a las Noreste y Sureste con respecto al tenor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
- En último lugar, los usos que se le puede dar al caolín del sector Salapa de acuerdo a sus propiedades físico – químicas y a la composición química - mineralógica conforme a los porcentajes de minerales encontrados dentro de la industria cerámica tosca (ladrillos y tejas) y post tratamiento en la fabricación de porcelana de mesa, sanitarios y en la industria del papel para recubrimiento de papel de impresión.



## 9. RECOMENDACIONES

- Para futuros trabajos en el lugar de estudio se recomienda el uso de la topografía detallada plasmada en esta investigación o en tal caso hacer una actualización constante, una exploración avanzada (calicatas, zanjas y perforaciones) de la superficie del terreno.
- Efectuar un método de tratamiento de blanqueo, purificación o eliminación del óxido de hierro como puede ser la lixiviación en pilas con ácido oxálico, lixiviación acida inversa o por técnicas electroquímicas del caolín para poder incluir a esta clase de mineral dentro de otras industrias.
- Establecer y realizar más ensayos del caolín, con el propósito de obtener nueva y mayor información y así darle mayores usos al mineral.
- Realizar una exploración geológica enfocada a determinar el volumen (cubicación) del mineral existente en el sitio de estudio.
- Optimizar o llevar una explotación de manera ordenada del mineral, sin causar afectaciones considerando un adecuado manejo y recuperación de zonas ya intervenidas que forman parte del área de estudio.
- Finalmente, también se recomienda realizar un estudio más profundo del mercado formal del caolín a nivel regional y/o nacional, dado el potencial volumen inferido que presenta el área de estudio y por ende la ejecución de más ensayos físicos de otra índole, para verificar la idoneidad del caolín en otras muchas industrias

## 10. BIBLIOGRAFÍA

ARANHA F. (1979). "Topografía y astronomía posición a Ingenieros y Arquitectos". Editorial McGraw - Hill. Sao Paulo.

APARICIO P, GALÁN E. y FERREL E. (2006). A new kaolinite order index based on XRD profile fitting. Clay Minerals, 41: 811-817.

BARBA A, NEGRE F, ORTS M y ESCARDINO A. (1992). "Oxidation of Black Core During the Firing of Ceramic Ware - 3. Influence of the Thickness of the Piece and the Composition of the Black Core". Br. Ceram. Trans. J. 91, 36-40.

BELOUSOV V. (1974). "Geología Estructural", Editorial MIR, Moscú.

BURROUGH P. (1986). "Principles of Geographic Information Systems for Land Resource Assessment". Monographs on Soil and Resources Survey No. 12, Oxford Science Publications, New York.

DGDMM (2014). Perfil de mercado Del caolín. Coordinación general de minería. México.

DIEZ O. (2005). Geología Aplicada a la Ingeniería Civil.

DOMÍNGUEZ J y SCHIFTER Isaac. (1992). Las arcillas el barro noble. México: Fondo de Cultura Económica. 80 p.

DUQUE G. (2003). "Manual De Geología Para Ingenieros." Universidad Nacional De Colombia.

ESCOBAR A, OSORIO A, PALMA J, PALMA A y PÉREZ M. (2012). Caracterización del Caolín para la Formulación De Cuatro Productos Cosméticos. Guatemala. Universidad de Guatemala.

GARCÍA A. y ROSIQUE M. (1994) "Topografía básica para ingenieros". Universidad de Murcia. España.

GIL J. (2011). "Recursos Hidrogeológicos". Venezuela. 29 págs

GRIM R. (1968). "Clay Mineralogy", pp 7-8, Mc Graw-Hill, Second Edition, NY (EE. UU).

GUTIÉRREZ M. (2008). "Geomorfología". Pearson Educación. España.

GYSAU. (2000). Anti-corrosion properties of paint extender minerals. En: Industrial Minerals. London.

HEINRICH E. (1965). Identificación microscópica de los minerales. Traducido al Español por MARTINEZ, ENRIQUE. URMO, S.A. de Ediciones Bilbao 1970, BilbaoEspaña.

HERNÁNDEZ Y. (2017). Caracterización mineralógica y geoquímica de caolines del área de Huayacocotla, Veracruz, para uso industrial. México. UNAM.

HOLTZ R. and KOVACS W. (1981). An Introduction to Geotechnical Engineering. Prentice-Hall, Englewood Cliffs. NJ.

JIMENEZ J. y DE JUSTO J. (1975). "Geotecnia y Cimientos". Vol. I. "Propiedades de los Suelos y de las Rocas", 2 Edición. Editorial Rueda, 466 pp.

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. 2003. Oportunidades de Inversión en minerales no metálicos y Rocas Industriales "Caolín". Fascículo Informativo No.4. Guatemala.

MITCHELL J. y SOGA K. (2005). Fundamentals of Soil Behavior, John Wiley & Sons, N. York.

MUÑOZ A. (2010). Blanqueo de caolines de la Unión Antioquia usando métodos hidro-electrometalúrgicos. Colombia.

NORMA I.N.V. E – 124 – 07. (2007). Análisis granulométrico por medio del hidrómetro.

NORTON F. (1983). Cerámica Fina. Edited by Omega. Barcelona.

OSMAN H, y EHMKE S. (1970). "Core Burnout in Brick Making". Am. Ceram. Soc. Bull., 49,193-200.

PEÑA G, PEÑA J, & GÓMEZ M. (2014). Determinación Experimental de la Conductividad Térmica Efectiva en Bloques Extinguidos de Arcilla Roja. Revista Ciencia En Desarrollo, 5(1), 15–20.

PRETIS A y MINICHELLI D. (1987). "Characterization scheme for clays minerals used in the ceramic tile industry", pp 385-390. The Clay Mineral Society, Indiana (EE. UU).

PRUETT R. y PICKERING S. (2006). Kaolin. En: Industrial Minerals & Rocks by Jessica Elzea Kogel "et al." 7th edition United States of America. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Pp. 383-399.

REX W. GRIMSHAW. (1998). The Chemistry and Physics of clays, Fourth Edition, Printed in Great Britain by John Wiley & Sons, Inc.

RODRÍGUEZ G, MORENO J, & VERA E. (2008). Conductividad Térmica Efectiva Promedio de Polvos de Arcillas Utilizadas en la Industria Cerámica del Área Metropolitana de San José De Cúcuta. Revista Colombiana de Física, 40(2), 278–280.

ROSKILL CONSULTING GROUP. (1996) The Economics of Kaolin. 9th ed., Roskill Information Services, London, 320 pp.

SANZ J. (1975). Índice de Plasticidad. Mecánica de suelos. Barcelona. Editores técnicos Asociados.

SASTRE J. (2007). Los minerales industriales, el recorrido de los minerales. Comunidad de Madrid. Dirección general de industrias, energía y minas.

SLADEK R. (1986). "The fast firing process in the ceramic industry". Interceram 35, (4), 26-30.

TARBUCK E. y LUTGENS F. (2005). "Ciencias de la Tierra – Una introducción a la geología física". Universidad Autónoma de Madrid. Madrid, España. 712 págs.

TARRAGÓ M. (2006). Caracterización geotécnica de los materiales. Recopilado de: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3433/55010-9.pdf>

TOBÓN I (2004). Rellenos minerales industriales. Medellín Colombia. Universidad de Colombia.

USECHE V, PEÑA G, & DULCÉ J. (2010). Efecto de la presión de compactación en las propiedades termofísicas de polvos de arcilla roja elaboradas por atomización. Respuestas, 2(2), 25–33.

VELDE B. (1992). Introduction to clay minerals. Great Britain: Chapman & Hall. 198 p.

WORRALL W. (1982). Ceramic Raw material. Second Revision Edition. Printed in Great Britain.

## **11. ANEXOS**

### **Anexo 1. Mapas**

- **Mapa 1.** Ubicación del Área de estudio.- Sector Salapa Alto.
- **Mapa 2.** Topografía del Sector Salapa Alto.
- **Mapa 3.** Geología Local.- Sector Salapa Alto.

