



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS  
DE MINERALES ARCILLOSOS DE LA PROVINCIA DE  
CHIMBORAZO Y PROPUESTA DE POTENCIALES  
APLICACIONES INDUSTRIALES.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TIPO: PROYECTO INVESTIGACIÓN**

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR: HERNÁN DANILO JARA ECHEVERRÍA.**

**TUTOR: DR. JUAN MARCELO RAMOS FLORES.**

Riobamba – Ecuador

2018

© 2018, **Hernán Danilo Jara Echeverría.**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el derecho de autor.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: **CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE MINERALES ARCILLOSOS DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO Y PROPUESTA DE POTENCIALES APLICACIONES INDUSTRIALES**, de responsabilidad del señor Hernán Danilo Jara Echeverría, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada la presentación.

**NOMBRE**

**FIRMA**

**FECHA**

Dr. Marcelo Ramos F.

.....

.....

**DIRECTOR DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

Ing. Hugo Calderón.

.....

.....

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Hernán Danilo Jara Echeverría, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

-----  
Hernán Danilo Jara Echeverría.

C.I: 060352978-5.

“Yo, Hernán Danilo Jara Echeverría, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo de titulación, y el patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. ”

Hernán Danilo Jara Echeverría

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo dedico de manera muy especial a mis padres: Dr. Ángel Hernán Jara Salazar y a la Dra. Mariana de Jesús Echeverría Velasco, por apoyarme durante todo el trayecto de mi vida estudiantil; ya que gracias a sus consejos, ánimos, y demás pude seguir adelante y poder culminar mi carrera universitaria.

De igual manera a mi hermana Anita Jara, a mis primos Andrés Mena y David Echeverría, por brindarme su apoyo y darme aliento para salir adelante ante cualquier adversidad.

**Danilo**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios y a la Madre Dolorosa por bendecirme y cuidarme durante todo el trayecto de mi vida estudiantil, por la salud y vida recibida hacia mi familia y hacia mí durante todos estos años.

A mis padres, por brindarme todo el apoyo necesario para culminar esta etapa de mi vida.

A Dr. Marcelo Ramos y al Ing. Hugo Calderón, por compartir sus conocimientos y guiarme durante el desarrollo de este trabajo.

Al Ing. Andrés Chico, al Dr. Rafael Uribe, y a la Sra. Ruth Tapia, por brindarme su amistad y sus conocimientos durante mi estancia en el laboratorio de Cerámica de la EPN.

A mis amigos de a ESPOCH y EPN, por motivarme y apoyarme para culminar este trabajo.

**Danilo.**

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Páginas</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xv</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>xvi</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Identificación del Problema .....	1
1.2 Justificación del Proyecto .....	1
1.3 Objetivos .....	2
1.3.1 Objetivo General .....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>3</b>
2.1 Antecedentes de la Investigación.....	3
2.2 Marco Conceptual .....	6
2.2.1 Arcilla.....	6
2.2.1.1 Definición.....	6
2.2.1.2 Propiedades Físico – Químicas .....	8
2.2.2 Tipos de Arcilla.....	12
2.2.2.1 Por su Origen Geológico .....	13
2.2.2.2 Por Su Plasticidad .....	13
2.2.2.3 Por Su Estructura Cristalográfica.....	13
2.2.3 Análisis Para Caracterización de Arcillas .....	16
2.2.3.1 Caracterización Física .....	16
2.2.3.2 Caracterización Química .....	18
2.2.4 Aplicaciones Industriales de las Arcillas .....	19
2.2.4.1 Industria Cerámica y de Porcelana.....	20



2.2.4.2 Industria de Polímeros.....	21
2.2.4.3 Industria Papelera.....	22
2.2.4.4 Industria de la Fundición.....	23
2.2.4.5 Industria Petrolera.....	24
2.2.4.6 Industria Farmacéutica.....	24

### **CAPÍTULO III**

<b>3. METODOLOGÍA .....</b>	<b>26</b>
3.1 Hipótesis y Especificación de las Variables.....	26
3.1.1 Hipótesis.....	26
3.1.1.1 Hipótesis General.....	26
3.1.1.2 Hipótesis Específicas .....	26
3.1.2 Especificación de las Variables.....	26
3.1.2.1 Hipótesis Específica I.....	26
3.1.2.2 Hipótesis Específica II .....	27
3.1.2.3 Hipótesis Específica III.....	27
3.1.3 Matriz de Consistencia.....	28
3.2 Tipo y Diseño de la Investigación.....	29
3.2.1 Tipo de Investigación.....	29
3.2.2 Diseño de la Investigación .....	29
3.3 Unidad de Análisis .....	29
3.4 Población de Estudio.....	29
3.5 Tamaño de Muestra.....	32
3.6 Selección de Muestra .....	32
3.7 Técnicas de Recolección de Datos.....	32
3.7.1 Determinación del color por el método de Munsell.....	35
3.7.2 Sensación al tacto.....	35
3.7.3 Consistencia .....	36
3.7.4 Textura .....	36
3.7.5 Presencia de Impurezas .....	37

3.7.6 Humedad .....	37
3.7.7 Densidad Aparente .....	38
3.7.8 Materia Orgánica.....	39
3.7.9 Carbonatos .....	39

## **CAPÍTULO IV**

<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>41</b>
4.1 Análisis y Discusión de Resultados .....	41
4.1.1 Caracterización Física .....	41
4.1.1.1 Color por el método de Munsell.....	41
4.1.1.2 Sensación al tacto.....	42
4.1.1.3 Consistencia .....	43
4.1.1.4 Textura .....	44
4.1.1.5 Presencia de Impurezas .....	45
4.1.1.6 Humedad .....	46
4.1.1.7 Densidad Aparente .....	47
4.1.1.8 Materia Orgánica.....	48
4.1.1.9 Carbonatos .....	49
4.1.1.10 Microscopía Electrónica (SEM).....	50
4.1.2 Caracterización Química.....	55
4.1.2.1 Composición Mineralógica (XRD).....	55
4.1.2.2 Composición Química (XRF) .....	58
4.1.2.3 Química Superficial / Grupos Funcionales (FTIR) .....	60
4.1.2.4 Análisis Termogravimétrico.....	61
4.1.2.5 Aplicaciones Industriales .....	65
4.2 Pruebas de Hipótesis .....	70
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>74</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>76</b>

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Páginas.</b>
<b>Tabla 1-2:</b> Minas y afloramientos de minerales arcillosos en la provincia de Chimborazo, en el año 1997.....	4
<b>Tabla 2-2:</b> Concesiones de arcilla registradas en la ARCOM – Chimborazo.....	5
<b>Tabla 3-2:</b> Superficie específica de algunos tipos de arcilla.....	8
<b>Tabla 4-2:</b> Capacidades de intercambio catiónico de algunos tipos de arcilla.....	10
<b>Tabla 5-2:</b> Propiedades primarias y secundarias de las arcillas.....	20
<b>Tabla 6-2:</b> Requerimientos principales de las arcillas para la elaboración de cerámica.....	21
<b>Tabla 7-2:</b> Características de las arcillas duras y blandas.....	22
<b>Tabla 8-2:</b> Características principales de las arcillas para la elaboración de papel.....	23
<b>Tabla 9-2:</b> Proporción de arcilla y agua en la producción de arenas de moldeo.....	24
<b>Tabla 1-3:</b> Frentes de explotación de minerales arcillosos de la provincia de Chimborazo registrados por la ARCOM-2017.....	30
<b>Tabla 2-3:</b> Frentes de explotación y afloramientos de minerales arcillosos de la provincia de Chimborazo registrados por el CODIGEM-1997.....	30
<b>Tabla 3-3:</b> Selección de afloramientos a considerarse en el estudio.....	31
<b>Tabla 4-3:</b> Codificación de las muestras.....	34
<b>Tabla 5-3:</b> Técnicas de laboratorio realizadas a los minerales arcillosos para establecer sus posibles aplicaciones industriales.....	35
<b>Tabla 6-3:</b> Consistencia de los suelos y arcillas.....	36
<b>Tabla 7-3:</b> Textura de las arcillas.....	37
<b>Tabla 8-3:</b> Reacción a la presencia de materia orgánica.....	39
<b>Tabla 9-3:</b> Reacción a los carbonatos.....	40
<b>Tabla 1-4:</b> Resultados del ensayo de color por el método de Munsell.....	41

<b>Tabla 2-4:</b> Resultados del ensayo de sensación al tacto.....	42
<b>Tabla 3-4:</b> Resultados de la prueba de consistencia.....	43
<b>Tabla 4-4:</b> Resultados del ensayo de textura.....	44
<b>Tabla 5-4:</b> Impurezas presentes en las muestras de arcilla de la provincia de Chimborazo.....	45
<b>Tabla 6-4:</b> Resultados de humedad de las arcillas de la provincia de Chimborazo.....	46
<b>Tabla 7-4:</b> Resultados del ensayo de densidad aparente.....	47
<b>Tabla 8-4:</b> Resultados del ensayo de materia orgánica.....	48
<b>Tabla 9-4:</b> Resultados del ensayo de carbonatos.....	49
<b>Tabla 10-4:</b> Composición mineralógica de la muestra CHCA01.....	55
<b>Tabla 11-4:</b> Composición mineralógica de la muestra CHLI01.....	55
<b>Tabla 12-4:</b> Composición mineralógica de la muestra CHCH01.....	56
<b>Tabla 13-4:</b> Composición mineralógica de la muestra CHPA01.....	56
<b>Tabla 14-4:</b> Composición mineralógica de la muestra CHTA01.....	57
<b>Tabla 15-4:</b> Composición química de los minerales arcillosos en la provincia de Chimborazo...	58
<b>Tabla 16-4:</b> Grupos funcionales presentes en los minerales arcillosos de Chimborazo.....	60
<b>Tabla 17-4:</b> Transformaciones que se dan con cada cambio de temperatura en la muestra CHCA01.....	62
<b>Tabla 18-4:</b> Transformaciones que se dan con cada cambio de temperatura en la muestra CHLI01.....	62
<b>Tabla 19-4:</b> Transformaciones que se dan con cada cambio de temperatura en la muestra CHCH01.....	63
<b>Tabla 20-4:</b> Transformaciones que se dan con cada cambio de temperatura en la muestra CHPA01.....	63
<b>Tabla 21-4:</b> Transformaciones que se dan con cada cambio de temperatura en la muestra CHTA01.....	64
<b>Tabla 22-4:</b> Potenciales aplicaciones industriales de las muestras CHCA01 y CHLI01.....	66

<b>Tabla 23-4:</b> Potenciales aplicaciones industriales de las muestras CHCH01 y CHPA01.....	67
<b>Tabla 24-4:</b> Potenciales aplicaciones industriales de la muestra CHTA01.....	68
<b>Tabla 25-4:</b> Comparación de composición química de minerales arcillosos de Chimborazo, respecto a referencias bibliográficas.....	70
<b>Tabla 26-4:</b> Referencias bibliográficas afines a la caracterización mineralógica de minerales arcillosos.....	71
<b>Tabla 27-4:</b> Correlaciones mineral-aplicación encontradas por triangulación bibliográfica.....	72

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Páginas</b>
<b>Figura 1-2:</b> Ubicación de las minas o afloramientos de arcilla en la provincia de Chimborazo, año 1997.....	5
<b>Figura 2-2:</b> Estructura de las arcillas.....	7
<b>Figura 3-2:</b> Límites de atterberg.....	12
<b>Figura 4-2:</b> Tabla munsell.....	17

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	<b>Páginas</b>
<b>Gráfico 1-4:</b> Comparativa de resultados, según locación.....	59
<b>Gráfico 2-4:</b> Comparativa de resultados, según composición química.....	59
<b>Gráfico 3-4:</b> Comparativa de resultados, transformaciones en los minerales arcillosos.....	64
<b>Gráfico 4-4:</b> Comparativa de variaciones de peso por transformaciones de los minerales arcillosos.....	65
<b>Gráfico 5-4:</b> Comparativa de potenciales aplicaciones industriales para minerales arcillosos de Chimborazo.....	69

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	<b>Páginas</b>
<b>Fotografía 1-4:</b> Micrografía de la muestra CHCA01.....	50
<b>Fotografía 2-4:</b> Micrografía de la muestra CHLI01.....	51
<b>Fotografía 3-4:</b> Micrografía de la muestra CHCH01.....	52
<b>Fotografía 4-4:</b> Micrografía de la muestra CHPA01.....	53
<b>Fotografía 5-4:</b> Micrografía de la muestra CHTA01.....	54

## RESUMEN

Se caracterizaron las propiedades básicas y fisicoquímicas de minerales arcillosos de la provincia de Chimborazo con el objetivo de proponer potenciales aplicaciones industriales diferentes a las tradicionales. Para lo cual se consolidaron datos proporcionados por la Agencia de Regulación y Control Minero (ARCOM) y la Corporación de Desarrollo e Investigación Geológico - Minero - Metalúrgica (CODIGEM) en una matriz de información de yacimientos de arcilla en la provincia, de los cuales se seleccionaron: Cacha, Licán, Chambo, Pallatanga y Tanquis. Se realizó una caracterización básica de color, sensación al tacto, consistencia, textura, impurezas, humedad, densidad aparente, carbonatos y materia orgánica; seguida de los análisis fisicoquímicos de composición mineralógica (XRD), composición química (XRF), morfología y porosidad (SEM), química superficial (FTIR), y comportamiento térmico (TGA). Posteriormente se realizó una triangulación entre los resultados de la caracterización con respecto a datos de publicaciones científicas de las bases de datos Scholar Google, Science Direct y World of Knowledge determinando similitud en fase mineral, composición química o composición mineralógica para identificar posibles aplicaciones industriales no tradicionales. El estudio arroja las siguientes potenciales aplicaciones específicas: remoción de Cr (VI), remoción de As (V), remoción de Ni (II) y Cr (III), remoción de  $(PO_4)^{3-}$  en soluciones acuosas y efluentes industriales; desarrollo de membranas cerámica, excipientes para la industria farmacéutica y posible uso en fluidos de perforación. Se recomienda profundizar estudios específicos para cada locación de la provincia, aplicar estudios similares para las restantes provincias de la zona 3, e incluir otros análisis de tipo reológico, mecánico, cerámico, y térmico.

**Palabras clave:** <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <MINERALES ARCILLOSOS>, <PROPIEDADES BÁSICAS>, <PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS>, <COMPOSICIÓN QUÍMICA>, <COMPOSICIÓN MINERALÓGICA>, <APLICACIONES INDUSTRIALES>, <CHIMBORAZO (PROVINCIA)>.

## SUMMARY

This research is carried out because the basic and physicochemical of clay minerals from the Province of Chimborazo were characterized with the aim of proposing potential industrial applications different from the traditional ones. For which, they were consolidated data provided by Mining Regulation and Control Agency (ARCOM) and the Geological – Mining – Metallurgical Development and Research Corporation (CODIGEM) in an information matrix of clay deposits in the province, of which They selected: Cacha, Licán, Chambo, Pallatanga and Tanquis. It was carried out a basic characterization of color, touch sensation, consistency, texture, impurities, humidity, apparent density, carbonates and organic matter; followed by physicochemical analysis of mineralogical composition (XRD) X-ray Diffraction, chemical composition (XRF) X-ray Fluorescence, morphology and porosity (SEM) Scanning Electron Microscopy, surface chemistry (FTIR) Fourier – Transform Infrared Spectroscopy, and thermal behavior (TGA) Thermogravimetric Analysis. Subsequently, a triangulation was carried out between the results of the characterization with respect to data from scientific publications of the databases Scholar Google, Science Direct and World of Knowledge determining similarity in mineral phase, chemical composition or mineralogical composition to identify possible non-traditional industrial applications. The study shows the following potential specific applications: removal of Cr (VI), removal of As (V), removal of Ni (II) and Cr (III), removal of  $(\text{PO}_4)^{3-}$  in aqueous solutions and industrial effluents; development of ceramic membranes, excipients for the pharmaceutical industry and possible use in drilling fluids. It is recommended to deepen specific studies for each location of the province, apply similar studies for the remaining provinces of Zone 3, and include other analyzes of rheological, mechanical, ceramic, and thermal type.

**Key words:** <CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY>, <ARCILLOUS MINERALS>, <BASIC PROPERTIES>, <PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES>, <CHEMICAL COMPOSITION>, <MINERALOGIC COMPOSITION>, <INDUSTRIAL APPLICATIONS>, <CHIMBORAZO (PROVINCE)>.



# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Identificación del Problema

Los minerales, de acuerdo a sus propiedades físicas y químicas, se clasifican en metálicos, no metálicos. Dentro de los minerales no metálicos se encuentran las arcillas, que se caracterizan principalmente por ser constituyentes esenciales de gran parte de los suelos.

Desde un punto de vista utilitario las arcillas han sido los materiales preferidos por el hombre para la manufactura de utensilios que sirven en la cocción, almacenamiento, y consumo de alimentos. Actualmente, de acuerdo al Reporte 2016 de Minería, publicado por el Banco Central del Ecuador, el uso de las arcillas se limita en las aplicaciones tradicionales como la alfarería, además de baldosas, así como pisos de mosaico y embaldosados.