### **Anexo 2.** Fichas de Descripción de Afloramientos y Calicatas.

### **Anexo 3.** Registro Fotográfico

### **Anexo 4.** Resultados de Propiedades Físicas

### **Anexo 5.** Resultados de Fluorescencia de Rayos X y Difracción de Rayos X.

## **Anexo 1.**

**Mapa 1.** Ubicación del Área de estudio.- Sector Salapa Alto.

**Mapa 2.** Topografía del Sector Salapa Alto.

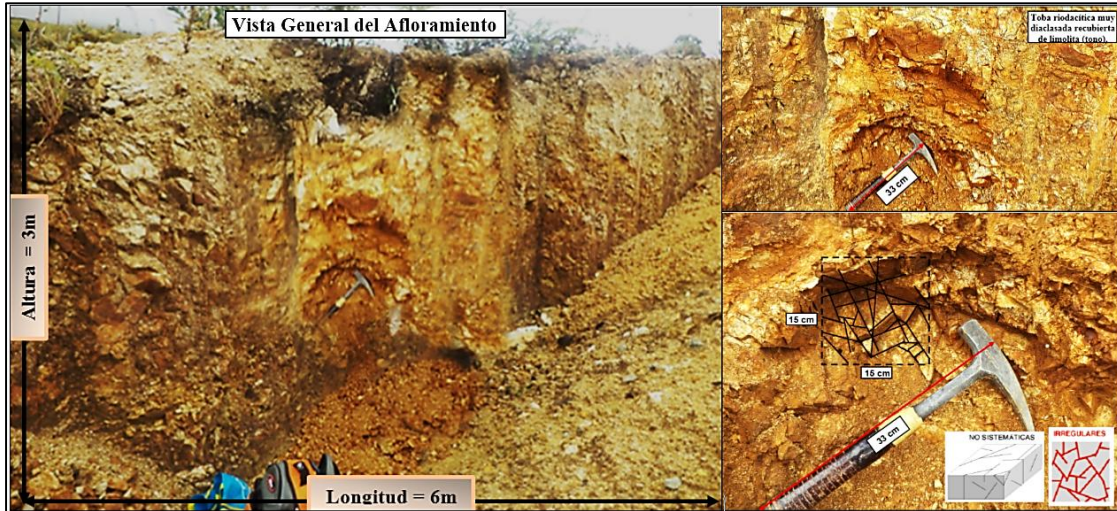
**Mapa 3. Geología Local.- Sector Salapa Alto.**



**Anexo 2.** Fichas de Afloramientos y Calicatas.

Levantamiento Geológico Sector.- Salapa Alto - Afloramiento N° 1		
Ubicación Coordenadas UTM (Psad 56)	Fecha	12/06/2017
	Tipo de afloramiento	Antrópico
X = 693819 Y = 9569254 Z = 2570	Estado de afloramiento	Altamente diaclasado y meteorizado
	Morfología	Pendiente abrupta
	Cobertura vegetal	Presencia de una capa fina de materia orgánica con raíces y en su superficie solo existe unas pequeñas hierbas.
Dimensiones Alto = 3m Largo = 6m		

### Fotografía



### Descripción geológica

Localizado en la entrada al Barrio Zalapa Alto a 300 m de la vía a Cuenca.

#### Tobas riódacíticas

Roca volcánica con limitada exposición en la zona de estudio, son tobas dacíticas a riolíticas diaclasadas, meteorizadas, es decir totalmente alteradas que presentan bioturbación y ripples; también son ricas en materiales aluminicos, que permiten la transformación de la roca a caolín, además de contener minerales ferruginos como la limonita que al disolverse en el agua da el coloración café – amarillenta. La toba riódacítica tiene una textura piro clástica, apariencia de roca sedimentaria liviana, de consistencia porosa, diámetros de rocas de 5 cm hasta 0,1 cm y tamaño de partículas semejantes a granos de arena; en su gran parte presenta un diaclasamiento no sistemático e irregular, estructuras predominantes con orientación N – W de azimut 165° y de buzamiento de 15° hacia el SO.

#### Diaclasas

Estas discontinuidades estructurales, se observaron e identificaron en rocas volcánicas como fracturas en la cuales no existe desplazamiento de los bloques, pero con la presencia de una cierta separación que pudo ser originada por tracción, compresión o disolución. En los afloramientos se diferenció diaclasas de tipo no sistemáticas irregulares. El sistema predominante de diaclasas es el plano de estratificación de azimut 165° y con buzamiento de 15°.

#### Observaciones

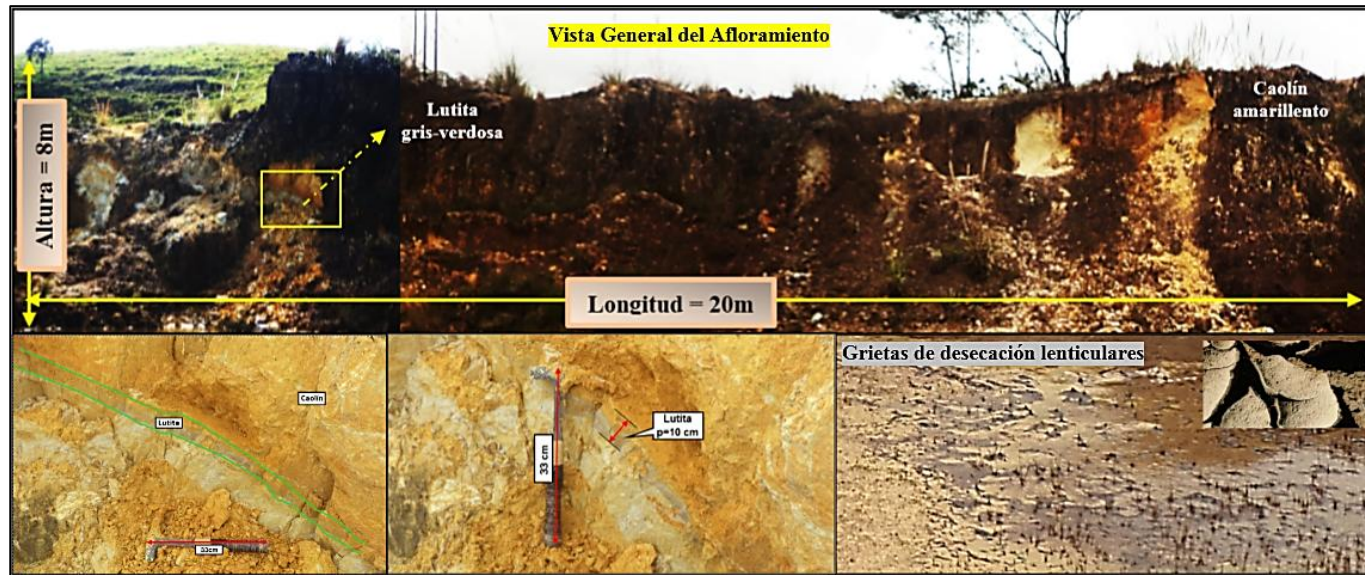
Dentro del espaciamiento de las diaclasas se encontraba relleno del mismo material de menor diámetro y también se pudo observar agua.

Levantamiento Geológico Sector.- Salapa Alto - Afloramiento N°2		
Ubicación	Coordenadas UTM (Psad 56)	Fecha
X = 693799	Y = 9569222 Z = 2575	Tipo de afloramiento
Y = 9569222		Estado de afloramiento
Z = 2575		Morfología
Dimensiones		Cobertura vegetal
Alto = 10m Largo = 15,8m		Se observa vegetación chaparra de tipo matorral, arbustos pequeños y pastos cultivados.
Fotografía		
Descripción		
<p>Consta de una litología en su totalidad sedimentaria de tipo caolín; debido a las impurezas se observa las diferentes tonalidades en este afloramiento, a la izquierda existe un material posiblemente más puro de color gris claro a blanco, mientras al otro extremo a la derecha tiene un material de tendencia más de color amarillento a naranja. Aparte se visualizan una secuencia corta de estratos.</p>		
Litología		
<p>El caolín distribuido por todo el polígono de estudio con varios matices que van de naranja - rojizo a blanco en función del contenido de las impurezas, posiblemente el caolín más puro se sitúan en el centro de área, este material blanco muestra un aspecto terroso, tacto árido y alta plasticidad. Roca arcillolita exhibe un bajo grado de consolidación, se ubica en la parte central del afloramiento 2, en conjunto se alcanzó a visualizar la arcillolita dentro de una secuencia de estratos turba (p=1cm) - arcillolita (gris – amarillenta, p=15cm) con buzamiento 14° al SO y de rumbo N43°O. La roca sedimentaria enseñaba una disolución química, meteorización biológica y un diaclasamiento perpendicular al plano de estratificación. Lignito roca sedimentaria ligera de estructura fibrosa y textura terrosa, material que se manifiesta desmenuzable en la que aún se pueden reconocer algunas estructuras vegetales, de color negro o pardo y frecuentemente presenta una textura similar a la de la madera de la que procede. Trazas de este tipo de carbón se descubrieron en el primer estrato de las dos calicatas, también en la parte media del segundo afloramiento, además en el lignito se aprecian concavidades o nichos realizados por microorganismos, por disolución química y meteorización biológica.</p>		
Estructuras		
<p>Esta serie de estratos esta en discordancia estratigráfica y geométrica, que puede considerarse como una interrupción sedimentaria y solo se pudo observar en un punto específico de uno de los afloramientos, estructuras frontalmente observadas que se hallaban inmersas dentro de una capa de caolín y rompen con la armonía de está en cuento a geometría, litología y textura. Los estratos se ubican en un orden de turba (potencia 0,1 m) y material limo - arcilloso gris - amarillento posiblemente arcillolita (potencia 0,15 m), con rumbo N 43° O y 14° buzando hacia en SO. Las grietas de desecación se han originado en la superficie del terreno del área, se asocian a ambientes como lagos someros o acumulación de agua superficial, formadas por sedimentos cohesivos saturados en agua, que al perderla por evaporación producen este sistema de grietas que conforman una red y dividen la zona en áreas poligonales, los polígonos se encuentran separados en láminas que se denominan barquillos, los cuales se curvan debido a su escaso espesor y pueden yacer cóncavos o convexos hacia arriba. Estos materiales tienen una disolución química se disgregan con gran facilidad gracias a la meteorización química ya que los granos de minerales pierden adherencia especialmente tras la disolución, mediante este sistema se disuelve se la rocas sedimentaria por sales que quedaron al evaporarse el agua que las contenía en solución. Además, se logra observar que los minerales del material están siendo descompuestos por acción de sustancias liberadas por organismos vivos, que potencian la acción erosiva del agua. También puede ser expansión de la roca, que pudo ser consecuencia de los cambios de temperatura como principal impulsador.</p>		
Observaciones		
<p>El material se encuentra suelto posiblemente por las lluvias y abundante presencia de agua.</p>		

Levantamiento Geológico Sector.- Salapa Alto Afloramiento N°3

Ubicación	Coordenadas UTM (Psad 56)	Morfología	Tipo de Afloramiento	Antrópico	Fecha
	X = 693821 Y = 9569184 Z = 2575	Pendiente Abrupta	Estado de afloramiento	Altamente meteorizado	12/06/2017
Dimensiones	Alto = 8m Largo = 20m	Cobertura vegetal	Existe la presencia de pastos y vegetación chaparra de tipo matorral.		

Fotografía



Descripción

Formado por caolín y con variadas coloraciones dentro del afloramiento debido a sus impurezas, sus dimensiones aproximadas son: 8 m de altura y 20 m de largo. Asimismo en la parte izquierda de este, se observa un estrato de lutita y se determinó por el cambio brusco de color y que se mostraba mayormente plástico, duro y grasoso (gris), el cual corta la sucesión del material de coloración naranja; en cambio en la parte media existe la presencia de un material blanco a gris claro y en el extremo derecho se visualiza material blanco – amarillento.

**Litología.-** En el afloramiento 3 se visualiza un estrato (0,1 m) de roca masiva, terrosa, bien compactada como lo es la lutita de tonalidad gris - verdoso que buza 26° al NE y tiene un rumbo N85°W que corta la continuidad del caolín (naranja) y que se muestra mayormente plástico y de aspecto grasoso. Las partículas de las lutitas son tan pequeñas que no pueden identificarse con facilidad sin grandes aumentos y, por esta razón, resulta más difícil estudiar y analizar las lutitas que la mayoría de las otras rocas sedimentarias.

Estructura

Secuencia de estratos de diferente (Estratificación Intercalada) composición, textura y color, con alternancia de potencias finas y gruesas. Estrato de gran dureza y compactación (potencia = 0,1 m) de Lutita (tono gris) con un rumbo de N 85° W que se encuentra buzando 26° NE, mientras que el material de color naranja Caolín se encuentra suelto y presenta una potencia.

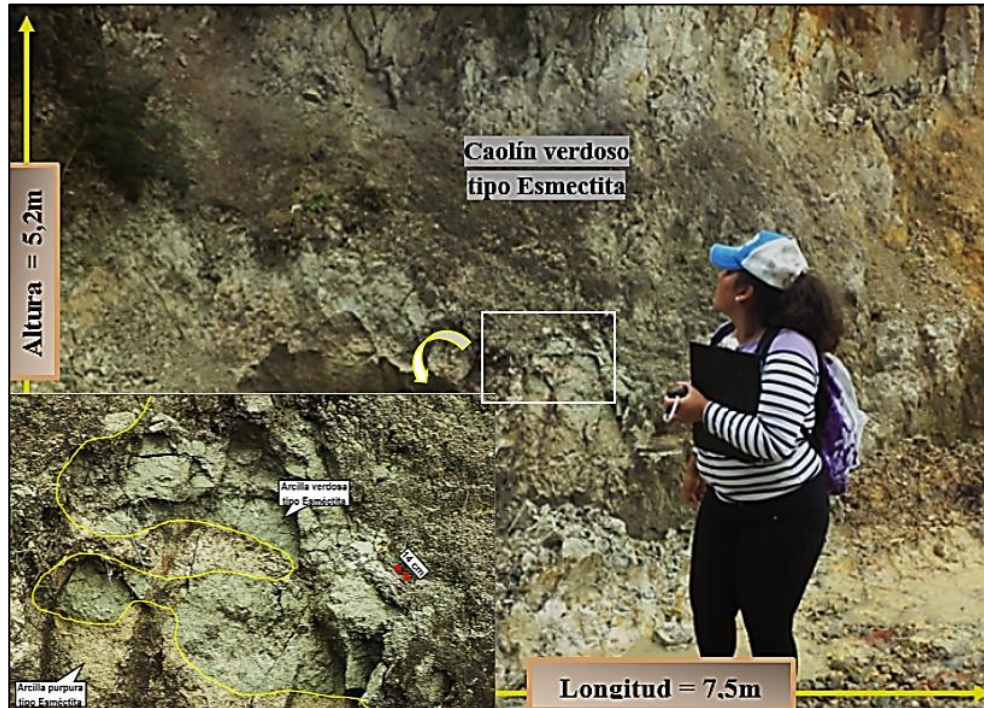
Las grietas de desecación se han originado en la superficie del terreno fangoso - arcilloso del área, se asocian a ambientes como lagos someros o acumulación de agua superficial, formadas por sedimentos cohesivos saturados en agua, que al perderla por evaporación producen este sistema de grietas que conforman una red y dividen la zona en áreas poligonales, los polígonos se encuentran separados en láminas que se denominan barquillos, los cuales se curvan debido a su escaso espesor y pueden yacer cóncavos o convexos hacia arriba.

Observaciones

En el pie de este afloramiento se ha formado una tipo laguna debido a que el material es impermeable, retiene agua y además se encuentra desprendiéndose por acción de las lluvias.

Levantamiento Geológico Sector.- Salapa Alto - Afloramiento N°4			
Dimensiones	Alto = 5,2m Largo = 7,5m	Fecha	12/06/2017
		Tipo de afloramiento	Antrópico
Ubicación Coordenadas UTM (Psad 56)	X = 693850 Y = 9569129 Z = 2577	Estado de afloramiento	Meteorización alta
		Morfología	Pendiente abrupta
Cobertura vegetal	Presencia de vegetación arbustiva, plantas pequeñas (yashipa) y pastos.		