La falta de datos actualizados de las arcillas en el Ecuador es un inconveniente, puesto que, desde el inventario realizado por la Cooperación Alemán-Ecuatoriana durante las décadas de los ochenta y noventa, no existe ninguna información actualizada; por lo que surge la necesidad de ampliar el conocimiento de las características de minerales arcillosos en la provincia de Chimborazo.

### 1.2 Justificación del Proyecto

Debido a que el campo de la minería está empezando a explotarse en nuestro país, es necesario ampliar los conocimientos con respecto a la riqueza mineral de la provincia de Chimborazo, empezando por las arcillas, puesto que han sido utilizados desde la pre-historia.

La falta de conocimiento actualizado sobre las características físicas y químicas de las arcillas hace que todavía en la actualidad se sigan limitando básicamente para procesos comunes como alfarería, cerámica, etc.

El objetivo de esta investigación es conocer más acerca de los minerales arcillosos, con el fin de potencializar su uso a nivel industrial; esto permitirá darle un mayor valor agregado según la aplicación que se le destine. Adicional a lo anterior, los resultados servirán como base para futuras investigaciones.

## **1.3 Objetivos**

### ***1.3.1 Objetivo General***

- Caracterizar las propiedades fisicoquímicas, tales como, contenido de agua, densidad aparente y química superficial, de minerales arcillosos de la Provincia de Chimborazo y sus potenciales aplicaciones industriales.

### ***1.3.2 Objetivos Específicos***

- Determinar las características fisicoquímicas de minerales arcillosos provenientes de los principales afloramientos y frentes de explotación de la provincia de Chimborazo.
- Establecer, en base al estudio de publicaciones científicas y normas técnicas, las principales aplicaciones industriales para los diferentes tipos de minerales arcillosos de la provincia.
- Realizar un análisis comparativo de los resultados de la caracterización fisicoquímica respecto a los requerimientos para diferentes aplicaciones industriales, según publicaciones científicas y normas técnicas.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la Investigación

La provincia de Chimborazo se encuentra ubicada en la región Sierra-Centro del Ecuador. Está limitada de la siguiente manera: al norte con la provincia de Tungurahua, al sur con las provincias de Cañar y Azuay, al Este con la provincia de Morona Santiago, y al oeste con las provincias de Bolívar y Guayas (Uribe, 2015, pp.40-41).

Existen varias reservas de minerales no metálicos arcillosos, los cuales son utilizados principalmente por las industrias cerámicas y ladrilleras de la provincia. Estos yacimientos están constituidos por depósitos de ceniza volcánica, con componentes feldespáticos y materiales amorfos, los cuales son de color rojizo al momento de realizar la quema (Uribe, 2015, p.41).

En el año de 1997 Salomón Brito V, Juan Sosa S y Oscar León C realizaron el inventario de materias primas no metálicas de la Provincia de Chimborazo, que consta en el Tomo XV del documento “Inventario de Materias Primas No Metálicas en el Ecuador” publicado por la Dirección de Investigación Geológica de la Corporación de Desarrollo e Investigación Geológico-Minero-Metalúrgica, CODIGEM, actualmente INIGEMM. En dicho informe mencionan 11 ocurrencias de minerales no metálicos de tipo arcilla esmectítica, arcilla para cerámica, lutitas; cuyas tarjetas de caracterización e información general se incluyen en el Anexo A.

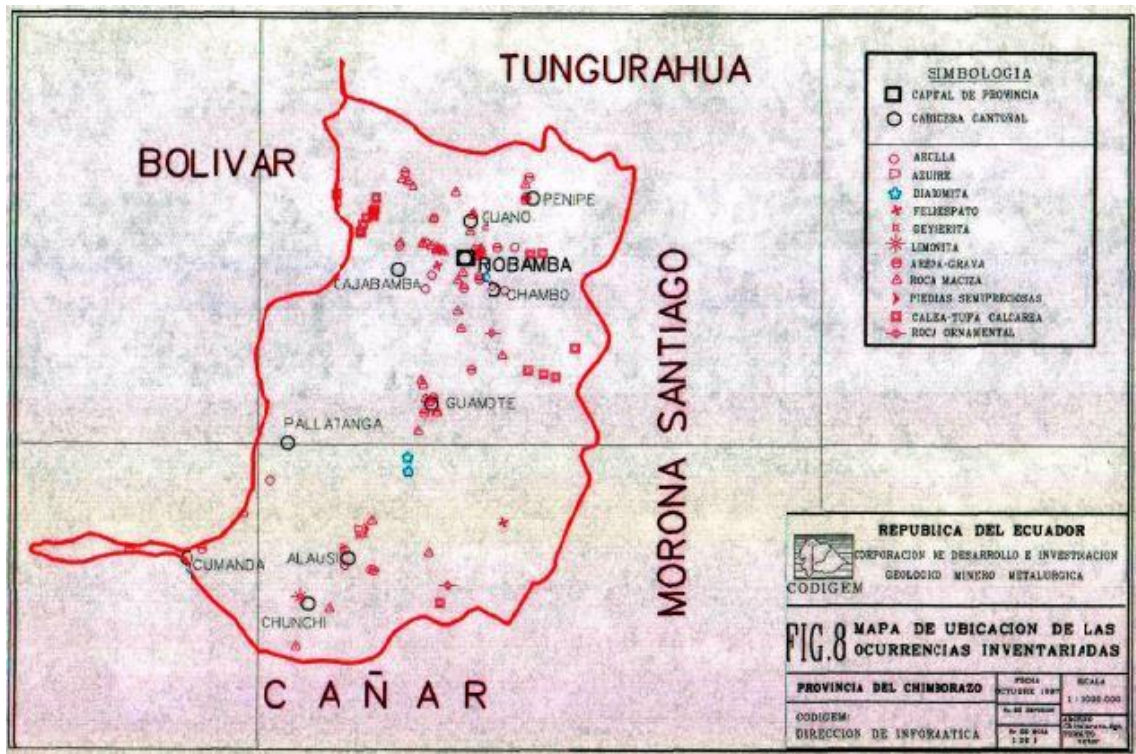
**Tabla 1-2:** Minas y afloramientos de minerales arcillosos en la provincia de Chimborazo, en el año 1997

Nombre Mina o Afloramiento	Tipo de Arcilla	Cantón	Sector	Coordenadas UTM		Estado	Uso
				X	Y		
Cacha	Esmectítica	Riobamba	Cacha	755,8	9811,3	Explotado	Cerámica (Ecuacerámica)
Cacha-Chuyuq	Esmectítica	Riobamba	Cacha Chuyuq	754,7	9808,5	Explotado	Cerámica (Ecuacerámica)
Santiago	Esmectítica	Pallatanga	Santiago	724,1	9770,8	Explotado	Cerámica (Ecuacerámica)
La Pampa	Arcilla para cerámica roja, común	Chambo	La Pampa	770,5	9808,3	Explotado	Tradicional
Chambo	Arcilla para cerámica roja, común	Chambo	Chambo	768	9809,2	Explotado	Tradicional
El Toldo	Arcilla para cerámica roja, común	Riobamba	El Toldo	772,4	9816,8	Explotado	Tradicional
Pircabamba	Arcilla para cerámica roja, común	Alausí	Pircabam ba	739,3	9757,3	Explotado	Tradicional
Patarata	Arcilla para cerámica roja, común	Alausí	Patarata	739,3	9754,3	Explotado	Tradicional
La Moya 2	Arcilla para cerámica roja, común	Alausí	La Moya	744,2	9753,3	Explotado	Tradicional
Celad	Arcilla para cerámica roja, común	Guano	San Andrés	756,3	9822,5	Explotado	Tradicional
Licán	Ceniza volcánica	Riobamba	Loma Cushcud	754,8	9817,5	Explotado	Fabricación Clinker

**Fuente:** CODIGEM, 1997. (Inventario de Materias Primas No Metálicas en el Ecuador, Tomo XV: Provincia de Chimborazo.)

**Realizado por:** Danilo Jara. 2017.

En las conclusiones del informe los autores resaltan el uso tradicional de las arcillas en tejas, maceteros y ladrillos, además indican su aplicación industrial en: fabricación de baldosas para piso y pared.



**Figura 1-2:** Ubicación de las minas o afloramientos de arcilla en la provincia de Chimborazo, año 1997.

**Fuente:** (CODIGEM, 1997, pág. 32), Inventario de Materias Primas No Metálicas en el Ecuador, Tomo XV: Provincia de Chimborazo.

Actualmente la Agencia de Regulación y Control Minero (ARCOM), en su base de datos tiene registradas 4 concesiones o frentes de explotación de arcillas, de las cuales cuenta únicamente con información de ubicación y probable tipo de mineral no-metálico existente.

**Tabla 2-2:** Concesiones de arcilla registradas en la ARCOM - Chimborazo

Nombre Concesión	Código Arcom	Cantón	Propietario/Titular	Coordenadas UTM		Estado
				X	Y	
Pallatanga	130	Pallatanga	Explominas S.A	723789.00	9771090.00	Explotación- Exploración
Sablog	201001	Guamote	María Yolanda Ilbay Guisñan	753200.00	9787800.00	Explotación- Exploración
Naute (Acumulada)	200998	Guamote	María Yolanda Ilbay Guisñan	751300.00	9775600.00	Explotación- Exploración
Tanquis 50	201018	Guamote	Explosur C.A	753700.00	9788400.00	Explotación- Exploración

**Fuente:** ARCOM, 2017. (Concesiones de Arcilla.)

**Realizado por:** Danilo Jara. 2017.

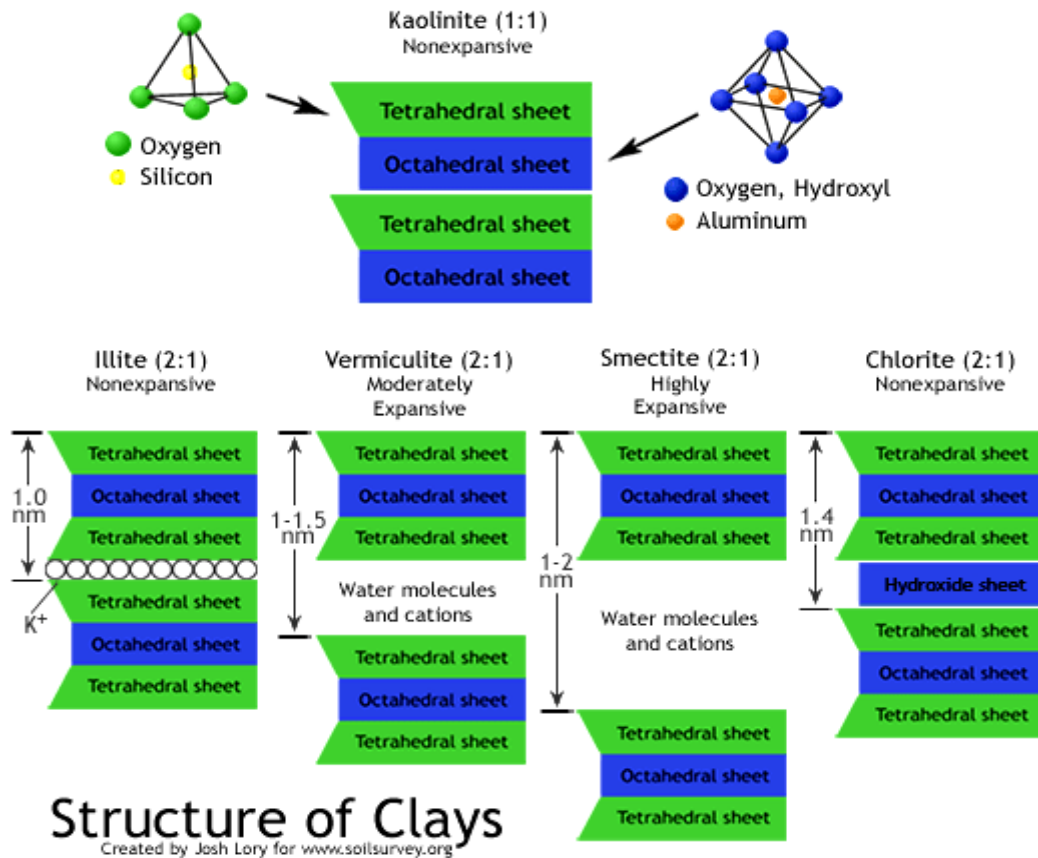
## **2.2 Marco Conceptual**

### **2.2.1 Arcilla**

#### *2.2.1.1 Definición*

Las arcillas son minerales no metálicos producidos como resultado de la meteorización de la roca madre por agentes fisicoquímicos. Se las considera como aglomeraciones naturales con un tamaño de grano fino: < 1 μm según los químicos que estudian los coloides, < 2 μm según los mineralogistas e investigadores del suelo, y < 4 μm según los sedimentólogos. Están formadas por minerales arcillosos, generalmente silicatos de alúmina hidratados con iones de Mg, Fe, K y Na, seguidos de otros minerales como el cuarzo, feldespatos, carbonatos, etc (Díaz Rodríguez y Torrecillas, 2002: pp.459-460).

Las arcillas, al igual que el resto de filosilicatos, presentan una estructura basada en el apilamiento de planos de oxígeno e hidroxilos. Los grupos tetraédricos  $(\text{SiO})_4^{4-}$  se unen compartiendo tres de sus cuatro oxígenos con átomos vecinos formando capas, de extensión infinita y fórmula  $(\text{Si}_2\text{O}_5)^{2-}$ , que constituyen la unidad fundamental de los filosilicatos. En ellas los tetraedros se distribuyen formando hexágonos. El silicio central del tetraedro puede estar, en parte, sustituido por  $\text{Al}^{3+}$  o  $\text{Fe}^{3+}$ . A pesar de que las arcillas contienen filosilicatos, también pueden existir otros componentes dentro de su composición, los cuales se encargan de su plasticidad y endurecimiento cuando se secan o queman (García y Suárez, 2004: p.4 ;Guggenheim y Martin, 1995: p.255).



**Figura 2-2:** Estructura de las arcillas.

Fuente: (Josh Lory), [www.soilsurvey.org](http://www.soilsurvey.org).

La arcilla es un material de origen natural compuesto por minerales de grano muy fino; generalmente es plástica al entrar en contacto con una cantidad adecuada de agua y dura cuando se seca o quema a elevadas temperaturas (Guggenheim y Martin, 1995: p.255).

El término arcilla no recae sobre su composición química o mineralógica, sino, hace referencia a una mezcla de diversas especies minerales, que se relacionan con la composición química y mineralógica de la roca matriz y el proceso de meteorización que le ha afectado (Kingery W.D. et al., 1976; Mari E.A., 1998).

Desde una perspectiva económica, las arcillas son un grupo de minerales industriales con diferentes características mineralógicas, y genéticas, con múltiples propiedades tecnológicas y aplicaciones (García y Suárez, 2004: p.3).

### 2.2.1.2 Propiedades Físico – Químicas

Las aplicaciones industriales más sobresalientes de estos minerales dependen de sus propiedades físico-químicas. Dichas propiedades derivan principalmente de:

- ✓ Su extremadamente pequeño tamaño de partícula (menor a 2  $\mu\text{m}$ ).
- ✓ Su morfología laminar (filosilicatos).
- ✓ Las sustituciones isomórficas, que dan lugar a la aparición de carga en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio inter-laminar (Alvarez Blanco, 2005, p.1).

A continuación se hace una breve descripción de las propiedades más sobresalientes de las arcillas:

- **Superficie Específica**

También conocida como área superficial, comprenden la suma del área de la superficie externa y el área de la superficie interna de las partículas que constituyen dicho mineral por unidad de masa, expresada en  $\text{m}^2/\text{g}$ . Esta propiedad es elemental para usos industriales, en donde la interacción sólido-fluido depende directamente de la misma (Alvarez Blanco, 2005, p.1).

A continuación se presentan algunos ejemplos de superficies específicas de ciertas arcillas.

**Tabla 3-2:** Superficie específica de algunos tipos de arcilla

<b>Arcilla</b>	<b>Superficie Específica (<math>\text{m}^2/\text{g}</math>)</b>
Caolinita de elevada cristalinidad	Hasta 15
Caolinita de baja cristalinidad	Hasta 50
Halloisita	Hasta 60
Illita	Hasta 50
Montmorillonita	80-300
Sepiolita	100-240
Paligorskita	100-200

**Fuente:** Alvarez, 2005. (Lección 3.- Cerámicas/Propiedades de las Arcillas.)

**Realizado por:** Danilo Jara. 2017



- **Tamaño de Partícula**

Las arcillas se caracterizan por tener un tamaño de partícula propio, esto es lo que le permite diferenciarse de otros minerales no metálicos. Esta propiedad no solo depende de la dimensión de sus partículas, sino también del resto de materiales que provienen de la roca madre, o que se adhieren durante su desplazamiento o durante el proceso de sedimentación (Morales Güeto, 2005, p.59).

Las partículas de las arcillas son de dimensiones extremadamente pequeñas, es por esta razón que poseen una gran superficie. Debido a su tamaño muy fino, las arcillas pueden mantenerse suspendidas en el agua durante un cierto tiempo, incluso cuando están en reposo, a este fenómeno se le conoce como fluidificación (Alvarez Blanco, 2005, p.3; Morales Güeto, 2005, p.60).

Su estructura laminar y tamaño menor a 2 micras, influyen en la plasticidad de las arcillas debido a que se produce un fenómeno de retención de agua con aumento de volumen, esto hace que actúen como lubricante haciendo que las partículas resbalen entre sí. El aumento de volumen puede darse hasta un 200% de su tamaño inicial (Alvarez Blanco, 2005, p.3).

- **Capacidad de Intercambio Catiónico (CEC)**

Es la capacidad de intercambiar los iones ubicados en la superficie exterior de sus cristales, en los espacios inter-laminares, o en los espacios interiores de las estructuras, por otros existentes en soluciones envolventes. También se puede definir como la suma de todos los cationes de cambio que un mineral puede adsorber a un determinado pH. La capacidad de intercambio catiónico se mide en meq por cada 100 g de arcilla (Alvarez Blanco, 2005, p.2).

Algunos ejemplos de capacidades de intercambio catiónico de algunas arcillas se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 4-2:** Capacidades de intercambio catiónico de algunos tipos de arcilla

Arcilla	Capacidad de Intercambio Catiónico
Caolinita	3 - 5
Halloisita	10 – 40
Illita	10 – 50
Clorita	10 – 50
Vermiculita	100 – 200
Montmorillonita	80 – 200
Sepiolita - Paligorskita	20 - 35

Fuente: Alvarez, 2005. (Lección 3.- Cerámicas/Propiedades de las Arcillas.)

Realizado por: Danilo Jara. 2017

- **Capacidad de Absorción**

Ciertas arcillas tienen aplicación en el campo de los absorbentes de líquidos como el agua u otras moléculas. Este proceso tiene lugar en los espacios inter-laminares de las Esmectitas o en los canales estructurales de la Sepiolita y Paligorskita (Alvarez Blanco, 2005, p.2).

La capacidad de absorción de las arcillas se relaciona de manera directa con las características que le dan la textura a este mineral, estas son la superficie específica y porosidad. La absorción ocurre cuando el sorbato, generalmente el agua, entra en las capas internas, vacíos o en los poros del sorbente (Alvarez Blanco, 2005, p.2; The Clay Mineral Society, 2015, p.4) .

- **Hidratación e Hinchamiento**

La hidratación de los espacios inter-laminares es una propiedad característica de las Esmectitas; ésta ocurre con el tipo de catión de cambio presente. El grado de hidratación está ligado a la naturaleza del catión inter-laminar y a la carga de la lámina (Alvarez Blanco, 2005, p.2).

La absorción de agua en los espacios inter-laminares ocasiona la separación de las láminas y da como resultado el hinchamiento. Este proceso depende del balance entre la atracción electrostática catión-lámina y la energía de hidratación del catión. A medida que el agua se interpone entre las capas y la separación entre las láminas aumenta, las fuerzas que predominan son las de repulsión electrostática; esto contribuye a que, durante el proceso de hinchamiento, se separen por completo unas láminas de otras (Alvarez Blanco, 2005, p.3).

Es así que, cuando el catión laminar es el sodio (Na), las Esmectitas tienen una gran capacidad de hinchamiento, pudiendo llegar a producirse la disociación total de sus cristales individuales. En el caso de que el calcio (Ca) o magnesio (Mg) estén como cationes, la capacidad de hinchamiento será menor (Alvarez Blanco, 2005, p.3).

- **Tixotropía**

Es un fenómeno que consiste en la pérdida de resistencia de un cuerpo al amasarlo, y de su posterior recuperación con el tiempo. Las arcillas tixotrópicas cuando son amasadas se vuelven líquidas, pero al dejarlas en reposo recuperan su cohesión y comportamiento sólido (Alvarez Blanco, 2005, p.3).

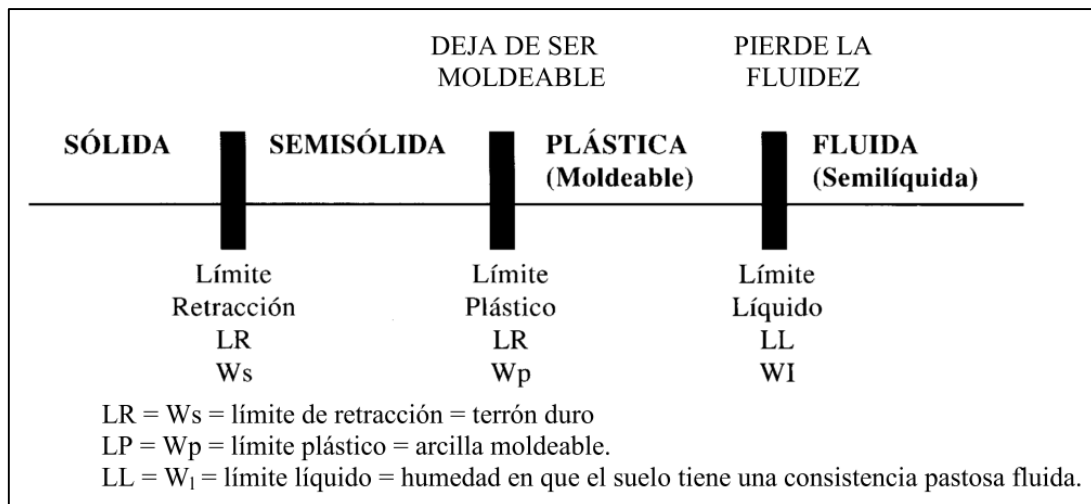
Para que una arcilla tixotrópica muestre este comportamiento deberá poseer un contenido de agua cercano al límite líquido. Por el contrario, en torno al límite plástico no existe posibilidad de comportamiento tixotrópico (Alvarez Blanco, 2005, p.3).

- **Plasticidad**

Se define como la capacidad de un material de deformarse sin agrietarse ante un esfuerzo mecánico, conservando su deformación al retirarse las cargas. Ésta depende esencialmente del contenido de agua, del tamaño de partícula y de la estructura laminar. La elevada plasticidad de las arcillas está relacionada con las propiedades antes mencionadas y alta capacidad de hinchamiento (Alvarez Blanco, 2005, p.3).

Este comportamiento se debe a que el agua presente en la muestra forma una capa alrededor de las partículas laminares, produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce una fuerza sobre ellas (Alvarez Blanco, 2005, p.3).

La plasticidad puede determinarse con los Límites de Atterberg: Límite Líquido, Límite Plástico y Límite de Retracción. Estos límites marcan una separación arbitraria entre los 4 estados o modos de comportamiento de un suelo: sólido, semisólido, plástico y semilíquido o viscoso (García y Suárez, 2004: pp-10-11; Jimenez, et al., 1975).



**Figura 3-2:** Límites de atterberg

**Fuente:** (Alvarez, 2005, pag 5). Lección 3.- Cerámica/Propiedades de las Arcillas.

- ✓ El límite líquido (LL); es el paso del estado líquido al plástico y se mide por la cantidad de agua que contiene el material en el instante que pierde la fluidez de un líquido denso.
- ✓ El límite plástico (LP); es el paso del estado plástico al semisólido y se mide por la cantidad de agua que contiene el material en el instante en el que pierde la plasticidad y deja de ser moldeable.
- ✓ El límite de retracción; mide la cantidad de agua que contiene la pasta al alcanzar el estado que cesa la disminución de volumen que acompaña a la desecación.

### 2.2.2 Tipos de Arcilla

Debido a la gran variedad de minerales arcillosos que existen en la naturaleza, resulta difícil proponer una clasificación de acuerdo a las exigencias técnicas para su empleo práctico; no obstante, existen varios criterios para clasificar los diferentes tipos de arcilla. Estos pueden ser: Por su origen geológico, por su composición química, por su plasticidad, por su estructura cristalográfica (Morales Güeto, 2005, p.72; Vázquez Malagón, 2005, p.38).

### *2.2.2.1 Por su Origen Geológico*

- **Arcillas Primarias o Residuales**

Son aquellas que se forman en el lugar de origen de la roca madre, ya sea a nivel superficial o en la profundidad de la capa terrestre. Aunque la mayoría de arcillas estén formadas por caolinita y no contengan otros minerales arcillosos; el caolín es el único tipo de arcilla que pertenece a este grupo (Vázquez Malagón, 2005, p.38).

- **Arcillas Secundarias o Sedimentarias**

Se caracterizan por ser arrastradas y depositadas lejos de la roca madre de la cual provienen, sedimentándose por acción del agua. Esto hace que las partículas de la arcilla sean demasiado finas generando así una gran plasticidad (Vázquez Malagón, 2005, p.38).

### *2.2.2.2 Por Su Plasticidad*

- **Arcillas Grasas**

Son aquellas que al manipularse presentan un tacto graso; y debido al tamaño de partícula fino tienen una alta plasticidad. Esto hace que absorban grandes cantidades de agua para poder ser trabajadas, dando como resultado un fuerte encogimiento (Vázquez Malagón, 2005, p.38).

- **Arcillas Magras**

Son todo lo contrario a las arcillas grasas. Su tamaño de grano no es tan fino, por ende su plasticidad es baja, y por lo tanto su encogimiento es menor (Vázquez Malagón, 2005, p.38).

### *2.2.2.3 Por Su Estructura Cristalográfica*

Esta clasificación hace referencia a los principales y más abundantes grupos de minerales arcillosos conocidos como silicatos.

- **Grupo de las Caolinitas**

Son el resultado de la meteorización del feldespato ortoclasa proveniente del granito y se caracterizan por presentarse en suelos compuestos de sedimento. Es el principal componente de la porcelana, su fórmula química general es:  $Al_2 [Si_2O_5] (OH)_4$  (Mukherjee y Ghosh, 2013: p.41).

Las arcillas caoliníticas en su estado natural, o al ser tratadas, o después de ser cocidas son blancas o casi blancas. Se presentan en forma de pequeñas hojuelas hexagonales, y su estructura consiste en una distribución de dos láminas de sílice y gibsita fuertemente enlazadas. Sus principales usos se dan en la elaboración de cerámica blanca, papel, caucho, pinturas, entre otros (Díaz Rodríguez y Torrecillas, 2002: p.464).

Algunos de los minerales que pertenecen a este grupo son: Dickita, Nacrita, Halloisita y Metahallosita (Díaz Rodríguez y Torrecillas, 2002: p.464).

- **Grupo de las Esmectitas o Montmorillonitas**

Esmectita, es un nombre genérico que recibe el grupo de filosilicatos cuya composición corresponde a la de silicatos aluminicos y/o magnésicos hidratados de Na, Ca, Mg, Fe, y Li. Son el resultado de la meteorización del feldespato plagioclasa ubicado principalmente en los depósitos de ceniza volcánica. La fórmula base de este grupo es  $Al_4Si_8O_{20}(OH)_4.nH_2O$  (Besoain, 1985, p.384; López González, 2000, p.22).

Las Esmectitas son minerales expansibles; poseen un color variable: desde blanco a castaño, pardo, pardo-verdoso a verde azulado. Generalmente presentan formas de escamas u hojuelas muy finas, con tamaño de partícula muy pequeño (100 - 200 Å), esto hace que se les confiera un área superficial grande cuando se dispersan. Debido a su carga, capacidad de cambio catiónico (80 – 150 meq en 100g de arcilla) y su gran área superficial; presentan un elevado grado de sorción frente a ciertas sustancias como: agua, aceite, productos químicos, entre otros (Besoain, 1985, p.384; López González, 2000, pp.25-26).

Algunas de las Esmectitas más importantes de este grupo son: Montmorillonita, Nontronita, Beidelita, Sauconita, Saponita, y la Hectorita (Besoain, 1985, p.384).

- **Grupo de las Illitas**

Las Illitas son el resultado de la meteorización de las micas; aunque poseen aspectos similares a las micas blandas, estas se caracterizan por tener menos potasio y más agua en su composición. Son minerales no expansibles, de composición química variable, cuya fórmula química es:  $(\text{KH}_3\text{O})(\text{AlMgFe})_2[(\text{AlSi})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2]\text{H}_2\text{O}$  (Besoain, 1985, p.114; Ibáñez Asensio, et al., S/N: p.8).

Las Illitas son minerales de color variable: desde gris-blanco a plateado-blanco, gris verdoso, u otras tonalidades. Se presentan en forma de pequeñas hojuelas, cuyo tamaño de partícula es de aproximadamente 2  $\mu$ . Además su densidad oscila de 2.6 - 2.7 g/mL (Besoain, 1985, p.427; Ibáñez Asensio, et al., S/N: p.8).

Las Illitas, a pesar de tener una carga elevada, presentan bajos niveles en su capacidad de intercambio catiónico (CIC), estos valores oscilan frecuentemente en un rango de 20 – 50 meq por cada 100 g de arcilla. Sin embargo, cuando ocurre que su capacidad de intercambio catiónico (CIC) supera los 10 – 15 meq por cada 100 g de arcilla, esto se debe a la presencia de ciertas capas expansibles; probablemente Esmectitas (Besoain, 1985, p.419).

Dentro del grupo de las Illitas, las especies más sobresalientes son: Illita, Glauconita, y la Wonesita (Mukherjee y Ghosh, 2013: p.27).

- **Grupo de las Vermiculitas**

Son minerales que se originan en condiciones hidrotermales por alteración de cristales de biotita o flogopita y minerales como: serpentinas, talco, algunos feldespatos, inosilicatos o cloritas. Se muestran como cristales de gran tamaño o masas de aspectos semejantes a las micas, y exhiben propiedades de plasticidad con morfología muy parecida a la de las Illitas (Besoain, 1985, p.429).

La vermiculita es una arcilla expansible cuya fórmula química general es:  $(\text{Mg, Ca, Na})_{0.6 - 0.9}(\text{Mg, Fe}^{3+}, \text{Al})_6[(\text{Si,Al})_8\text{O}_{20}](\text{OH})_4.n\text{H}_2\text{O}$ . Es una arcilla poco estable que se hidrata, no es pegajosa ni plástica como las Montmorillonitas. Poseen una capacidad de intercambio catiónico (CIC) que varía entre 100 – 150 meq por cada 100 g de arcilla y una capacidad de retención de iones  $(\text{NH}_4)^+$  y  $\text{K}^+$ , su superficie específica oscila entre 600 – 800  $\text{m}^2/\text{g}$  (Alvarado et al., 2014: p.115; Mukherjee y Ghosh, 2013: p.43).

- **Grupo de la Paligorskita/Attapulgita.**

Este grupo de minerales que se encontró por primera vez en la zona minera Palygorsk localizada en los Urales (Rusia). La fórmula química general de este grupo es  $\text{Si}_8 \text{Mg}_5 \text{O}_{20} (\text{OH})_2 (\text{OH}_2)_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (Besoain, 1985, p.483; Reyes Jaramillo, 2000, p.32).

La paligorskita es un mineral fibroso altamente poroso que puede flotar en el agua. Son de diversos colores: blanco, amarillento o verdoso. Su estructura básica consiste en cadenas dobles de Silicio-Oxígeno (Si-O), unidas al final por los iones oxígeno. Presenta una dureza de 2 - 2.5 en la escala de Mohs y su densidad oscila de 2.1 - 2.3 g/ml. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es de 18 – 30 meq por cada 100 g de arcilla y su área superficial oscila entre 250 - 400 m<sup>2</sup>/g (Besoain, 1985, pp.487-501; García García, 1997, p.8).

- **Grupo de las Sepiolita.**

Tradicionalmente se les conoce como “Espuma de Mar” o “Talcum Plasticum”; son similares a la paligorskita con la diferencia de que estas presentan cadenas triples de Silicio-Oxígeno (Si-O). Su fórmula química general es:  $(\text{Si})_{12} (\text{Mg})_9 \text{O}_{30} (\text{OH})_6 (\text{OH}_2)_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} / (\text{Si})_{12} (\text{Mg})_8 \text{O}_{30} (\text{OH})_4 (\text{OH}_2)_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  (Besoain, 1985, p.495).

Las Sepiolitas son porosas, de color blanco terroso; presentan una textura jabonosa cuando están húmedas. Poseen una dureza cuyo valor va de 2 a 2.5 en la escala de Mohs y una densidad de 2.0 g/ml. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) de este mineral fluctúa entre 20 – 25 meq por cada 100 g de arcilla, su área superficial varía entre 300 – 400 m<sup>2</sup>/g (Besoain, 1985, pp.497-501).