**Fotografía**



**Descripción**

Localizado en el corte de la vía hacia San Francisco de Zalapa Bajo; se observan igualmente caolín de color gris a blanco con intrusión de color verdoso. Tiene una altura de 5.2 m y 7.5 m de ancho. Se pudo visualizar que el material de este afloramiento tenía un comportamiento especial que se podría definir como altamente plástico y mayor capacidad de retención de agua.

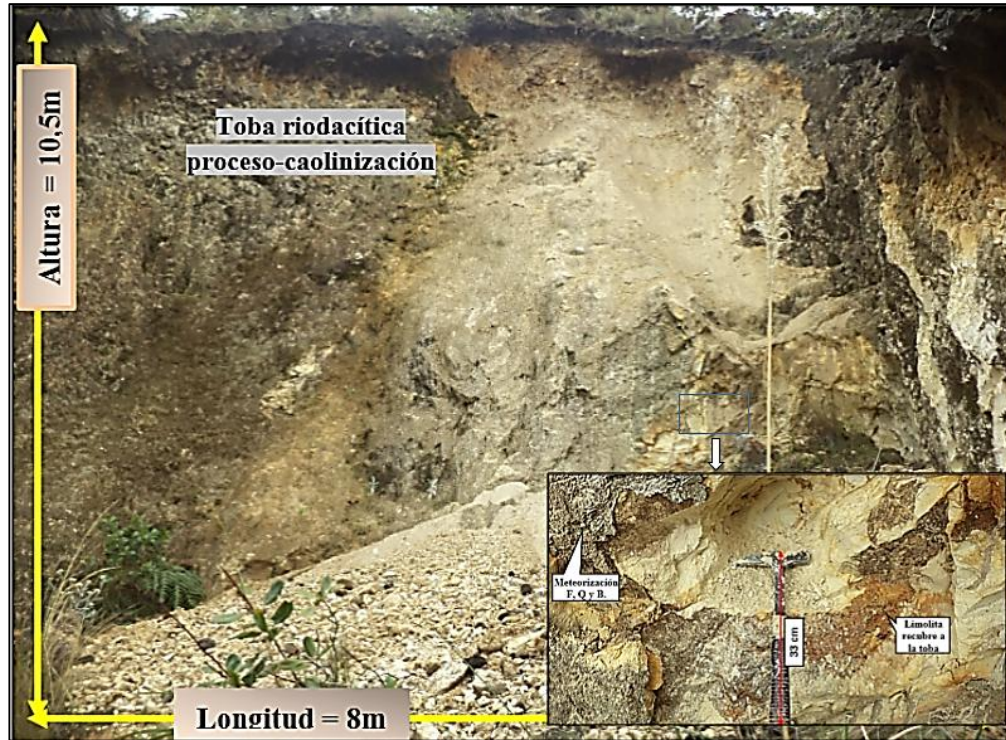
**Litología**

Arcilla Esméctita (Montmorillonita) - ubicado cerca del contacto de la Formación Salapa y la nueva Unidad Cera, se aprecia arcillas de coloración verdosa y purpuras con diaclasamiento no - sistemático, tienen un comportamiento especial que se puede definir como altamente plástico, hinchables, mayor capacidad de retención de agua y cabe indicar que al momento del muestreo fue un tanto difícil ya que el material aprisionaba (succionaba) las herramientas de recolección de las muestras.

**Observaciones**

Posiblemente el material de tonalidad verde se trataría de una arcilla tipo esméctita de gran plasticidad y de aspecto cremoso.

Levantamiento Geológico Sector.- Salapa Alto - Afloramiento N°5			
Ubicación Coordenadas UTM (Psad 56)	Tipo de afloramiento		Natural
	Morfología	Pendiente abrupta	
X = 693980 Y = 9569200 Z = 2562	Estado de afloramiento		Altamente meteorizado
	Dimensiones		Existe la presencia de vegetación arbustiva, plantas pequeñas (yashipa) y pastos.
Alto = 10,50m Ancho = 8m		Cobertura vegetal	
Fotografía			



#### Descripción

Es un afloramiento natural, en el cual existe la presencia de tobas volcánicas totalmente en proceso de transformación a caolinita de coloración blanco a amarillento y en el que se observó un conjunto de líneas ubicadas en todas direcciones del posible diaclasamiento que sufrió esta roca de pre-alteración a caolín, que en un inicio debió tener las mismas características o presentarse como el primer afloramiento y dimensiones 10,5 m de altura x 8 m longitud.

#### Litología

Tobas Riódacíticas - potencia de pocos metros que ya ha sido erosionada de depósitos piroclásticos, tobas volcánicas fuertemente alteradas en proceso de transformación a caolinita de coloración blanco - amarillento y no se observan estructuras primarias, siendo así que la meteorización del basamento permite la transformación a caolín, convirtiendo a la formación en joven de edad Pliocénico.

#### Estructuras

Diaclasas - estas discontinuidades estructurales, se observaron e identificaron en rocas volcánicas como fracturas en la cuales no existe desplazamiento de los bloques, pero con la presencia de una cierta separación que pudo ser originada por tracción, compresión o disolución. En los afloramientos se diferenciaron diaclasas de tipo no sistemáticas irregulares.

#### Observaciones

Posiblemente este afloramiento se deba a un deslizamiento, pero ya lo habían limpiado porque no se observó la totalidad de masa desplazada.

Levantamiento Geológico Sector.- Salapa Alto Calicata N°1			
Ubicación Coordenadas UTM (Psad 56)	Dimensiones	Estado de calicata	Fecha 12/06/2017
X = 693797 Y = 9569111 Z = 2578	Alto = 1m Ancho = 1m Profundidad = 1,10m	Totalmente saturado el material de las dos capas.	<b>Cobertura vegetal</b>
Tipo de excavación	Manual		Existe la presencia de pastos.



### Descripción litológica

#### Capa de MO

Conformada de 90 cm de una capa negra de materia orgánica (humus) con raíces.

#### Estrato 1

Material arcilloso de 20 cm de tonalidad amarillento a gris azulado, estrato de buzamiento horizontal y con fragmentos de cuarzo diámetro máximo de 0,5cm. Los esquistos se exhibieron en el primer estrato de la calicata uno seguida de la capa de materia orgánica, se las encontró como fragmentos ( $\phi < 1\text{cm}$ ) incrustados en la capa de arcilla amarillenta. Son esquistos micáceos de tonalidad gris - azulados que contienen pocas escamas de biotita lo que se atribuye el brillo a la roca y también esquistos grafitosos de color negro y brillo metálico, formados por metamorfismo de bajo grado.

Levantamiento Geológico Sector.- Salapa Alto Calicata N°2			
<b>Ubicación Coordenadas UTM (Psad 56)</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Estado de calicata</b>	<b>Fecha</b> 12/06/2017
X = 693717 Y = 9569140 Z = 2583	Alto = 1m Ancho = 1m Profundidad = 1,10m	Totalmente saturado el material de las dos capas.	<b>Cobertura vegetal</b>
<b>Tipo de excavación</b>	Manual		Existe la presencia de pastos.



**Descripción litológica**

**Capa de MO**







Conformada de 30 cm de una capa negra de materia orgánica (humus) con raíces.

**Estrato 1**

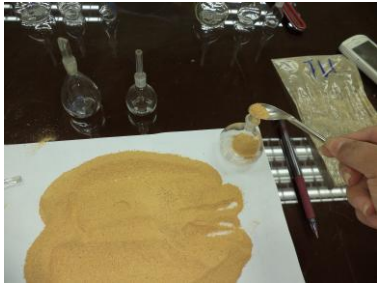
Material arcilloso de 80 cm de tonalidad amarillento a gris verdoso, estrato de buzamiento horizontal y con fragmentos de cuarzo diámetro máximo de 0,4 cm. Se identificó por lavado la presencia de rastros de esquistos micáceos formados por metamorfismo de bajo grado, trazas de carbón (lignito) y mayor cantidad de cuarzo (tamaño 4 a 2 mm) que la calicata 1 de, consta de similares características a la primera calicata y al afloramiento 4.



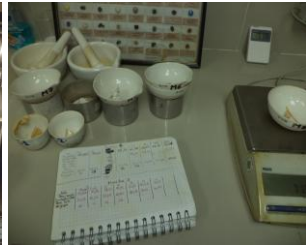
### **Anexo 3. Registro Fotográfico.**

<b>Levantamiento Topográfico</b>	<b>Levantamiento geológico</b>
	
<b>Muestreo en Afloramientos</b>	<b>Muestreo en calicatas (excavación/barreno)</b>
	
<b>Tratamiento previo al ensayo de las muestras (secado, cuarteo, triturado y tamizado)</b>	
	
<b>Contenido de Humedad</b>	
	

### Peso Específico y Densidad



### Límite Líquido y Límite Plástico



### Granulometría



### Sulfatos Solubles

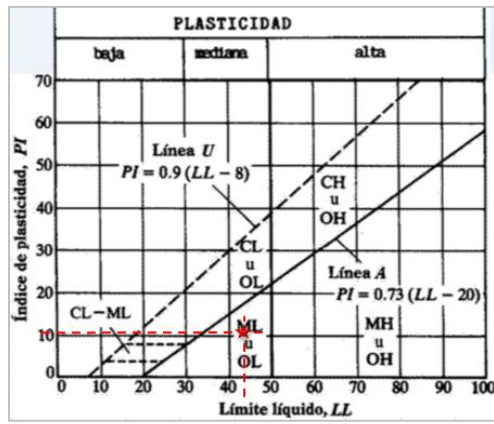
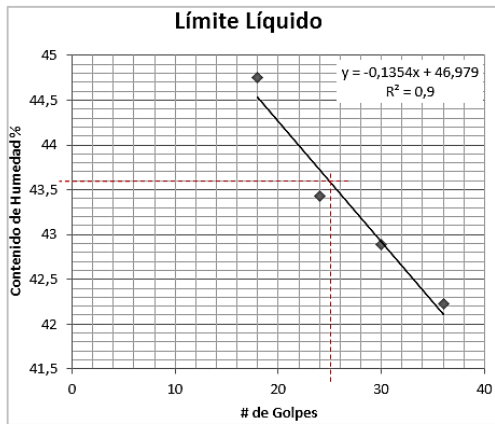


### Materia Orgánica

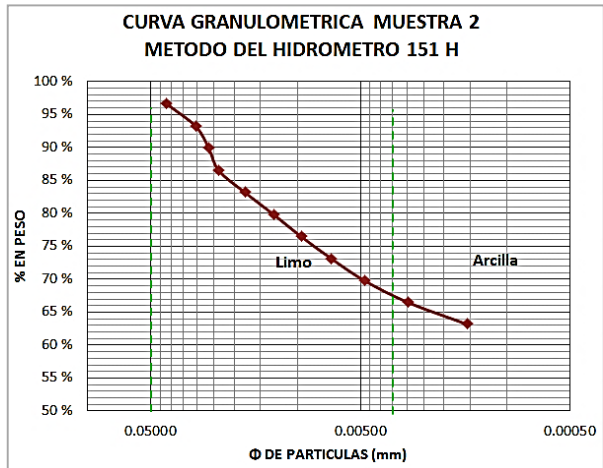
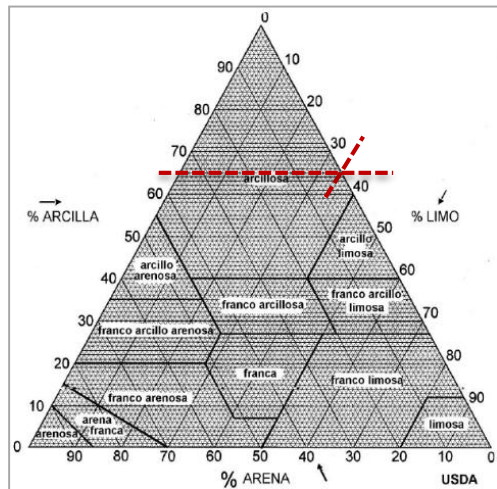


**Anexo 4.** Resultados de propiedades físicas.

Muestra 2									
1.- Color Natural				2.- Contenido De Humedad					
Húmedo		Seco		Peso Húmedo		Peso Seco	Resultado (%)		
7.5Y 8/1 Gris Claro		N 8/0 Blanco Grisáceo		176,18		122,14	44,24		
3.- Peso Específico y Densidad			P	M	S	W	Pe	Promedio Pe	$\delta$ (gr/cm <sup>3</sup> )
			26,18	46,76	91,24	79,28	2,39	2,537	2,532
			12,51	16,11	25,05	22,79	2,69		
4.- Límite Líquido					5.- Límite Plástico				
Lata	1	2	3	M3	M4	D1332	M7		
Peso suelo húmedo + lata	65,74	58,16	49,77	85,93	73,78	36,12	74,97		
Peso de suelo seco + lata	55,59	50,13	44,92	82,1	73,49	35,937	74,8		
Peso de lata	32,91	31,64	33,61	73,03	72,62	35,39	74,28		
Peso de suelo seco	22,68	18,49	11,31	9,07	0,87	0,547	0,52		
Peso de agua	10,15	8,03	4,85	3,83	0,29	0,183	0,17		
Contenido de humedad %	44,75	43,43	42,88	42,23	33,33	33,46	32,69		
N° de golpes	18	24	30	36	Desviación estándar $\sigma$		0,41		
Índice de Plasticidad			LL	43,60	LP	33,16	IP	10,44	



6.- Textura			7.- Granulometría		
% Arcilla	% Limo	Clasificación	Diámetro de partícula (mm)	≤ 0,05 - 0,002	< 0,002
66,479	33,521	Arcilla	%	33,521	66,479

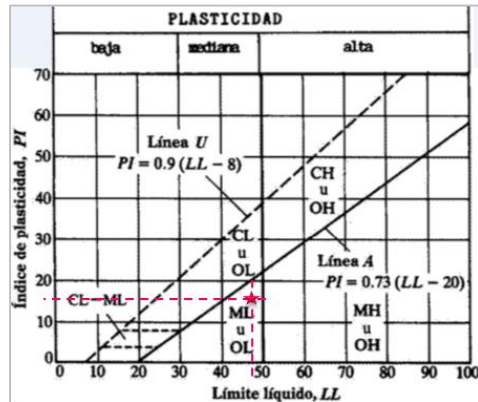
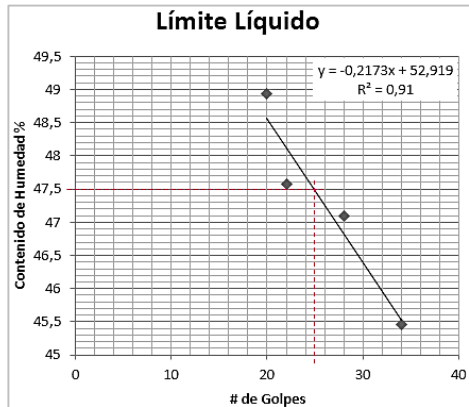


**Muestra 3**

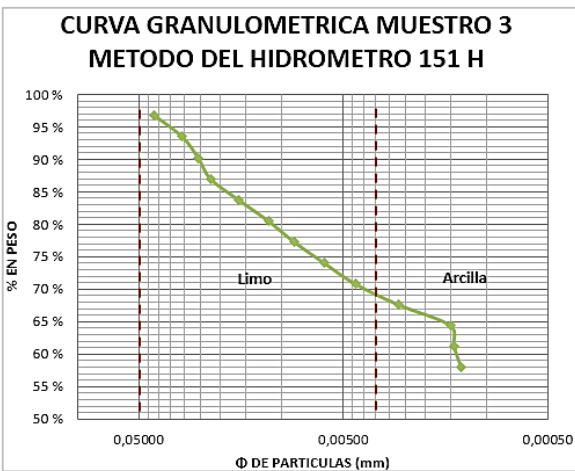
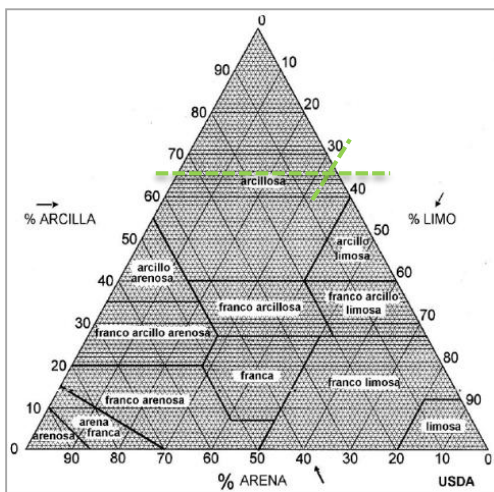
1.- Color Natural		2.- Contenido De Humedad		
Húmedo	Seco	Peso Húmedo	Peso Seco	Resultado (%)
7.5 YR 6/8 Anaranjado	7.5 YR 8/6 Amarillo anaranjado claro	164,10	120,44	36,25