### ***2.2.3 Análisis Para Caracterización de Arcillas***

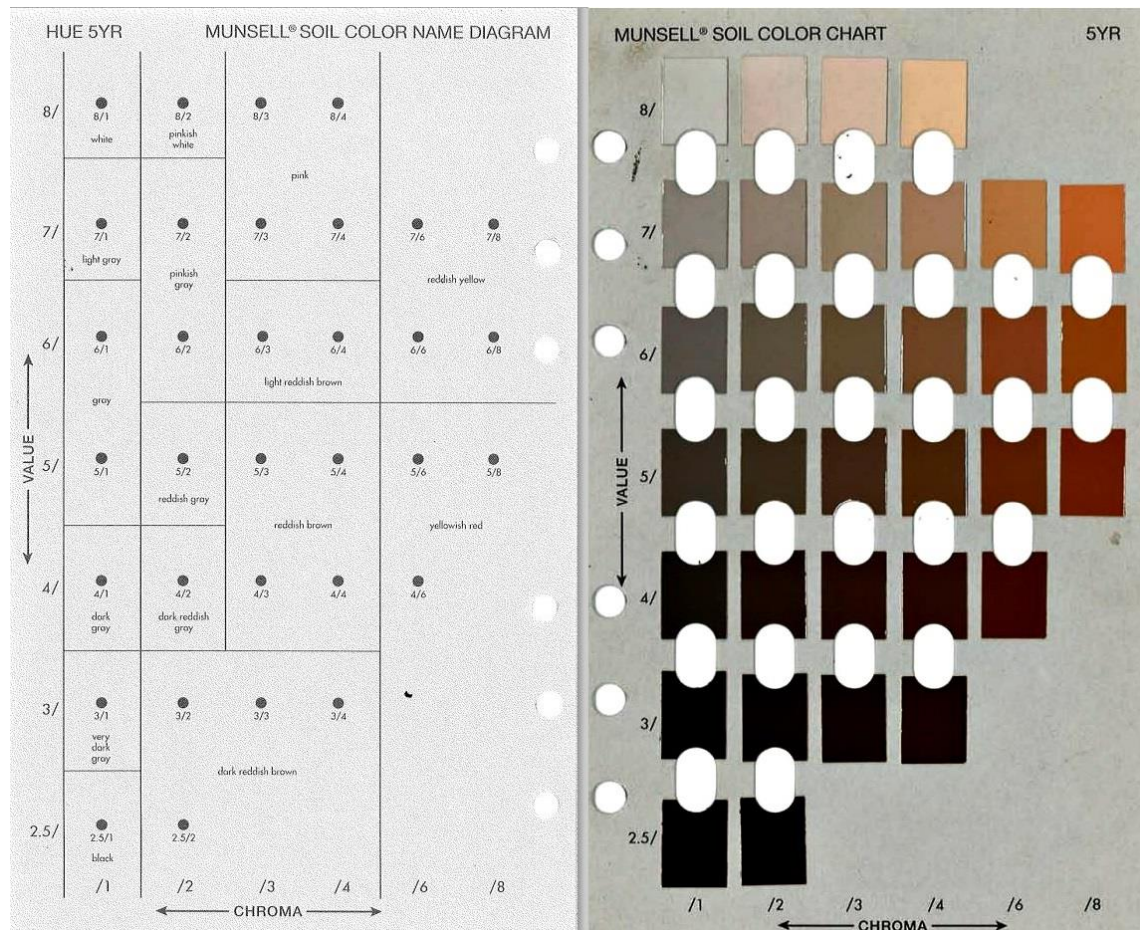
#### ***2.2.3.1 Caracterización Física***

##### **Color**

El color es una de las características morfológicas más importantes y fáciles de determinar en los suelos y arcillas. Tiene una estrecha relación con los componentes sólidos presentes, la materia orgánica, la textura, y la composición mineralógica; siendo los metales de transición los encargados de dotar esta característica, la que es modificada tanto por el metal en particular como por su estado de oxidación (Domínguez et al., 2012: pp.142-143).



La determinación del color de los suelos o arcillas se realiza a través del sistema de notación o tablas de Munsell que incluyen todos los matices del rango visible del espectro electromagnético. La tabla de Munsell tiene una estructura de matriz compuesta de láminas coloreadas que corresponde a un matiz específico, el que aparece en la parte superior derecha de cada página. Las láminas coloreadas están ordenadas por pureza ascendente de izquierda a derecha, y por claridad descendente de arriba hacia abajo (Domínguez et al., 2012: p.145).



**Figura 4-2:** Tabla munsell

**Fuente:** (Jordán López, 2014), Munsell: Soil Color Chart

## Textura

La textura es una propiedad física permanente que se presenta en los minerales arcillosos, y suelos cuyos componentes son: arena, limo y arcilla. La textura define la relación porcentual de los grupos de partículas menores a 2 mm de diámetro. Algunas de las características o propiedades de los suelos y minerales arcillosos que dependen de la textura son: la capacidad de intercambio de iones, la retención de agua, la distribución de poros, la estructura, entre otros (Pellegrini, 2014, p.3).

Existen varios métodos para determinar la textura de los suelos y arcillas, estos se basan en la separación de las partículas por su tamaño, y generalmente se realizan con técnicas o ensayos de laboratorio como: tamizado, sedimentación, microscopía electrónica, sin embargo el mayor problema que presentan estas técnicas es la separación de impurezas o agregados de las muestras. (Pellegrini, 2014, p.7).

La textura también se puede determinar de forma manual o al tacto. En el caso de los suelos la arena se presenta abrasiva y con gránulos identificables, el limo se muestra similar al talco o harina y la arcilla, cuando está húmeda, se presenta similar a masilla o plastilina. Para determinar la textura al tacto se debe tomar una pequeña porción de material con la mano y agregar lentamente agua mientras se amasa con la otra mano hasta que comiencen a expresarse las propiedades de la consistencia en húmedo y mojado (Pellegrini, 2014, p.11). Los tipos de textura se presentan en la Tabla 7-3 del Capítulo III: Metodología.

### **Granulometría**

El análisis granulométrico tiene la finalidad de separar los diversos materiales o impurezas presentes en una muestra de arcilla. Este ensayo se lo realiza para determinar el tamaño de partícula de los minerales arcillosos; generalmente se lo desarrolla después del proceso de reducción de tamaño del material a través de trituradores o molinos (Morales Güeto, 2005; p.104).

El equipo utilizado para esta prueba se compone de una torre de tamices sobrepuestos en orden decreciente, el cual opera con un motor vibratorio. Este análisis consiste en hacer pasar la muestra a través de los tamices ordenados decrecientemente de acuerdo a su luz de malla; al final de la prueba se pesan los residuos sobre los diferentes tamices para determinar el porcentaje de retenidos en cada uno. Los resultados de este análisis se pueden expresar gráficamente ubicando en el eje de las abscisas el valor correspondiente a la luz de malla, y situando en el eje de las ordenadas el porcentaje de retenidos de muestra de cada tamiz (Morales Güeto, 2005; p.104).

#### *2.2.3.2 Caracterización Química*

### **Humedad**

La determinación del contenido de humedad de una muestra es un proceso lento y no por la complejidad de su determinación, sino por el tiempo que requiere el obtener el resultado de este ensayo. El tiempo mínimo que requiere una muestra para que esté completamente seca y mantenga un peso constante es de aproximadamente 12 horas (Gómez y Vidal, 2007: p.30).

La humedad se determina a través del secado de muestras en un horno ventilado a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ , hasta obtener una masa constante entre dos pesadas sucesivas, separadas por el intervalo de una hora. Generalmente el peso constante de un suelo o arcilla se obtiene en un periodo de 12 a 24 horas (Gómez y Vidal, 2007: p.30).

## **pH**

Es la acidez de una arcilla disuelta en agua, medida por la inmersión de un electrodo de vidrio en una suspensión de 100 g de muestra en 250 mL de agua destilada hervida, agitada eléctricamente durante 10 minutos a  $25^\circ\text{C}$  (De Pablo, 1964; p.68).

## **Composición Mineralógica**

El estudio mineralógico analiza tanto la fracción arcillosa como la no arcillosa de una muestra, las fracciones se separan por suspensión en agua alcalina y asentamiento. La fracción pesada (arcillosa) es de interés por su mineralogía, composición, forma de gránulos y cristales, tamaño, etc. Normalmente se estudia por microscopía simple, petrografía o rayos X, siendo la técnica más utilizada la difracción de rayos X. Para este estudio las técnicas menos utilizadas son análisis térmico diferencial y la microscopía electrónica debido a que las arcillas son extremadamente sensibles a cambios en su ambiente y es ideal mantenerlas en condiciones próximas a las de su estado natural (De Pablo, 1964; p.67).

### ***2.2.4 Aplicaciones Industriales de las Arcillas***

Tradicionalmente las arcillas han sido consideradas como un material de uso cerámico, siendo esta la principal rama de estudio. Sin embargo, existe una gran variedad de productos o procesos industriales dentro de los cuales requieren un material inerte, económico, estable bajo condiciones específicas y que debido a su naturaleza física y química produzca cambios importantes en un proceso (De Pablo, 1964, p.61).

La aplicabilidad de las arcillas en una industria en particular depende de las propiedades características presentes en el mineral arcilloso. De acuerdo a la aplicación industrial que se le quiera dar a la arcilla, se establece sus requerimientos como: composición mineralógica, composición química ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  o  $\text{SiO}_2$ ), contenido de impurezas, pH, capacidad de hinchazón, resistencia al fuego, tamaño de partícula, entre otras (Mukherjee y Ghosh, 2013: p.114; Wesley, 2014, p.382).

**Tabla 5-2:** Propiedades primarias y secundarias de las arcillas

<b>Propiedades Primarias</b>	<b>Propiedades Secundarias</b>
Composición Química	Composición Granulométrica
Densidad	Capacidad de Absorción/Adsorción
Dureza	Densidad Específica
Propiedades Superficiales	Abrasividad
Color	Comportamiento de Precipitación
Humectabilidad	Comportamiento Reológico

**Fuente:** Savic et al., 2014. (Industrial Application of Clay and Clay Minerals.)

**Realizado por:** Danilo Jara. 2017

Dependiendo de la aplicación y los requisitos para su uso, las arcillas deben poseer ciertas propiedades:

- **Producción de Papel;** requiere un alto índice de blancura y baja abrasividad.
- **Elaboración de Pinturas;** necesita un alto índice de blancura, así como también una gran proporción y dispersión de sus partículas.
- **Elaboración de Plásticos;** sus requerimientos se relacionan principalmente al tamaño de partícula de las arcillas.
- **Fabricación de Cerámica;** demanda una buena capacidad de formación.
- **Producción de Materiales Refractarios;** exige un gran contenido de óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ).

#### 2.2.4.1 Industria Cerámica y de Porcelana

- **Cerámicos**

Los cerámicos son uno de los diversos tipos de materiales que se caracterizan por ser: duros, frágiles, resistentes al calor y a la corrosión. Se producen al moldear la arcilla húmeda, secarla y finalmente cocerla a elevadas temperaturas. Su elevado punto de fusión y refractoriedad facilita su empleo en la elaboración de piezas cerámicas, ladrillos refractarios, revestimientos de hornos, crisoles, etc (Mukherjee y Ghosh, 2013: p.114).

La arcilla comúnmente utilizada en la industria cerámica es la de tipo caolinita, esta debe cumplir con ciertos requerimientos o parámetros dentro de su composición.

**Tabla 6-2:** Requerimientos principales de las arcillas para la elaboración de cerámica

	<b>Rango</b>	<b>Unidad</b>
<b><sup>1</sup>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,6 – 1,5	%
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,6 – 1,2	%
<b>CaO</b>	≤ 0,8	%
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	≥ 30	%
<b>SiO<sub>2</sub></b>	≤ 55	%
<b>LOI</b>	≤ 12	%

Fuente: Savic et al., 2014. (Industrial Application of Clay and Clay Minerals.)

Realizado por: Danilo Jara. 2017

- **Porcelana**

La porcelana es un material cerámico traslucido, generalmente de color blanco, el cual se produce a temperaturas mayores a la de vitrificación (>1400 °C). La porcelana a diferencia del resto de materiales cerámicos es mucho más fina (posee mejores acabados), tiene baja permeabilidad, es resistente, de superficie lisa y vidriosa (Mukherjee y Ghosh, 2013: p.115).

La arcilla utilizada en la elaboración de porcelana debe poseer una baja cantidad de pigmentos fuertes o elementos de transición como: Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu; ya que cuando se encuentran presentes en la red del mineral de arcilla, imparten en ella un color característico y pueden aumentar su opacidad debido a una mayor absorción de luz. Es por esto que la arcilla más utilizada para la producción de una porcelana de buena calidad es la del tipo caolinita (Mukherjee y Ghosh, 2013: p.115).

#### 2.2.4.2 Industria de Polímeros

- **Hule/Caucho**

Las arcillas son empleadas en la formulación de hule natural, hule sintético (copolímeros-butadieno-estireno), neopreno, hule butílico y hules resistentes a grasas (butadieno-acronitrilo). También se utilizan en la elaboración de productos como: suelas, tacones, neumáticos, bandas transportadoras, tuberías, mangueras, juguetes, recubrimiento de alambres, esponjas, artículos caseros, etc (De Pablo, 1964, p.78).

---

<sup>1</sup> Los afloramientos de minerales arcillosos de la provincia de Chimborazo estudiados presentan un contenido de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> menor al 10 %.

Existen dos tipos de arcilla: duras y blandas, que se utilizan en la elaboración de hule debido a sus características físicas y propiedades que imparten al producto. Las arcillas duras son molidas o pulverizadas en seco y clasificadas en aire, mientras que las arcillas blandas son finamente pulverizadas o de preferencia son lavadas y flotadas en agua con o sin la ayuda de surfactantes (De Pablo, 1964, pp.78-79).

**Tabla 7-2:** Características de las arcillas duras y blandas

	<b>Arcillas Duras</b>	<b>Arcillas Blandas</b>
<b>Brillo</b>	76 – 77 %	78 – 88 %
<b>Acidez</b>	4.5 – 5.5	4.5 – 10.5
<b>Residuo en malla 325</b>	0.03 – 0,17 %	0.01 – 0.05 %
<b>Absorción de aceites</b>	34 - 35 mL en 100 g arcilla	28 - 38 mL en 100 g de arcilla

**Fuente:** De Pablo, 1964. (Las Arcillas: Clasificación, Identificación, Usos y Especificaciones Industriales)

**Realizado por:** Danilo Jara. 2017

- **Agentes de Relleno**

Los agentes de relleno son partículas que se introducen en los espacios de las cadenas de carbono e hidrógeno que conforman el caucho, esto con el fin de modificar su resistencia y elasticidad; así como también se encarga de prolongar el periodo de vida de los productos que lo conforman. Las propiedades que determinan si un material puede ser utilizado como agente de relleno son el tamaño de partícula, el área y actividad superficial de sus partículas (Mukherjee y Ghosh, 2013: p.116).

Aproximadamente cada año se utiliza un promedio de 53 millones de toneladas de agentes de relleno en diferentes campos de aplicación como: papel, plástico, caucho, pintura, recubrimientos, adhesivos, sellantes, entre otros (Mukherjee y Ghosh, 2013: p.154).

#### 2.2.4.3 Industria Papelera

El papel es una hoja compuesta de fibras entrelazadas que se obtiene por tratamiento mecánico o químico de la madera, aunque actualmente también se obtiene a partir del bagazo de la caña de azúcar. Por si sola esta hoja no permite los procesos de imprenta, por lo que requiere la adición de ciertos materiales inertes en este caso la arcilla; la cual se inserta y recubre las fibras de celulosa con el fin de producir hojas uniformes, opacas, brillantes, y textura suave (De Pablo, 1964, p.72).

Este material inerte se utiliza de dos maneras:

- 1. Como carga en la pulpa de celulosa;** dentro de los requerimientos para la fabricación de papel, se requiere de un material inerte (arcilla) que no reaccione con la celulosa, se emulsifique fácilmente, sea de bajo costo, baja capacidad de absorción, blanco, y que sea de tamaño de partícula muy fino. El mineral que cumple con estas características son las arcillas caoliníticas (De Pablo, 1964, p.72).
- 2. Como pigmento que recubra las hojas de celulosa;** las arcillas son el pigmento más utilizado, esto se debe la orientación de sus planos basales, tamaño de partícula, facilidad al emulsificarse con diferentes sustancias y relativa pureza (De Pablo, 1964, p.72).

**Tabla 8-2:** Características principales de las arcillas para la elaboración de papel

	<b>Característica</b>	<b>Rango</b>	<b>Unidad</b>
<b>Análisis Químico</b>	SiO <sub>2</sub>	45 – 47	%
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	37 – 40	%
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.30 – 0.60	%
	TiO <sub>2</sub>	0.10 – 1.60	%
	MgO	0.28	%
	CaO	0.10 – 0.40	%
	K <sub>2</sub> O	0 – 1.80	%
	Na <sub>2</sub> O	0 – 0.15	%
	Humedad	0 – 0.10	%
<b>Propiedades Físicas</b>	pH	4 – 7	-----
	Color	Blanco	-----
	Brillo G.E.	80 – 86	%
	Gravedad Específica	2.58	-----
	Densidad Bruta	0.72 – 0.92	g/cm <sup>3</sup>
	Tamaño de Partícula	1.2 – 4.8	μ
	Perdida a 900 °C	12 – 14	%

**Fuente:** De Pablo, 1964. (Las Arcillas: Clasificación, Identificación, Usos y Especificaciones Industriales.)

**Realizado por:** Danilo Jara. 2017

#### 2.2.4.4 Industria de la Fundición

Las piezas metálicas se forman mediante el vertido del metal fundido sobre moldes de arena, más conocidas como arenas de moldeo. Estos moldes están compuestos por sílice (arena cuarcífera), arcilla, agua y otros aditivos los cuales permiten la formación de una masa plástica fácilmente moldeable, que después de secarse y endurecerse, permite el colado del metal fundido (De Pablo, 1964, p.81).