3.- Peso Específico y Densidad	P	M	S	W	Pe	Promedio Pe	$\delta$ (gr/cm <sup>3</sup> )
	27,55	44,90	90,37	79,46	2,69		
	16,69	25,00	46,44	41,22	2,69	2,692	2,683

4.- Límite Líquido				5.- Límite Plástico			
Lata	M8 pqñ	1 café	K	A	E	O	U
Peso suelo húmedo + lata	43,54	41,5	33,03	40,91	21,09	20,34	21,87
Peso de suelo seco + lata	37,54	36,29	29,71	35	20,92	20,27	21,607
Peso de lata	25,28	25,34	22,66	22	20,38	20,04	20,79
Peso de suelo seco	12,26	10,95	7,05	13	0,54	0,23	0,817
Peso de agua	6	5,21	3,32	5,91	0,17	0,07	0,263
Contenido de humedad %	48,94	47,58	47,09	45,46	31,48	30,43	32,19
N° de golpes	20	22	28	34	Desviación estándar $\sigma$		0,88
<b>Índice de Plasticidad</b>	<b>LL</b>	47,50	<b>LP</b>	31,37	<b>IP</b>	16,13	

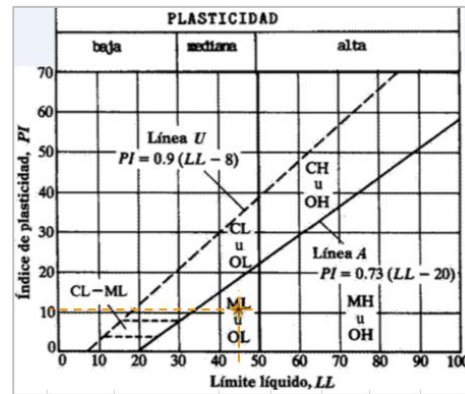
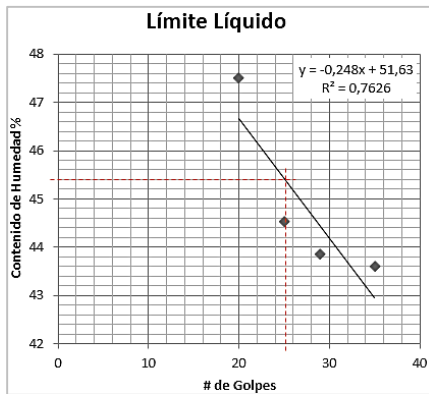


6.- Textura			7.- Granulometría		
% Arcilla	% Limo	Clasificación	Diámetro de partícula (mm)	≤ 0,05 - 0,002	< 0,002
67,638	32,362	Arcilla	%	32,362	67,638

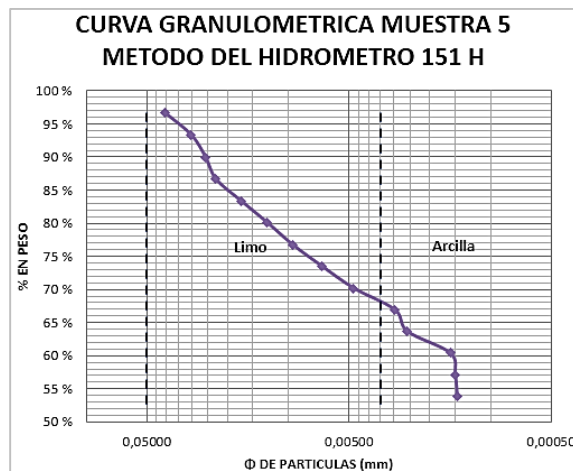
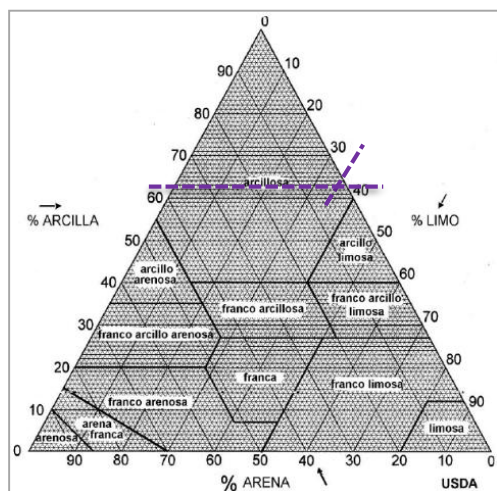


Muestra 4									
1.- Color Natural				2.- Contenido De Humedad					
Húmedo		Seco		Peso Húmedo		Peso Seco	Resultado (%)		
10YR 7/8 Amarillo naranja		10YR 8/6 Amarillo naranja		198,91		141,60	40,47		
3.- Peso Específico y Densidad			P	M	S	W	Pe	Promedio Pe	$\delta$ (gr/cm <sup>3</sup> )
			47,32	79,98	167,3	147,13	2,61		
			32,89	48,09	92,2	82,84	2,60		
			17,49	21,54	29,96	27,48	2,58		
4.- Límite Líquido				5.- Límite Plástico					
Lata	Ga	M1	M9	C1	M6	M8	C2		
Peso suelo húmedo + lata	49,6	79,03	99,15	61,79	78,37	72,21	51,86		
Peso de suelo seco + lata	44,9	76,21	92,75	58,21	78,1917	71,95	51,57		
Peso de lata	34,97	69,93	77,93	49,77	77,57	71,08	50,62		
Peso de suelo seco	9,93	6,28	14,82	8,44	0,6217	0,87	0,95		
Peso de agua	4,7	2,82	6,4	3,58	0,1783	0,26	0,29		
Contenido de humedad %	47,33	44,90	43,18	42,42	28,68	29,89	30,53		
N° de golpes	17	23	26	32	Desviación estándar $\sigma$		0,9		
Índice de Plasticidad				LL	44,30	LP	29,70	IP	14,60
6.- Textura				7.- Granulometría					
% Arcilla	% Limo	Clasificación		Diámetro de partícula (mm)		$\leq 0,05 - 0,002$	$< 0,002$		
63,663	36,337	Arcilla		%		36,337	63,663		

Muestra 5									
1.- Color Natural				2.- Contenido De Humedad					
Húmedo		Seco		Peso Húmedo		Peso Seco	Resultado (%)		
7.5Y 8/3 Amarillo pálido		7.5Y 8/2 Gris claro		178,29		120,62	47,81		
3.- Peso Específico y Densidad			P	M	S	W	Pe	Promedio Pe	$\delta$ (gr/cm <sup>3</sup> )
			47,84	76,99	165,43	147,53	2,59		
			31,68	45,66	90,22	81,60	2,61		
			16,93	20,59	29,19	26,96	2,56		
4.- Límite Líquido				5.- Límite Plástico					
Lata	C1	C2	So	Ch	Gp	Cs	Pc		
Peso suelo húmedo + lata	59,64	68,65	49,48	46,96	23,11	22,25	26,05		
Peso de suelo seco + lata	55,25	62,43	45,42	43,14	22,96	22,09	25,77		
Peso de lata	46,01	48,46	36,16	34,38	22,54	21,63	24,95		
Peso de suelo seco	9,24	13,97	9,26	8,76	0,42	0,46	0,82		
Peso de agua	4,39	6,22	4,06	3,82	0,15	0,16	0,28		
Contenido de humedad %	47,51	44,52	43,84	43,61	35,71	34,78	34,15		
N° de golpes	20	25	29	35	Desviación estándar $\sigma$		0,78		
Índice de Plasticidad			LL	45,40	LP	34,88	IP	10,52	

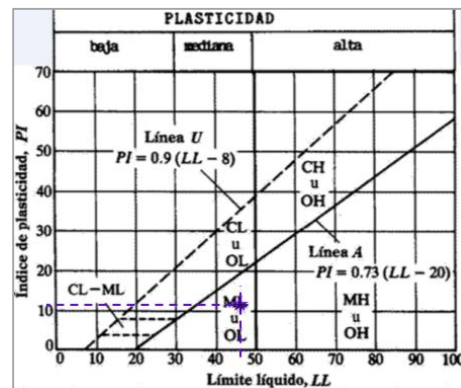
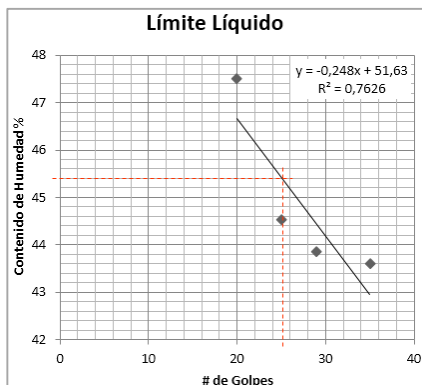


6.- Textura			7.- Granulometría		
% Arcilla	% Limo	Clasificación	Diámetro de partícula (mm)	≤ 0,05 - 0,002	< 0,002
63,652	36,348	Arcilla	%	36,348	63,652

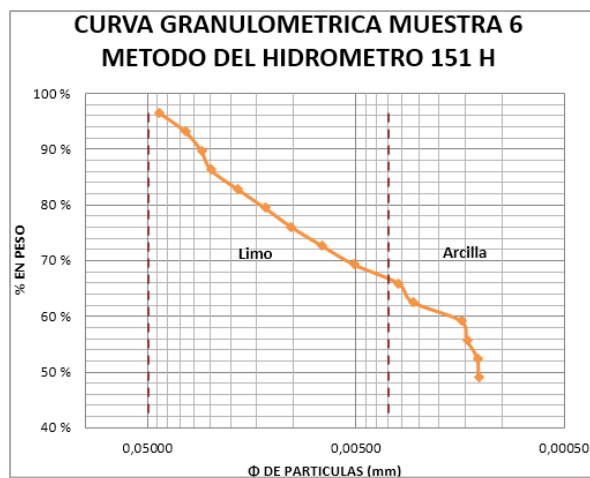
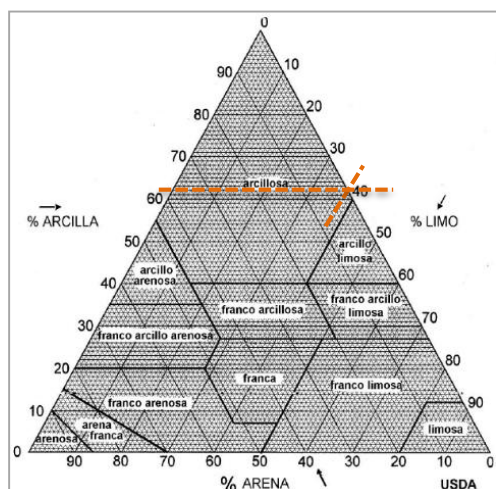




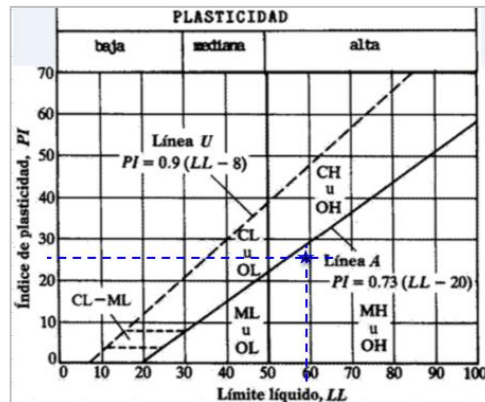
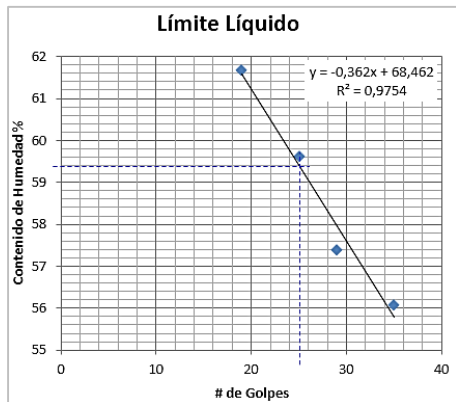
Muestra 6									
1.- Color Natural				2.- Contenido De Humedad					
Húmedo		Seco		Peso Húmedo		Peso Seco	Resultado (%)		
2.5YR 8/6 Amarillo		2.5YR 8/4 Amarillo pálido		176,61		125,85	40,33		
3.- Peso Específico y Densidad			P	M	S	W	Pe	Promedio Pe	$\delta$ (gr/cm <sup>3</sup> )
			47,54	76,38	165,08	147,29	2,61		
			32,30	45,63	90,37	82,14	2,61		
			16,94	21,65	29,45	26,91	2,17		
4.- Límite Líquido					5.- Límite Plástico				
Lata	B	C	F	D	H	M2	M10		
Peso suelo húmedo + lata	36,76	32,11	35,43	35,9	21,29	71,48	73,61		
Peso de suelo seco + lata	32	28,28	30,96	31,8	21,11	71,323	73,37		
Peso de lata	22,4	20,29	21,27	22,77	20,61	70,87	72,71		
Peso de suelo seco	9,6	7,99	9,69	9,03	0,5	0,453	0,66		
Peso de agua	4,76	3,83	4,47	4,1	0,18	0,157	0,24		
Contenido de humedad %	49,58	47,93	46,13	45,40	36,00	34,66	36,36		
N° de golpes	20	22	28	32	Desviación estándar $\sigma$		0,89		
Índice de Plasticidad			LL	47,40	LP	35,67	IP	11,73	



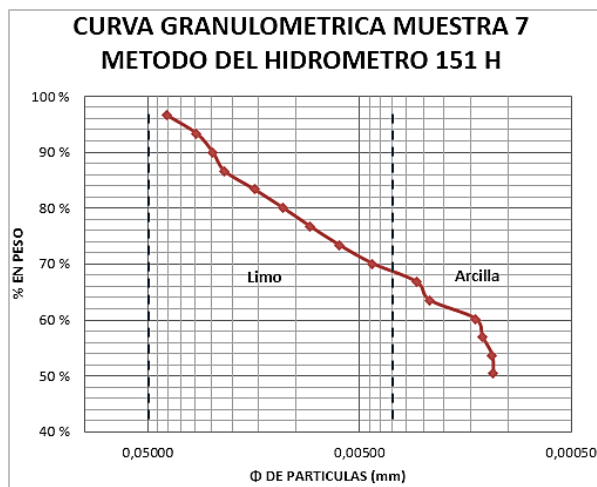
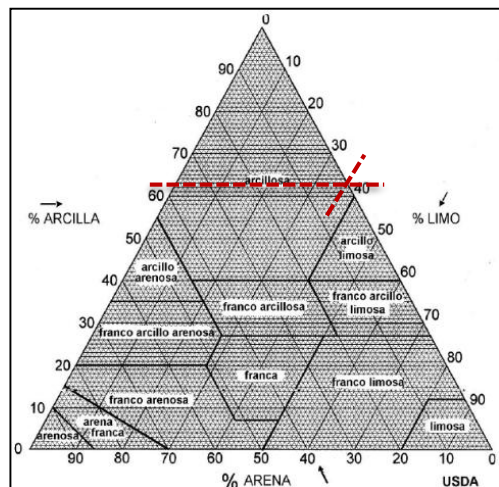
6.- Textura			7.- Granulometría		
% Arcilla	% Limo	Clasificación	Diámetro de partícula (mm)	≤ 0,05 - 0,002	< 0,002
62,499	37,501	Arcilla	%	37,501	62,499