Las arcillas utilizadas en la fabricación de las arenas de moldeo pueden ser: Caolinitas o Montmorillonitas; pero de preferencia se utilizan las Montmorillonitas Sódicas de origen marino por su alta capacidad de hinchamiento. La proporción de arcilla en la mezcla es variable según su mineralogía y propiedades (De Pablo, 1964, p.81).

**Tabla 9-2:** Proporción de arcilla y agua en la producción de arenas de moldeo

<b>Tipo</b>	<b>Arcilla</b>	<b>Agua</b>
Montmorillonita Sódica	4 – 6%	1.5 – 3%
Caolinita Plástica	10 – 12 %	3 – 5 %

**Fuente:** De Pablo, 1964. (Las Arcillas: Clasificación, Identificación, Usos y Especificaciones Industriales.)

**Realizado por:** Danilo Jara. 2017

#### 2.2.4.5 Industria Petrolera

Durante la exploración y explotación de los pozos petroleros, el pozo se mantiene lleno de un fluido viscoso, conocido como fluido o lodo de perforación. Su propósito es extraer la roca cortada, evitar el asentamiento, mantener la presión en el interior, y evitar las filtraciones. Estos fluidos están compuestos por agua, arcilla y barita (De Pablo, 1964, p.83).

La calidad de las arcillas en los lodos de perforación se mide en función de los barriles de lodo de 15 centipoises de viscosidad que se preparan con 1 tonelada de arcilla en agua fresca salada. La arcilla más recomendable para los lodos es la Hectorita, pero, debido a su escasa abundancia no es muy usada, por lo que se emplea la Bentonita Sódica tipo Wyoming puesto que se obtienen lodos de excelente viscosidad y tixotropía (De Pablo, 1964, p.84).

#### 2.2.4.6 Industria Farmacéutica

Las arcillas juegan un papel importante en las ciencias médicas, en la preparación de varios tratamientos; aspecto que se lo conoce como arcillo-terapia. Su principio se basa en la capacidad de absorber y retener sustancias nocivas y tóxicas; además se han observado muy buenos resultados en el tratamiento de trastornos gastrointestinales (Mukherjee y Ghosh, 2013: p.151).

Debido a sus propiedades como elevada área específica, capacidad de absorción, inercia química y baja o nula toxicidad para el paciente; los minerales arcillosos han sido ampliamente utilizados



en la formulación de diversos productos farmacéuticos y cosméticos. En las formulaciones farmacéuticas, las arcillas se utilizan como:

- **Sustancias activas administradas por vía oral:** laxante oral ósmico, antidiarreico, y protectores gastrointestinales.
- **Sustancias activas administradas tópicamente:** protectores dermatológicos y cosméticos.
- **Excipientes:** lubricantes, sistemas de liberación, bases inertes y emulsionantes (Savic et al., 2014: p.391).

Cuando estos productos se administran correctamente proporcionan minerales al cuerpo, que se encargan de aliviar diversas lesiones de la piel como: eccemas, psoriasis, varicela, etc. También sirven para acelerar el proceso de curación de trastornos digestivos como: reflujo ácido, estreñimiento, hinchazón y gases, desintoxicación interna y externa (Savic et al., 2014: p.391).

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 Hipótesis y Especificación de las Variables

##### 3.1.1 Hipótesis

###### 3.1.1.1 Hipótesis General

- Los minerales arcillosos de la Provincia de Chimborazo reúnen las propiedades fisicoquímicas necesarias para potenciales aplicaciones industriales.

###### 3.1.1.2 Hipótesis Específicas

- Los afloramientos y frentes de explotación de la Provincia de Chimborazo disponen de minerales con características fisicoquímicas consistentes con las de minerales arcillosos.
- Existe, al menos, una referencia en publicación científica o norma técnica para cada tipo de mineral arcilloso de la provincia.
- Los minerales arcillosos estudiados cumplen los requerimientos establecidos en publicaciones científicas y normas técnicas, para su aplicación industrial.

#### 3.1.2 Especificación de las Variables

##### 3.1.2.1 Hipótesis Específica I

“Los afloramientos y frentes de explotación de la Provincia de Chimborazo disponen de minerales con características fisicoquímicas consistentes con las de minerales arcillosos”.

- **Variable Dependiente:** Clasificación de los minerales arcillosos estudiados.
- **Variable Independiente:** Características fisicoquímicas de los minerales arcillosos.

### 3.1.2.2 Hipótesis Específica II

“Existe, al menos, una referencia en publicación científica o norma técnica para cada tipo de mineral arcilloso de la provincia”.

- **Variable Dependiente:** Número de publicaciones científicas y normas técnicas pertinentes a los tipos de minerales arcillosos.
- **Variable Independiente:** Composición química de los minerales arcillosos.

### 3.1.2.3 Hipótesis Específica III

“Los minerales arcillosos estudiados cumplen los requerimientos establecidos en publicaciones científicas y normas técnicas, para su aplicación industrial”.

- **Variable Dependiente:** Correlación o cumplimiento de requerimientos para aplicación industrial.
- **Variable Independiente:** Requerimientos o requisitos para aplicación industrial.

### 3.1.3 Matriz de Consistencia

Problema General		Objetivo General		Hipótesis General
¿Qué potenciales aplicaciones industriales tienen los minerales arcillosos de la Provincia de Chimborazo en base a sus propiedades fisicoquímicas?		Caracterizar las propiedades fisicoquímicas, tales como, contenido de agua, densidad aparente y química superficial, de minerales arcillosos de la Provincia de Chimborazo y sus potenciales aplicaciones industriales.		Los minerales arcillosos de la Provincia de Chimborazo reúnen las propiedades fisicoquímicas necesarias para potenciales aplicaciones industriales.
Problemas Específicos.	Objetivos Específicos.	Hipótesis Específicas	Variables Específicas	Método de análisis
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Qué propiedades fisicoquímicas presentan los minerales arcillosos provenientes de los principales afloramientos y frentes de explotación de la provincia de Chimborazo?</li> <li>• ¿Cuáles son las principales aplicaciones industriales, citadas en publicaciones científicas y normas técnicas para los diferentes tipos de minerales arcillosos de la provincia?</li> <li>• ¿En qué medida las características fisicoquímicas de los minerales arcillosos estudiados cumplen los requerimientos en publicaciones científicas y normas técnicas, para su aplicación industrial?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar las características fisicoquímicas de minerales arcillosos provenientes de los principales afloramientos y frentes de explotación de la provincia de Chimborazo.</li> <li>• Establecer, en base al estudio de publicaciones científicas y normas técnicas, las principales aplicaciones industriales para los diferentes tipos minerales arcillosos de la provincia.</li> <li>• Realizar un análisis comparativo de los resultados de la caracterización fisicoquímica respecto a los requerimientos para diferentes aplicaciones industriales, según publicaciones científicas y normas técnicas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los afloramientos y frentes de explotación de la Provincia de Chimborazo disponen de minerales con características fisicoquímicas consistentes con las de minerales arcillosos.</li> <li>• Existe, al menos, una referencia en publicación científica o norma técnica para cada tipo de mineral arcilloso de la provincia.</li> <li>• Los minerales arcillosos estudiados cumplen los requerimientos establecidos en publicaciones científicas y normas técnicas, para su aplicación industrial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Características físicas y químicas de minerales arcillosos.</li> <li>• Clasificación de los minerales arcillosos.</li> <li>• Publicaciones científicas y normas técnicas referentes a los minerales arcillosos identificados.</li> <li>• Composición química de los minerales arcillosos.</li> <li>• Requerimientos o requisitos para aplicación industrial.</li> <li>• Correlación o cumplimiento de requisitos para aplicación industrial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gravimetría</li> <li>• FTIR (química superficial)</li> <li>• XRD (composición mineralógica)</li> <li>• XRF (composición química)</li> <li>• SEM (morfología y tamaño de partícula)</li> <li>• TGA (humedad, cenizas y compuestos volátiles)</li> <li>• Caracterización cualitativa básica</li> </ul>

Realizado por: Danilo Jara. 2017

## **3.2 Tipo y Diseño de la Investigación**

### ***3.2.1 Tipo de Investigación***

- **Por su Ámbito:** Es aplicada.
- **Por su Profundidad:** Es exploratoria-descriptiva-correlativa.
- **Por su Trabajo:** Es bibliográfico, de campo y laboratorio.
- **Por su Proceso:** Es inductiva-deductiva.

### ***3.2.2 Diseño de la Investigación***

El diseño considera un análisis bibliográfico de fuentes científicas y técnicas para definir las características deseables para las diferentes aplicaciones industriales de minerales arcillosos. Una siguiente etapa consiste en el muestreo y análisis fisicoquímicos de cinco muestras de arcillas de minerales arcillosos de diferentes locaciones de la provincia de Chimborazo. En la etapa final se ejecutó un estudio de correlación entre los resultados de la caracterización de los minerales y los requisitos para aplicaciones industriales, dando como resultado una lista de aplicaciones potenciales adicionales a las tradicionales.

## **3.3 Unidad de Análisis**

Muestras de minerales arcillosos de la Provincia de Chimborazo seleccionados en base a una triangulación de información suministrada por la ARCOM e INIGEMM (anteriormente CODIGEM).

## **3.4 Población de Estudio**

Afloramientos y/o frentes de explotación de minerales arcillosos de la Provincia de Chimborazo.

**Tabla 1-3:** Frentes de explotación de minerales arcillosos de la provincia de Chimborazo registrados por la ARCOM-2017

<b>Código ARCOM</b>	<b>Nombre Concesión</b>	<b>Titular</b>	<b>Cantón</b>	<b>Parroquia</b>
130	Pallatanga	Compania de Investigación y Explotación Minera Explominas S.A.	Pallatanga	Pallatanga
201001	Sablog	Ilbay Guisnan María Yolanda	Guamote	Guamote
200998	Naute (Acumulada)	Ilbay Guisnan María Yolanda	Guamote	Palmira
201018	Tanquis 50	Explotación Minera del Sur Explosur C.A.	Guamote	Guamote

**Fuente:** ARCOM, 2017. (Concesiones de Arcilla.)

**Realizado por:** Danilo Jara. 2017

**Tabla 2-3:** Frentes de explotación y afloramientos de minerales arcillosos de la provincia de Chimborazo registrados por el CODIGEM-1997

<b>Nombre del Afloramiento o Mina</b>	<b>Cantón</b>	<b>Parroquia</b>	<b>Sector</b>
Cacha	Riobamba	Yaruquies	Cacha
Cacha-Chuyuq	Riobamba	Yaruquies	Cacha Chuyuq
Santiago	Pallatanga	Pallatanga	Santiago
Hacienda El Toldo	Riobamba	Quimiag	El Toldo
Pircabamba	Alausí	-----	Pircapamba
Patarata	Alausí	-----	Patarata
La Moya 2	Alausí	Guasuntos	La Moya
La Pampa	Chambo	Chambo	La Pampa
Chambo	Chambo	Chambo	Chambo
Celad	Guano	San Andrés	San Andrés
Licán	Riobamba	Licán	Loma Cushcud

**Fuente:** CODIGEM, 1997. (Inventario de Materias Primas No Metálicas en el Ecuador, Tomo XV: Provincia de Chimborazo.)

**Realizado por:** Danilo Jara.2017

**Tabla 3-3:** Selección de afloramientos a considerarse en el estudio

N°	Nombre del Afloramiento o Mina	Referenciado por	Selección para muestreo y análisis		Coordenadas Geográficas UTM		Observaciones
			Sí	No	X	Y	
1	Pallatanga	ARCOM	X		723789.00	9771090.00	Actualmente la empresa EXPLOSUR utiliza el material de este afloramiento.
2	Sablog	ARCOM		X	753200.00	9787800.00	No se puede acceder a muestras de este sector debido a la oposición de la comunidad circundante.
3	Naute (Acumulada)	ARCOM		X	751300.00	9775600.00	Información actualizada por parte de los propietarios de la concesión indicó que el mineral no es arcilla; sino diatomita.
4	Tanquis 50	ARCOM	X		753700.00	9788400.00	Existen dudas acerca de la identidad de la muestra, por lo que existe la posibilidad de que se trate de feldespato.
5	Cacha	CODIGEM	X		755800.00	9811300.00	El material es de alta dureza y de color rojizo, el documento del CODIGEM no indica información del propietario.
6	Hacienda El Toldo	CODIGEM		X	722400.00	9816800.00	No se estudió por dificultad de identificar y acceso al afloramiento
7	Pircabamba	CODIGEM		X	739300.00	9757300.00	El reporte del CODIGEM indica el agotamiento del frente de explotación.
8	Patarata	CODIGEM		X	739300.00	9754300.00	No se estudió por dificultad de identificar y acceso al afloramiento
9	La Moya 2	CODIGEM		X	744200.00	9753300.00	No se estudió por dificultad de identificar y acceso al afloramiento
10	Chambo	CODIGEM	X		768000.00	9809200.00	La muestra recogida en el sector de Chambo también es representativa del sector La Pampa.
11	Celad	CODIGEM		X	756300.00	9822500.00	El reporte del CODIGEM indica que la calidad y cantidad de este mineral es baja.
12	Licán	CODIGEM	X		754800.00	9817500.00	Mineral de color amarillo y de textura blanda.

**Fuentes:** ARCOM, 2017. (Concesiones de Arcilla.); CODIGEM, 1997. (Inventario de Materias Primas No Metálicas en el Ecuador, Tomo XV: Provincia de Chimborazo.)

**Realizado por:** Danilo Jara. 2017

### **3.5 Tamaño de Muestra**

Debido al número moderado de concesiones mineras de arcilla en la provincia de Chimborazo, se trabajó con la totalidad de los afloramientos.

Para cada locación se realizó un total de 3 tomas, de hasta un total de 2 kg, que luego se sometieron a un proceso de homogenización y reducción de tamaño para obtener una muestra representativa de 2 kg por cada afloramiento.

### **3.6 Selección de Muestra**

Dentro de cada afloramiento se eligieron como punto de muestreo las zonas que presentaban características propias de minerales arcillosos: suelos de color rojizo o amarillento, lugares identificados como fuentes de arcilla (tierras negras y rojas) y sensación adherente o sedosa al tacto. Los puntos de muestreo seleccionados fueron los que se mencionan en la Tabla 3-3 de este capítulo.

### **3.7 Técnicas de Recolección de Datos**

El presente trabajo de investigación se desarrolló de la siguiente manera:

- **Proceso de la investigación**

La investigación se llevó a cabo de la siguiente manera:

**Revisión Bibliográfica:** Lecturas de artículos científicos, libros de texto y normas técnicas; relacionadas con aplicaciones industriales diferentes a las tradicionales.

**Trabajo de Campo:** Muestreo de los principales afloramientos de minerales arcillosos de la provincia de Chimborazo.

**Trabajo de Laboratorio:** Análisis de las características físico-químicas cualitativas básicas más importantes de los minerales arcillosos mediante técnicas convencionales e instrumentales modernas. Estas pruebas se realizaron en el laboratorio de cerámica de la Escuela Politécnica Nacional.

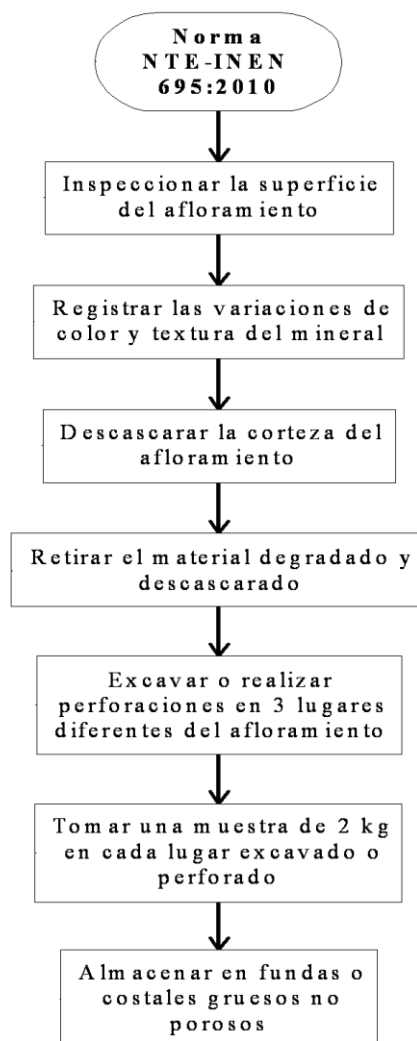


- **Lista de afloramientos y frentes de explotación**

Con el Inventario de Materias Primas No Metálicas de la Provincia de Chimborazo elaborado por la Corporación de Desarrollo e Investigación Geológico, Minero, Metalurgia (CODIGEM), y la información proporcionada por la Agencia de Regulación y Control Minero (ARCOM); se elaboró una lista de los afloramientos y frentes de explotación de arcilla de la provincia. Para esta lista se tomó en cuenta la facilidad de ingreso, el tipo de material, la calidad y disponibilidad del material en cada afloramiento.

- **Toma de muestras**

Para la toma y recolección de muestras de minerales arcillosos, se tomó como referencia el APÉNDICE X de la Norma NTE INEN 695:2010, Muestreo para Áridos. El procedimiento que se llevó a cabo se resume en el siguiente diagrama de flujo:



- **Codificación de las muestras**

Para facilitar el manejo y almacenamiento de las muestras, se las codificó, utilizando las iniciales de la provincia, las iniciales del lugar donde fue tomada, y el número de muestra primaria.

**Tabla 4-3:** Codificación de las muestras

<b>Lugar</b>	<b>Código</b>
Cacha	CHCA01
Licán	CHLI01
Chambo	CHCH01
Pallatanga	CHPA01
Tanquis	CHTA01

Realizado por: Danilo Jara. 2017

- **Reducción y preparación de muestras**

Para la reducción de tamaño de la muestra se seleccionaron las piedras que no presenten deformaciones en su estructura, apariencia homogénea. Las muestras tomadas de los diferentes puntos de cada afloramiento se mezclaron íntegramente hasta obtener una cantidad representativa igual a 2 kg.

Se realizó una reducción de tamaño manual, es decir golpeando las rocas con un martillo con el fin de obtener pequeñas fracciones de las mismas, las cuales posteriormente ingresaron a un molino de cono para reducir las pequeñas fracciones de rocas. Finalmente el material resultante se pulverizó utilizando un mortero hasta obtener 200 g de arcilla, la cual fue vertida en un tamiz con malla # 100 para separar la fracción sólida retenida.

- **Proceso de medida**

En base a revisión bibliográfica de artículos científicos se establecieron los análisis pertinentes a realizar a las muestras recolectadas.

**Tabla 5-3:** Técnicas de laboratorio realizadas a los minerales arcillosos para establecer sus posibles aplicaciones industriales

<b>Técnica de Laboratorio</b>	<b>Información Requerida</b>
XRD	Composición mineralógica y composición química.
XRF	Composición química en porcentaje de óxidos
FTIR	Grupos funcionales presentes.
SEM	Morfología, y porosidad
TGA	Humedad y material volátil.

**Realizado por:** Danilo Jara. 2017

**Fuente:** Danilo Jara. 2017

### ***3.7.1 Determinación del color por el método de Munsell***

Este ensayo consiste en tomar un puñado de muestra y colocarla sobre una superficie lisa, con una buena iluminación y de ser posible cerca de una ventana; a continuación se toma la carta Munsell y se procede a comparar cada lamina con la arcilla que se está analizando, finalmente se registra el color con su respectiva codificación. Esta prueba se la realiza tanto en base húmeda como en base seca.

### ***3.7.2 Sensación al tacto***

Para el análisis de sensación al tacto, de manera similar que en el ensayo anterior, se toma un puñado de muestra, a continuación se le añade agua en cantidad suficiente, para formar una mezcla manipulable y se amasa suavemente con la palma de la mano. La prueba de sensación consiste en clasificar a las arcillas en tres categorías:

- **Árida:** cuando al humedecerla se deshace antes de poder amasarla con la mano. A este tipo de arcillas también se las conoce como “Arenosas”.
- **Plástica:** cuando al humedecerla se puede amasar con la mano y a la vez permite darle la forma de un cilindro; además deja rastros mínimos en la palma de la mano. A este tipo de arcillas también se las conoce como “Franco-Arcillosas”.
- **Untuosa:** cuando al humedecerla y amasarla, es capaz de adaptar la forma de un cilindro, pero a la vez deja rastros por toda la mano. A este tipo de arcillas también se las denomina “Limosa-Arcillosa”.

### 3.7.3 Consistencia

La consistencia permite evaluar la resistencia y dureza de una arcilla al ejercer una presión sobre la misma. Para el ensayo se toma un fragmento, roca o porción de la misma y se somete a una presión con los dedos índice y pulgar de ambas manos, esto con el fin de evaluar las fuerzas físicas de cohesión y adhesión que actúan dentro de la arcilla. Existen 4 formas de clasificar a las arcillas de acuerdo a su consistencia:

**Tabla 6-3:** Consistencia de los suelos y arcillas

<b>Consistencia</b>	<b>Características</b>
Suelta	Tiene problemas para recoger un trozo y la estructura se rompe antes de lograr manejarla.
Frágil	El trozo es fácil de romper en pedazos al ejercer una leve presión con los dedos índice y pulgar.
Firme	El trozo se rompe en pedazos bajo una moderada presión de los dos dedos. Consistencia plástica con la proporción adecuada de humedad.
Extremadamente Firme	El trozo es muy resistente a la presión y difícil de romper en pedazos (se requiere el uso de un martillo).








Fuente: Uribe y Chico, 2016. (Control Tecnológico de Materias Primas)

Realizado por: Danilo Jara. 2017

### 3.7.4 Textura

Se toma un puñado de muestra, a continuación se le añade agua en cantidad suficiente para que la mezcla pueda ser amasada con la mano, buscando dar secuencialmente las formas que se indican en la tabla a continuación; si en una de las etapas se forman grietas, se asume que la textura corresponde a la de la etapa anterior.

**Tabla 7-3:** Textura de las arcillas

Textura	Características	Presentación
Arenoso (50 $\mu\text{m}$ < $\phi$ < 2000 $\mu\text{m}$ )	La arcilla permanece floja y separada, y solo puede juntarse dándole la forma de una pirámide.	
Franco Arenoso	La arcilla contiene bastante sedimento y partículas finas para mostrarse pegajosa y se le puede dar la forma de una bola fácil de partir en dos.	
Franco Limoso	Similar a la anterior, pero a la arcilla se le puede dar forma de un cilindro pequeño y corto.	
Franco (2 $\mu\text{m}$ < $\phi$ < 50 $\mu\text{m}$ )	Contiene casi la misma cantidad de arena, sedimento y arcilla. Puede manipularse hasta formar un cilindro de 6 pulgadas de largo que se rompe al doblarlo.	
Franco Arcilloso	Similar a la anterior, sin embargo este se puede doblar hasta darle una forma de U, sin forzarlo y sin que se rompa	
Arcilloso Limoso	Se le puede dar la forma de anillo pero muestra algunas grietas.	
Arcilloso ( $\phi$ < 2 $\mu\text{m}$ )	Se le puede dar la forma de anillo sin que muestre grietas.	

Fuente: Uribe y Chico, 2016. (Control Tecnológico de Materias Primas)

Realizado por: Danilo Jara. 2017

### 3.7.5 Presencia de Impurezas

Se observa con una lupa los terrones o partículas de distinto color, de procedencia desconocida, o de diferente textura, los que se separan y clasifican en función de su apariencia como materia orgánica o inorgánica. Este análisis además permite evaluar la homogeneidad de las muestras en cuanto a su constitución, así como evidenciar la presencia significativa de materiales inertes ajenos a la muestra original.

### 3.7.6 Humedad

La determinación de la humedad se realizó siguiendo la norma ASTM D 2974-00. Como primer paso se ingresan los crisoles metálicos a una estufa programada a 110 °C durante 24 horas, pasado este tiempo se retiran y se enfrían dentro de un desecador por 1 hora. A continuación se pesan los crisoles metálicos vacíos y se registra su peso. Después se pesan 60 gramos de muestra en cada uno de los crisoles, y se los vuelve a introducir en la estufa a la misma temperatura y por el mismo periodo de tiempo. Finalmente se retiran los crisoles con las muestras y nuevamente se los deja enfriar por 1 hora, se registra la variación en los pesos y posteriormente se procede a realizar el cálculo de la humedad de cada muestra con la siguiente fórmula:

$$w = \left[ \frac{(M_{cms} - M_{cds})}{(M_{cds} - M_c)} \right] \times 100$$

Donde:

**w** = humedad de la muestra (%)

**M<sub>cms</sub>** = masa del recipiente y muestra humedad (g)

**M<sub>cds</sub>** = masa del recipiente y muestra seca (g)

**M<sub>c</sub>** = masa del recipiente (g)

### 3.7.7 Densidad Aparente

La determinación de la densidad aparente consiste en tomar un vaso que se llena con agua hasta el borde de su capacidad y se registra su peso. A continuación en el mismo vaso se procede a llenar con arcilla hasta completar su volumen, y de igual forma se registra su peso. Asumiendo que la densidad del agua es 1 g/cm<sup>3</sup> y después de haber pesado el recipiente con este líquido se procede a calcular el volumen del recipiente con la siguiente fórmula:

$$V_a = \frac{m_{agua}}{\rho_{agua}}$$

Dónde:

**V<sub>a</sub>** = Volumen del agua en el recipiente (cm<sup>3</sup>)

**m<sub>agua</sub>** = Masa del agua en el vaso (g)

**ρ<sub>agua</sub>** = Densidad del agua (g/cm<sup>3</sup>)

Después de obtener el volumen del agua y registrar la masa de la arcilla en el vaso se procede a realizar el cálculo de la densidad aparente con la siguiente formula:

$$D_{ap} = \frac{m}{V_a}$$

Dónde:

$D_{ap}$  = Densidad aparente de la arcilla ( $g/cm^3$ )

$m$  = masa de la arcilla en el vaso (g)

$V_a$  = Volumen del agua en el vaso ( $cm^3$ )

La densidad aparente del mineral arcilloso nos da una idea del grado de compactación.

### 3.7.8 *Materia Orgánica*

Para el ensayo de materia orgánica se toma un puñado de arcilla y se coloca sobre un vidrio reloj o en una caja petri, a continuación con una pipeta se deja caer gotas de una solución de Peróxido de Hidrógeno alrededor de la muestra y en el centro de la misma. Finalmente esperamos a ver si existe efervescencia al entrar en contacto el peróxido con la arcilla y reportamos los resultados como: Nula, Escaso o Moderado y Abundante según el grado de efervescencia.

**Tabla 8-3:** Reacción a la presencia de materia orgánica

<b>Efervescencia</b>	<b>Característica</b>
Nula	No se observa reacción alguna
Escaso o Moderado	Existe un leve burbujeo o efervescencia
Abundante	Existe un abundante burbujeo o efervescencia

**Fuente:** Uribe y Chico, 2016. (Control Tecnológico de Materias Primas.)

**Realizado por:** Danilo Jara.2017

### 3.7.9 *Carbonatos*

La prueba de carbonatos se la hace de manera similar al ensayo anterior, se toma un puñado de arcilla y se lo coloca sobre un vidrio reloj o en una caja petri, a continuación con una pipeta se dejan caer gotas de una solución HCl al 10%. Si existen carbonatos presentes, habrá una reacción entre el reactivo y los carbonatos, dando como resultado una efervescencia. Los resultados de acuerdo al grado de efervescencia o burbujeo pueden ser:

**Tabla 9-3:** Reacción a los carbonatos

<b>Efervescencia</b>	<b>Característica</b>
Ninguna o Nula	No se observa reacción alguna
Ligera	Existe un leve burbujeo o efervescencia
Fuerte	Existe un abundante burbujeo o efervescencia

**Fuente:** Uribe y Chico, 2016. (Control Tecnológico de Materias Primas.)

**Realizado por:** Danilo Jara.2017



## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Análisis y Discusión de Resultados

##### 4.1.1 Caracterización Física

##### 4.1.1.1 Color por el método de Munsell

**Tabla 1-4:** Resultados del ensayo de color por el método de Munsell

<b>Muestra</b>	<b>Lugar</b>	<b>Color en Húmedo</b>	<b>Color en Seco</b>
CHCA01	Cacha	Pardo Oscuro 10YR4/6	Amarillo 10YR7/6
CHLI01	Licán	Amarillo Pálido 5Y8/4	Amarillo Pálido 5Y8/3
CHCH01	Chambo	Olivo Oscuro 5Y3/2	Pardo Oscuro 7.5YR3/2
CHPA01	Pallatanga	Pardo Rojizo 2.5YR5/3	Amarillo Pálido 2.5Y8/2
CHTA01	Tanquis	Amarillo Pálido 2.5Y8/3	Amarillo Pálido 5Y8/3

Realizado por: Danilo Jara. 2017

Los resultados presentados en la Tabla 1-4 indican el color de las arcillas en base húmeda y en base seca por el método de Munsell. Los cambios en la tonalidad del color se deben a los procesos de deshidratación-deshidroxilación de la muestra, así como también los procesos oxidativos de los compuestos químicos de cada muestra durante el proceso de secado en estufa a 110 °C.

#### 4.1.1.2 Sensación al tacto

**Tabla 2-4:** Resultados del ensayo de sensación al tacto

<b>Muestra</b>	<b>Lugar</b>	<b>Características</b>
CHCA01	Cacha	Plástica (Franco-Arcillosa)
CHLI01	Licán	Árida (Arenosa)
CHCH01	Chambo	Plástica (Franco-Arcillosa)
CHPA01	Pallatanga	Untuosa (Limosa-Arcillosa)
CHTA01	Tanquis	Plástica (Franco-Arcillosa)

**Realizado por:** Danilo Jara. 2017

Las muestras CHCA01, CHCH01, CHTA01 tiene una característica plástica al tacto debido a que al humedecerla con agua y amasarla con la mano adapta la forma de un cilindro, además de dejar rastros mínimos del mineral durante su proceso; la muestra CHLI01 es árida al tacto debido a que cuando se le añade agua se deshace antes de poder amasarla; finalmente la muestra de la concesión CHPA01 tiene una característica untuosa al tacto puesto que al añadirle agua y amasarla, forma un cilindro, y a la vez deja rastros de la misma por toda la mano.

#### 4.1.1.3 Consistencia

**Tabla 3-4:** Resultados de la prueba de consistencia

<b>Muestra</b>	<b>Lugar</b>	<b>Características</b>
CHCA01	Cacha	Extremadamente Firme
CHLI01	Licán	Frágil
CHCH01	Chambo	Suelta
CHPA01	Pallatanga	Suelta
CHTA01	Tanquis	Frágil

Realizado por: Danilo Jara. 2017

La muestra de arcilla CHCA01 presenta una consistencia extremadamente firme debido a que los fragmentos o trozos son difíciles de romper cuando se ejerce una presión con los dedos índices y pulgares de ambas manos; las muestras CHLI01 y CHTA01 son de consistencia frágil puesto que al ejercer una leve presión con los dedos se fragmenta fácilmente en pequeñas piezas; por último las muestras CHCH01 y CHPA01 son de consistencia suelta ya que las pequeñas fracciones se rompe antes de poder manipularla.

#### 4.1.1.4 Textura

**Tabla 4-4:** Resultados del ensayo de textura

<b>Muestra</b>	<b>Lugar</b>	<b>Textura</b>
CHCA01	Cacha	Franco
CHLI01	Licán	Arenosa
CHCH01	Chambo	Franco-Arcillosa
CHPA01	Pallatanga	Franco
CHTA01	Tanquis	Arenosa

Realizado por: Danilo Jara. 2017

Las muestras CHCA01 y CHPA01 presentan una textura tipo franco, es decir cuando al mineral se le añade agua puede manipularse hasta formar un cilindro delgado, pero se rompe al doblarlo. Las muestras de CHLI01 y CHTA01 poseen una textura arenosa debido a que cuando se humedece la arcilla, ésta no permanece compacta sino separada y solo se le puede juntar hasta formar una pequeña pirámide. La muestra CHCH01 tiene una textura franco-arcillosa puesto que a diferencia de las anteriores, ésta se puede doblar hasta formar una U sin que se rompa en el intento.

#### 4.1.1.5 Presencia de Impurezas

**Tabla 5-4:** Impurezas presentes en las muestras de arcilla de la provincia de Chimborazo

<b>Muestras</b>	<b>Lugar</b>	<b>Tipo de Muestra</b>	<b>Contenido de Impurezas</b>
CHCA01	Cacha	Homogénea	Ninguna
CHLI01	Licán	No Homogénea	Baja presencia de materia inorgánica
CHCH01	Chambo	Homogénea	Ninguna
CHPA01	Pallatanga	Heterogénea	Materia orgánica (raíces de plantas), Materia inorgánica (piedras consolidadas)
CHTA01	Tanquis	Homogénea	Baja presencia de materia inorgánica

**Realizado por:** Danilo Jara. 2017

Las muestras CHCA01 y CHCH01 no presentan impurezas observables, en tanto que las muestras CHLI01 y CHTA01 presentan una baja presencia de materia inorgánica (piedras de otro color, tierras negras). La muestra CHPA01 tiene impurezas tanto orgánicas como inorgánicas.

#### 4.1.1.6 Humedad

A continuación se presenta un cálculo modelo para la determinación de la humedad mediante la norma ASTM D 2974-00:

$$w = \left[ \frac{(M_{cms} - M_{cds})}{(M_{cds} - M_c)} \right] \times 100$$

$$w = \left[ \frac{(71,5529 - 68,8575)}{(68,8575 - 7,5465)} \right] \times 100$$

$$w = 4,3962$$

Los resultados generales se indican en la siguiente tabla:

**Tabla 6-4:** Resultados de humedad de las arcillas de la provincia de Chimborazo

Muestra	Lugar	Peso crisol vacío (g)	Peso crisol + muestra húmeda (g)	Peso crisol + muestra seca (g)	% Humedad
CHCA01	Cacha	7,5465	71,5529	68,8575	4,3962
		6,6244	70,6824	67,9734	4,4157
CHLI01	Licán	7,1393	68,4299	64,0772	7,6446
		6,8688	67,7703	63,3205	7,8824
CHCH01	Chambo	7,0052	67,3960	57,5196	19,5516
		7,1128	68,6072	58,1462	20,4983
CHPA01	Pallatanga	6,3709	68,0229	59,4027	16,2553
		6,4045	67,5578	58,6250	17,1059
CHTA01	Tanquis	6,5091	66,6651	59,7937	12,8956
		7,0108	68,7118	61,8866	12,4375

Realizado por: Danilo Jara. 2017

La alta humedad en la muestra de Chambo se debe a la presencia de materia orgánica y a su textura terrosa y recolectada en terreno plano; por otro lado la baja humedad de la muestra de Cacha se debe a su consistencia rocosa y muestra recolectada en pendiente, lo que favorece una escasa absorción de agua. El resto de muestras presentan valores de humedad que se pueden considerar normales.