Muestra 7									
1.- Color Natural				2.- Contenido De Humedad					
Húmedo		Seco		Peso Húmedo	Peso Seco	Resultado (%)			
10G 6/1 Gris verdoso		10GY 8/1 Gris verdoso gris		212,29	147,55	43,88			
3.- Peso Específico y Densidad			P	M	S	W	Pe	Promedio Pe	$\delta$ (gr/cm <sup>3</sup> )
			26,87	46,61	90,98	78,87	2,59		
			16,34	25,59	47,73	42,03	2,61		
			16,93	21,97	30,02	26,92	2,60		
4.- Límite Líquido				5.- Límite Plástico					
Lata	M3	M9	M6	M4	E	O	U		
Peso suelo húmedo + lata	98,25	103,32	99,71	101,29	21,98	21,19	21,75		
Peso de suelo seco + lata	88,63	93,84	91,64	90,99	21,68	20,9	21,47		
Peso de lata	73,03	77,94	77,58	72,62	20,79	20,04	20,62		
Peso de suelo seco	15,6	15,9	14,06	18,37	0,89	0,86	0,85		
Peso de agua	9,62	9,48	8,07	10,3	0,3	0,29	0,28		
Contenido de humedad %	61,67	59,62	57,40	56,07	33,71	33,72	32,94		
N° de golpes	19	25	29	35	Desviación estándar $\sigma$		0,44		
Índice de Plasticidad			LL	59,40	LP	33,46	IP	25,94	

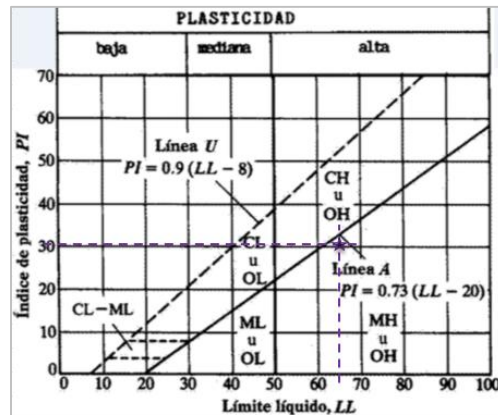
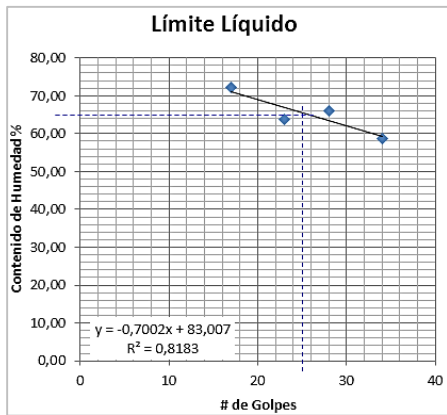


6.- Textura			7.- Granulometría		
% Arcilla	% Limo	Clasificación	Diámetro de partícula (mm)	$\leq 0,05 - 0,002$	$< 0,002$
63,484	36,516	Arcilla	%	36,516	63,484

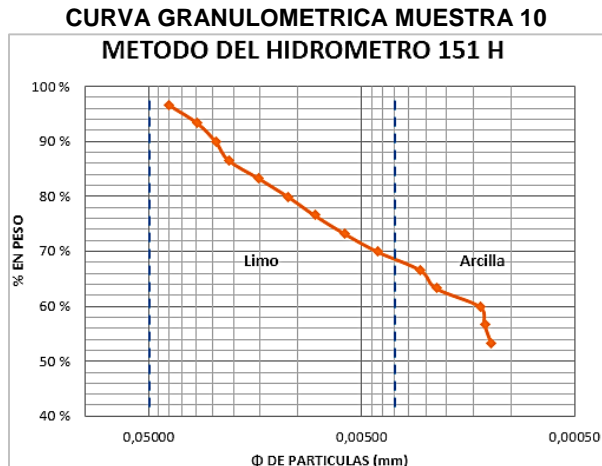
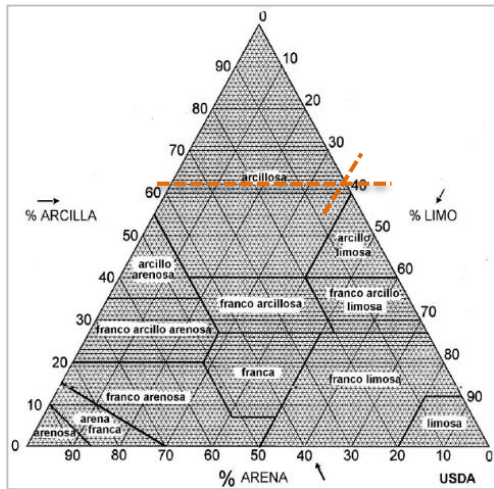


Muestra 9									
1.- Color Natural				2.- Contenido De Humedad					
Húmedo		Seco		Peso Húmedo	Peso Seco	Resultado (%)			
2.5YR 6/3 Amarillo opaco		2.5YR 7/3 Amarillo claro		122,66	81,11	51,23			
3.- Peso Específico y Densidad			P	M	S	W	Pe	Promedio Pe	$\delta$ (gr/cm <sup>3</sup> )
			31,69	49,60	92,63	81,61	2,60	2,592	2,587
			18,95	27,85	48,98	43,50	2,60		
			16,93	21,17	29,56	26,96	2,59		
4.- Límite Líquido					5.- Límite Plástico				
Lata	M2	M6	M9	M3	E	H	U		
Peso suelo húmedo + lata	39,19	41,43	45,44	37,9	21,31	20,4	20,82		
Peso de suelo seco + lata	32,23	33,98	37,44	31,75	21,183	20,315	20,77		
Peso de lata	21,64	22,54	24,96	22,01	20,78	20,03	20,61		
Peso de suelo seco	10,59	11,44	12,48	9,74	0,403	0,285	0,16		
Peso de agua	6,96	7,45	8	6,15	0,127	0,085	0,05		
Contenido de humedad %	65,72	65,12	64,10	63,14	31,51	29,82	31,25		
N° de golpes	19	24	28	34	Desviación estándar $\sigma$		0,9		
Índice de Plasticidad				LL	LP	IP			
				64,70	30,86		33,84		
6.- Textura			7.- Granulometría						
% Arcilla	% Limo	Clasificación	Diámetro de partícula (mm)	$\leq 0,05 - 0,002$	$< 0,002$				
63,341	36,659	Arcilla	%	36,659	63,341				

Muestra 10							
1.- Color Natural			2.- Contenido De Humedad				
Húmedo	Seco		Peso Húmedo		Peso Seco	Resultado (%)	
5Y 5/4 Aceituna	5Y 7/4 Amarillo claro		137,36		88,92	54,48	
3.- Peso Específico y Densidad	P	M	S	W	Pe	Promedio Pe	$\delta$ (gr/cm <sup>3</sup> )
	48,08	83,18	169,41	147,75	2,61	2,582	2,577
	31,95	50,68	93,34	81,91	2,57		
	16,89	21,46	29,70	26,92	2,55		
4.- Límite Líquido				5.- Límite Plástico			
Lata	C2	C1	SO	CH	CS	GP	PC
Peso suelo húmedo + lata	68,25	67,73	55,55	53,74	22,47	23,13	25,41
Peso de suelo seco + lata	59,96	59,51	47,64	46,59	22,26	22,98	25,2919
Peso de lata	48,47	46,01	36,17	34,39	21,64	22,54	24,96
Peso de suelo seco	11,49	13,5	11,47	12,2	0,62	0,44	0,3319
Peso de agua	8,29	8,22	7,91	7,15	0,21	0,15	0,1181
Contenido de humedad %	72,15	63,89	65,96	58,61	33,87	34,09	35,58
N° de golpes	17	23	28	34	Desviación estándar $\sigma$		0,9
Índice de Plasticidad	LL	43,60	LP	33,16	IP	10,44	



6.- Textura			7.- Granulometría		
% Arcilla	% Limo	Clasificación	Diámetro de partícula (mm)	$\leq 0,05 - 0,002$	$< 0,002$
63,272	36,728	Arcilla	%	36,728	63,272



**Anexo 5. Resultados de Fluorescencia de Rayos X y  
Difracción de Rayos X.**