#### 4.1.1.7 Densidad Aparente

A continuación se presenta un cálculo modelo para la determinación de la densidad aparente:

$$D_{ap} = \frac{m}{V_a}$$

$$D_{ap} = \frac{1160,29}{929,13}$$

$$D_{ap} = 1,248$$

Los resultados generales se indican en la siguiente tabla:

**Tabla 7-4:** Resultados del ensayo de densidad aparente

Muestra	Lugar	Peso del vaso + agua (g)	Peso del vaso + arcilla (g)	Volumen del agua (cm <sup>3</sup> )	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )
CHCA01	Cacha	929,13	1160,29	929,13	1,248
CHLI01	Licán	929,13	801,39	929,13	0,862
CHCH01	Chambo	929,13	916,09	929,13	0,985
CHPA01	Pallatanga	929,13	1064,49	929,13	1,145
CHTA01	Tanquis	929,13	1167,55	929,13	1,256

Realizado por: Danilo Jara. 2017

Las mayores densidades se observaron en las muestras de consistencia rocosa y de alta dureza (CHCA01, CHPA01 y CHTA01). En los casos de CHLI01 y CHCH01 la menor densidad se explica a su textura terrosa y mayor grado de meteorización.

#### 4.1.1.8 Materia Orgánica

**Tabla 8-4:** Resultados del ensayo de materia orgánica

<b>Muestra</b>	<b>Lugar</b>	<b>Presencia de materia orgánica</b>
CHCA01	Cacha	Nula
CHLI01	Licán	Nula
CHCH01	Chambo	Escasa
CHPA01	Pallatanga	Abundante
CHTA01	Tanquis	Abundante

Realizado por: Danilo Jara. 2017

Las muestras CHCA01 y CHLI01 no evidenciaron presencia de materia orgánica, esto se debe a que en la toma de muestras se eliminó coberturas u otras interferencias; además los puntos de muestreo corresponden a lugares libres de actividades agrícolas. La muestra CHCH01 presenta escasa materia orgánica, posiblemente por tratarse de tierra de una región con actividad agrícola. Finalmente, el abundante contenido orgánico en las muestras CHPA01 y CHTA01 está relacionado con la presencia de raíces de plantas y restos vegetales.



#### 4.1.1.9 Carbonatos

**Tabla 9-4:** Resultados del ensayo de carbonatos

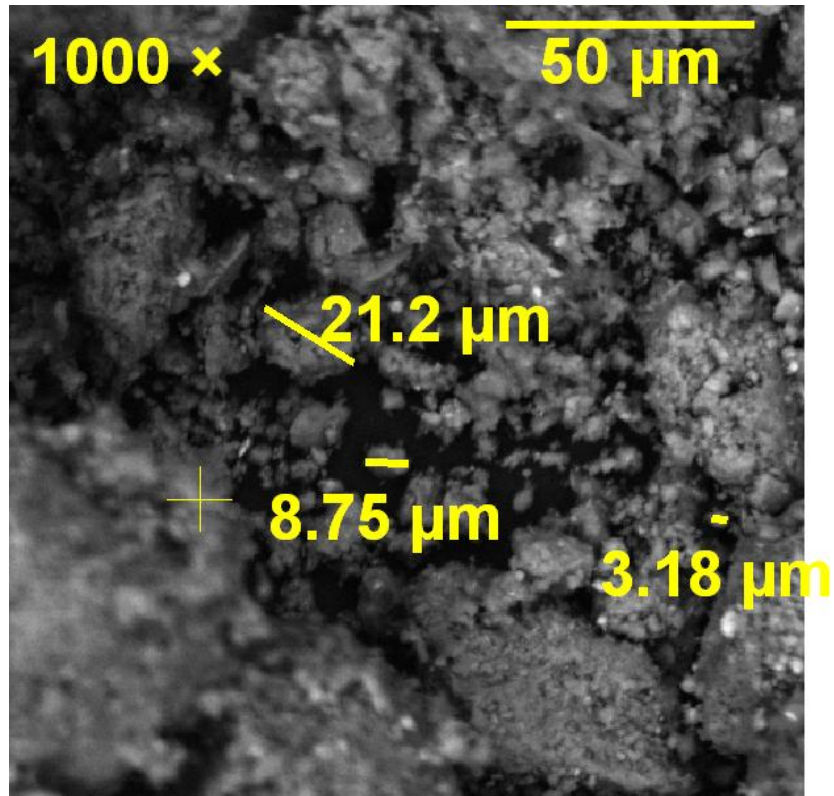
<b>Muestra</b>	<b>Lugar</b>	<b>Reacción al Ácido</b>
CHCA01	Cacha	Fuerte
CHLI01	Licán	Ligera (Escasa)
CHCH01	Chambo	Ligera (Escasa)
CHPA01	Pallatanga	Ligera (Escasa)
CHTA01	Tanquis	Ligera (Escasa)

**Realizado por:** Danilo Jara. 2017

La fuerte reacción al ácido de la muestra CHCA01 coincidió con la observación experimental de heterogeneidad en la apariencia de los gránulos de arcilla obtenidos en la reducción de tamaño unos rojizos y otros blanquecinos; estos últimos pudiendo ser de tipo carbonatos. En las muestras CHLI01, CHCH01, CHPA01, y CHTA01 se tiene baja presencia de carbonatos, relacionada con un ligero burbujeo o efervescencia.

4.1.1.10 Microscopía Electrónica (SEM)

CHCA01 - Cacha

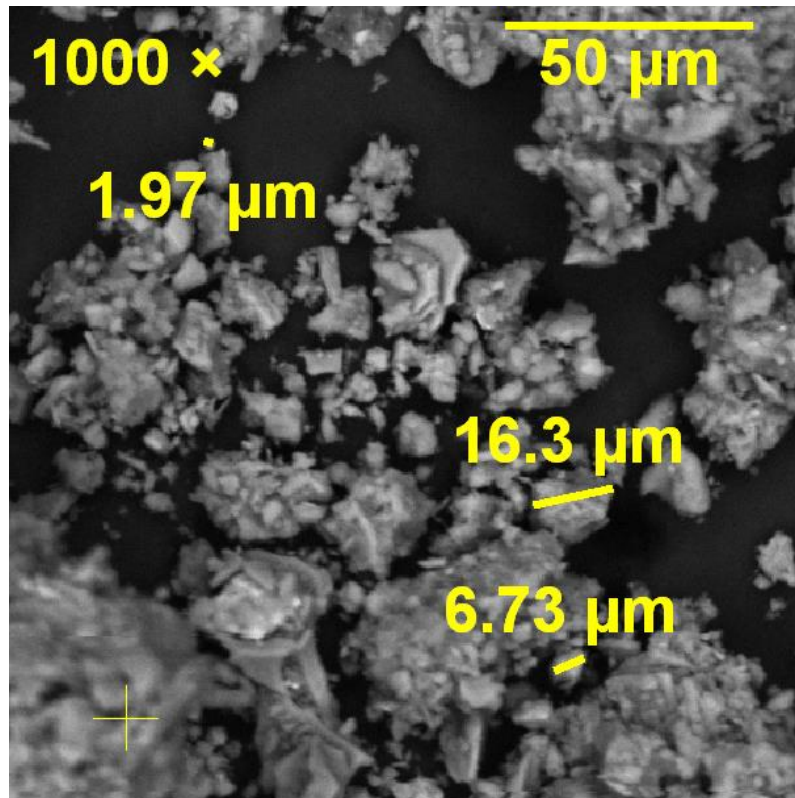


**Fotografía 1-4:** Micrografía de la muestra CHCA01

Fuente: Danilo Jara. 2018

En la micrografía de la muestra CHCA01 los granos tienen bordes sencillos; en su mayoría forman grumos; su tamaño de partícula oscila entre 3,18 y 21,2  $\mu\text{m}$ , las partículas se encuentran compactadas o formando pequeñas aglomeraciones.

**CHLI01 - Licán**

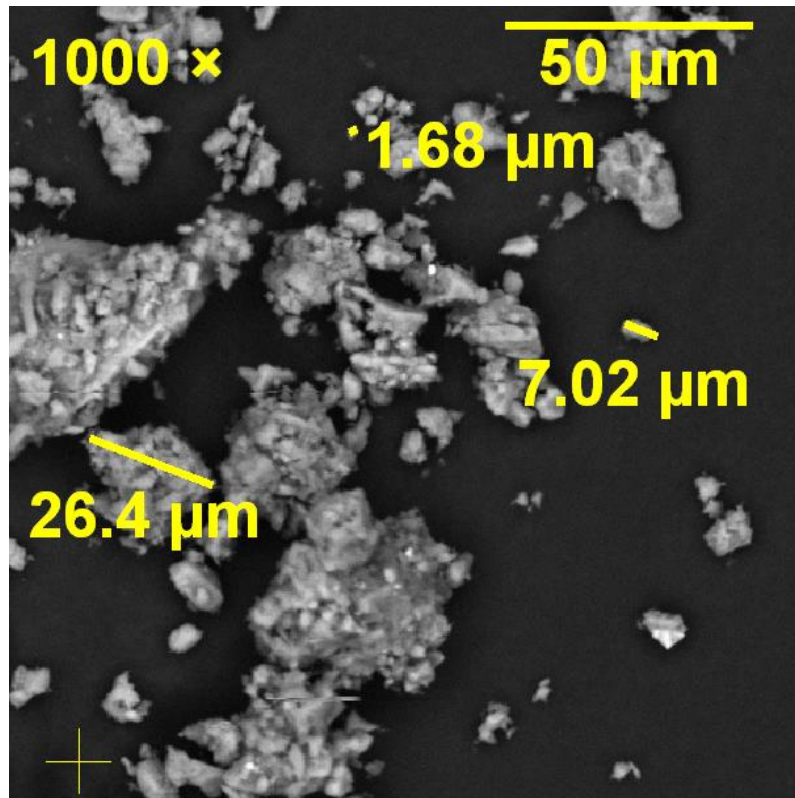


**Fotografía 2-4:** Micrografía de la muestra CHLI01

Fuente: Danilo Jara. 2018

La micrografía de la muestra CHLI01 presenta granos de formas irregulares y bordes ligeramente marcados, su tamaño de partícula oscila entre 1,97 y 16,3  $\mu\text{m}$ , se puede observar que las partículas están en su mayoría sueltas.

**CHCH01 - Chambo**

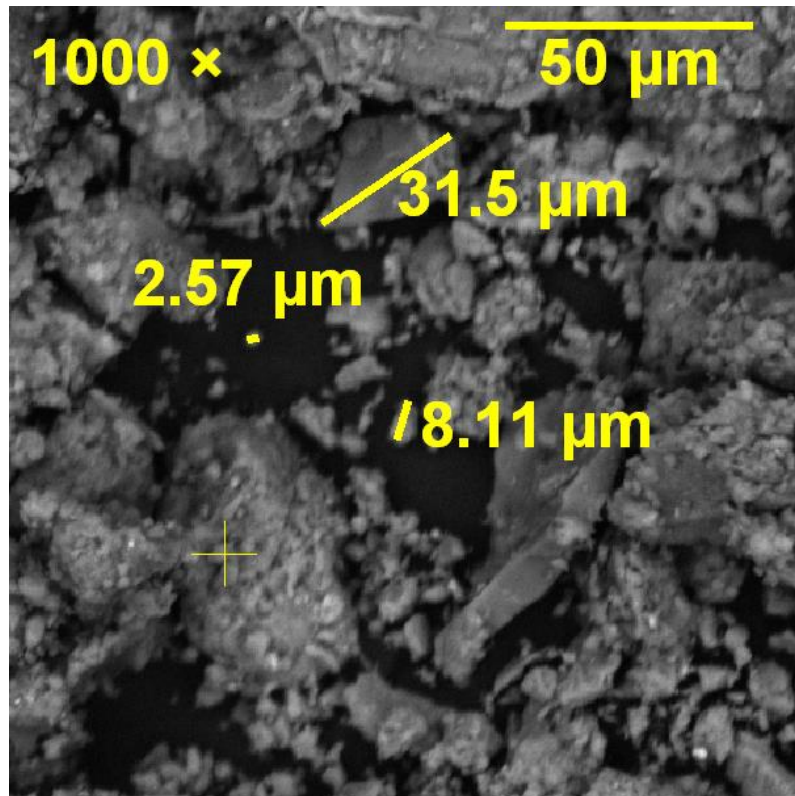


**Fotografía 3-4:** Micrografía de la muestra CHCH01

**Fuente:** Danilo Jara. 2018

La micrografía de la muestra CHCH01 presenta granos de formas irregulares con bordes sencillos, con un tamaño de partícula entre 1,68 y 26,4  $\mu\text{m}$ , de manera similar a la muestra anterior las partículas están en su mayoría sueltas.

## CHPA01 - Pallatanga

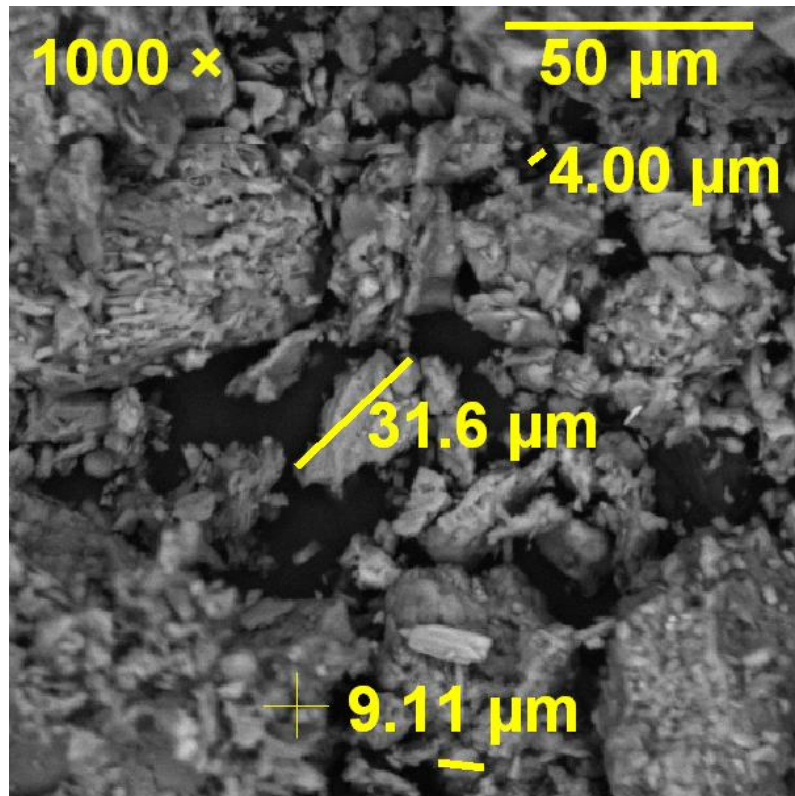


**Fotografía 4-4:** Micrografía de la muestra CHPA01

**Fuente:** Danilo Jara. 2018

La micrografía de la muestra CHPA01 presenta granos de bordes ligeramente marcados, en su mayoría forman grumos; su tamaño de partícula oscila entre 2,57 y 31,5 μm, las partículas se encuentran compactadas y formando pequeñas aglomeraciones.

## CHTA01 - Tanquis



**Fotografía 5-4:** Micrografía de la muestra CHTA01

**Fuente:** Danilo Jara. 2018

En la micrografía de la muestra CHTA01 se observa granos alargados de bordes marcados; su tamaño de partícula oscila entre 4,00 y 31,6  $\mu\text{m}$ , las partículas se presentan mayormente compactadas y aglomeradas.

#### 4.1.2 Caracterización Química

##### 4.1.2.1 Composición Mineralógica (XRD)

#### CHCA01 - Cacha

**Tabla 10-4:** Composición mineralógica de la muestra CHCA01

Mineral	Proporción (%)
Cuarzo	61,5
Caolinita	37,8
Sílice	0,7

Realizado por: Danilo Jara. 2018

El difractograma ubicado en el Anexo C indica una posible mezcla de los siguientes minerales: cuarzo, caolinita y sílice. Tomando como referencia el análisis de picos de (Constan, 2012), y comparando con sus espectros generales de minerales arcillosos, existe la posibilidad de la presencia de estos tipos de arcillas: glauconita, caolinita y antigorita; que puede ser dilucidado en futuras investigaciones.

#### CHLI01 - Licán

**Tabla 11-4:** Composición mineralógica de la muestra CHLI01

Mineral	Proporción (%)
Labradorita	64,5
Andesina	29,5
Albita	6

Realizado por: Danilo Jara. 2018

El difractograma ubicado en el Anexo D indica una posible mezcla de los siguientes minerales: labradorita, andesina y albita; pertenecientes a la familia de los feldespatos plagioclasas. Tomando como referencia el análisis de picos de (Constan, 2012), y comparando con sus espectros generales de minerales arcillosos, existe la posibilidad de la presencia de estos tipos de arcillas: glauconita, clorita, esmectita, y vermiculita.

## CHCH01 - Chambo

**Tabla 12-4:** Composición mineralógica de la muestra CHCH01

<b>Muestra</b>	<b>Proporción (%)</b>
Labradorita	52,3
Anortoclasa	32,7
Albita	15

**Realizado por:** Danilo Jara.2018

El difractograma ubicado en el Anexo E indica una posible mezcla de los siguientes minerales: labradorita, anortoclasa y albita; de manera similar a la muestra analizada anteriormente pertenecen a la familia de los feldespatos plagioclasas. Tomando como referencia el análisis de los picos de (Constan, 2012), y comparando con sus espectros generales de minerales arcillosos, existe la posibilidad de la presencia de estos tipos de arcillas: glauconita, caolinita, esmectita, vermiculita y antigorita.

## CHPA01 - Pallatanga

**Tabla 13-4:** Composición mineralógica de la muestra CHPA01

<b>Muestra</b>	<b>Proporción (%)</b>
Moscovita	92,5
Dixenita	7,5

**Realizado por:** Danilo Jara. 2018

El difractograma ubicado en el Anexo F indica una posible mezcla de los siguientes minerales: moscovita y dixenita. Tomando como referencia el análisis de los picos de (Constan, 2012), y comparando con sus espectros generales de minerales arcillosos, existe la posibilidad de la presencia de estos tipos de arcillas: glauconita, caolinita, y vermiculita.



## CHTA01 - Tanquis

**Tabla 14-4:** Composición mineralógica de la muestra CHTA01

<b>Muestra</b>	<b>Proporción (%)</b>
Albita	53,1
Andesina	31,5
Anortita	14,1
Vermiculita	1,3

**Realizado por:** Danilo Jara. 2018

El difractograma ubicado en el Anexo G indica una posible mezcla de los siguientes minerales: albita, andesina, anortita y vermiculita. Tomando como referencia el análisis de los picos de (Constan, 2012), y comparando con sus espectros generales de minerales arcillosos, existe la posibilidad de la presencia de estos tipos de arcillas: caolinita, clorita, esmectita, vermiculita y antigorita.

#### 4.1.2.2 Composición Química (XRF)

En la siguiente tabla se presenta la composición química de las muestras CHCA01, CHLI01, CHCH01, CHPA01 y CHTA01; expresadas en porcentaje de óxidos metálicos, obtenidos a través de XRF.

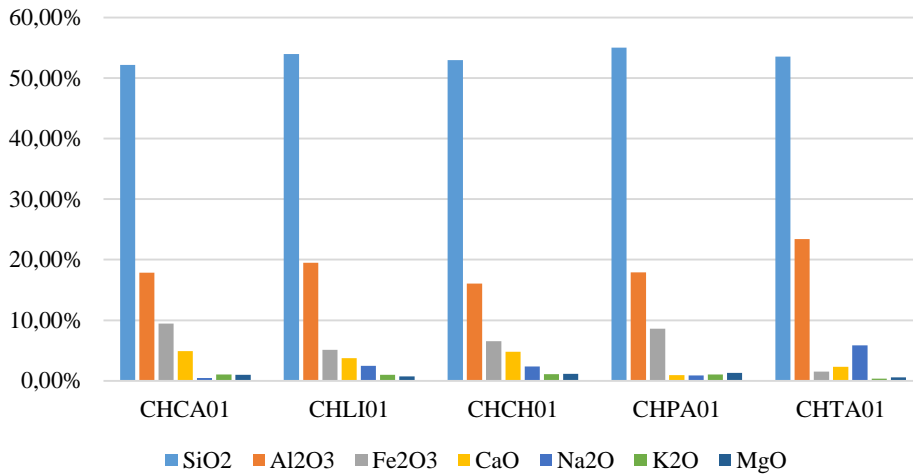
**Tabla 15-4:** Composición química de los minerales arcillosos en la provincia de Chimborazo

Muestra % Óxidos	CHCA01 - Cacha	CHLI01 - Licán	CHCH01 - Chambo	CHPA01 - Pallatanga	CHTA01 - Tanquis
SiO <sub>2</sub>	52,14	53,96	52,96	55,04	53,56
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,88	19,49	16,04	17,90	23,39
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,44	5,10	6,55	8,63	1,55
CaO	4,90	3,76	4,80	0,97	2,31
K <sub>2</sub> O	1,07	1,00	1,08	1,03	0,36
MgO	1,01	0,74	1,13	1,34	0,56
TiO <sub>2</sub>	0,94	1,09	0,86	0,84	0,47
Na <sub>2</sub> O	0,45	2,47	2,38	0,89	5,84
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,12	0,11	0,20	0,08	0,02
MnO	0,10	-----	0,09	0,12	0,05
SO <sub>3</sub>	0,07	0,12	0,07	0,02	0,03
SrO	0,02	0,08	0,07	0,02	0,05
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02	68 ppm	0,02	0,02	-----
ZrO <sub>2</sub>	0,02	0,03	0,02	0,01	0,03
CuO	0,02	93 ppm	0,01	-----	34 ppm
ZnO	0,01	0,01	-----	0,01	40 ppm
NiO	87 ppm	-----	-----	-----	-----
Rb <sub>2</sub> O	48 ppm	-----	-----	-----	-----
BaO	-----	0,07	0,11	0,05	-----
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-----	0,03	0,05	0,03	-----
Cl	-----	0,02	0,03	0,01	-----

Realizado por: Danilo Jara. 2018

El componente mayoritario es el óxido de silicio (SiO<sub>2</sub>) que oscila entre 52,14 y 55,04 %; seguido del óxido de aluminio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) que oscila entre 16,04 y 23,39 %; seguido del óxido de férrico (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) que oscila entre 1,55 y 9,44 %; seguido del óxido de calcio (CaO) que oscila entre 0,97 y 4,90 %; seguido del óxido de sodio (Na<sub>2</sub>O) que oscila entre 0,45 y 2,47 %; seguido del óxido de potasio (K<sub>2</sub>O) que oscila entre 0,36 y 1,08 %; seguido del óxido de magnesio (MgO) que oscila entre 0,56 y 1,34 %. Estos valores se visualizan a continuación:

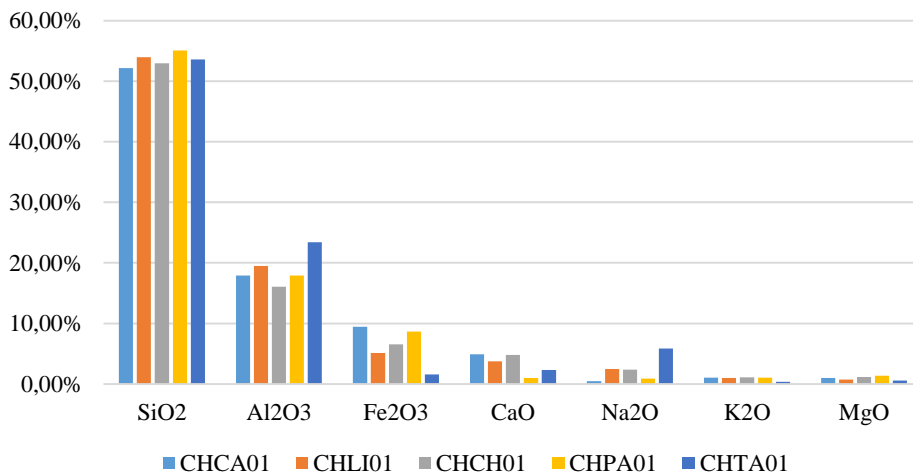
### Composición Química, Según Locación



**Gráfico 1-4:** Comparativa de resultados, según locación

Realizado por: Danilo Jara. 2018

### Composición Química, Según Componentes



**Gráfico 2-4:** Comparativa de resultados, según composición química

Realizado por: Danilo Jara. 2018

#### 4.1.2.3 Química Superficial / Grupos Funcionales (FTIR)

En la siguiente tabla se presentan los grupos funcionales de las muestras CHCA01, CHLI01, CHCH01, CHPA01 y CHTA01; debido a que los espectros FTIR eran similares (Anexo H), se seleccionaron valores promedios para identificar los grupos funcionales de las muestras analizadas.

**Tabla 16-4:** Grupos funcionales presentes en los minerales arcillosos de Chimborazo

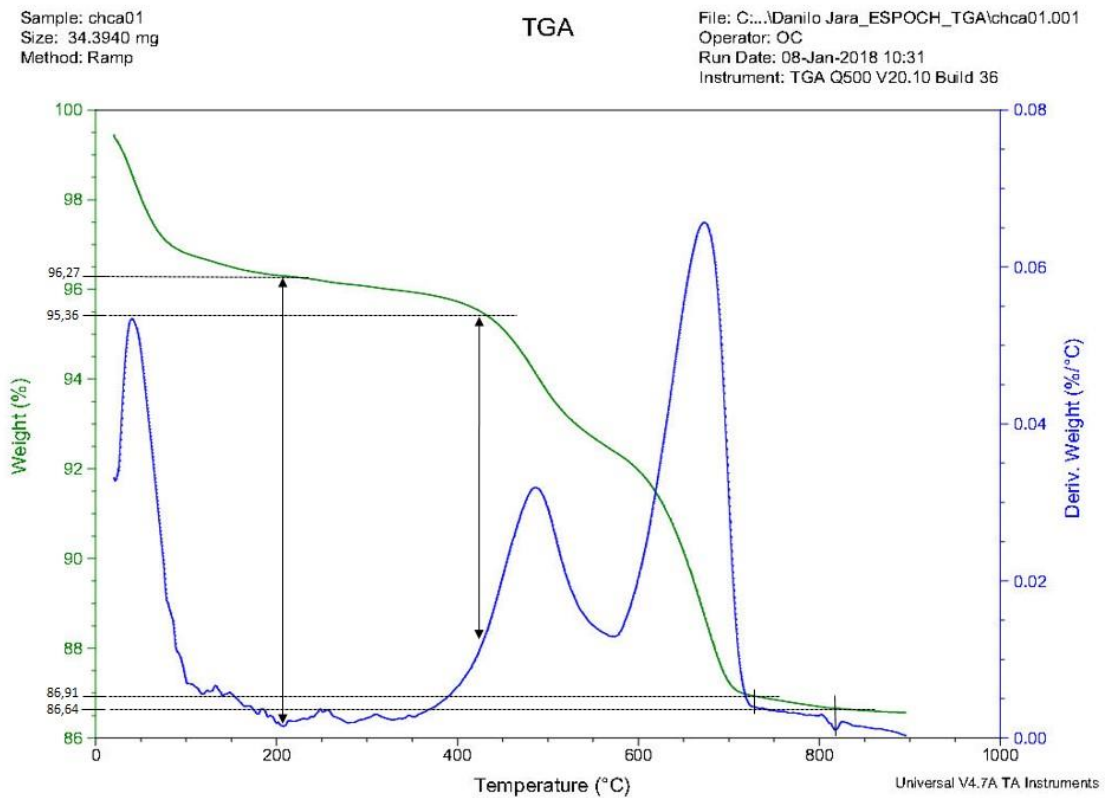
Número de Onda	Grupo Funcional
3750-3500	O-H, H <sub>2</sub> O
3700-3200	Si-OH
3400-3200	R-CH <sub>2</sub> -OH
3200-2700	-CHO, -COOH
2972-2952	R-CH <sub>3</sub>
2936-2916	-CH <sub>2</sub> -
2900-2800	R-HO
2800-2000	NH <sub>2</sub>
1100-1000	Si-O-Si
1075-1000	R-CH <sub>2</sub> -OH
730-650	HC=CH
620-570	Si-3Cl
580-440	P-Cl

Realizado por: Danilo Jara. 2018

Se puede notar la presencia en su gran mayoría de grupos OH terminales, enlaces silicio-oxígeno-silicio (Si-O-Si); lo que guarda relación con minerales del tipo silicato y con grupos funcionales afines a pH básico.

#### 4.1.2.4 Análisis Termogravimétrico

### CHCA01 - Cacha



Para el análisis del termograma, primero se procedió a extrapolar las alturas de los picos o mesetas de la curva de color verde (TGA) hacia la escala vertical. A continuación, midiendo con regla y ajustando los valores mediante regla de tres, se determinó las variaciones porcentuales de masa que se dieron a lo largo del análisis. La rampa de temperatura de trabajo para el análisis TGA se obtuvo en la búsqueda bibliográfica; según (Eloussaief et al., 2011, p.1026), el material debe calentarse en una gradiente de 10°C/min hasta los 900°C.

Cada termograma se lo divide en 4 etapas, esto de acuerdo a las caídas de la curva TGA, las cuales van a la par con los picos de la curva en color azul correspondiente a la curva DTA. En la siguiente tabla se presentan las etapas, el rango de temperatura y las transformaciones que ocurren.

**Tabla 17-4:** Transformaciones que se dan con cada cambio de temperatura en la muestra CHCA01

<b>Etapa</b>	<b>Rango de Temperatura (°C)</b>	<b>Fenómeno</b>	<b>% Peso</b>
1	0-200	Eliminación de Humedad	3,73
2	200-400	Eliminación de Materia Volátil	0,91
3	400-750	Deshidroxilación	8,45
4	750-850	Descomposición de Carbonatos	0,27

Realizado por: Danilo Jara. 2018

Finalmente, luego de haberse concluido la cuarta etapa, se produce un fenómeno denominado transición de fases, en donde se produce el reordenamiento de las moléculas, pasando de una mezcla amorfa de óxidos a un estado de mayor cristalinidad.

Para las demás muestras, el procedimiento es el mismo, por lo que solo se reportaran la curva TGA y los porcentajes en peso correspondientes.

#### **CHLI01 – Licán**

**Tabla 18-4:** Transformaciones que se dan con cada cambio de temperatura en la muestra CHLI01

<b>Etapa</b>	<b>Rango de Temperatura (°C)</b>	<b>Fenómeno</b>	<b>% Peso</b>
1	0-200	Eliminación de Humedad	4,37
2	200-400	Eliminación de Materia Volátil	1,57
3	400-750	Deshidroxilación	2,93
4	750-850	Descomposición de Carbonatos	0,66

Realizado por: Danilo Jara. 2018

La curva TGA se encuentra en el Anexo J.

## CHCH01 - Chambo

**Tabla 19-4:** Transformaciones que se dan con cada cambio de temperatura en la muestra CHCH01

<b>Etapa</b>	<b>Rango de Temperatura (°C)</b>	<b>Fenómeno</b>	<b>% Peso</b>
1	0-200	Eliminación de Humedad	3,07
2	200-400	Eliminación de Materia Volátil	1,6
3	400-750	Deshidroxilación	3,27
4	750-850	Descomposición de Carbonatos	0,36

Realizado por: Danilo Jara. 2018

La curva TGA se encuentra en el Anexo K.

## CHPA01 - Pallatanga

**Tabla 20-4:** Transformaciones que se dan con cada cambio de temperatura en la muestra CHPA01

<b>Etapa</b>	<b>Rango de Temperatura (°C)</b>	<b>Fenómeno</b>	<b>% Peso</b>
1	0-200	Eliminación de Humedad	4,12
2	200-400	Eliminación de Materia Volátil	1,22
3	400-750	Deshidroxilación	3,35
4	750-850	Descomposición de Carbonatos	0,28

Realizado por: Danilo Jara. 2018

La curva TGA se encuentra en el Anexo L.

## CHTA01 - Tanquis

**Tabla 21-4:** Transformaciones que se dan con cada cambio de temperatura en la muestra CHTA01

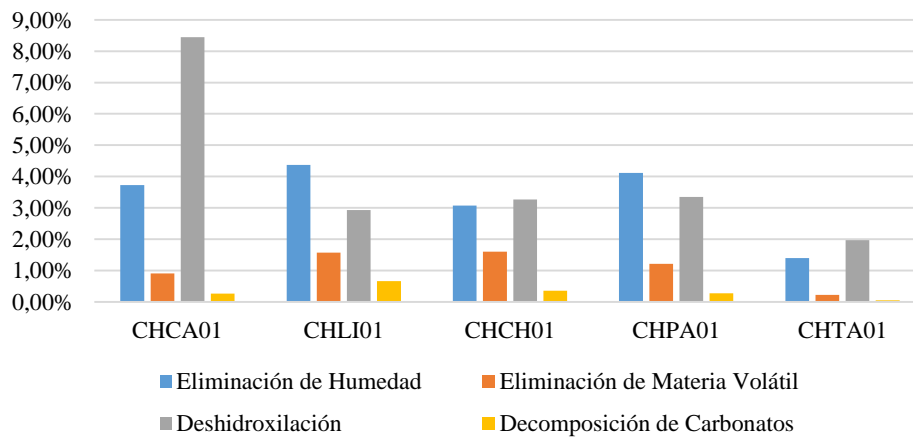
Etapa	Rango de Temperatura (°C)	Fenómeno	% Peso
1	0-200	Eliminación de Humedad	1,4
2	200-400	Eliminación de Materia Volátil	0,22
3	400-750	Deshidroxilación	1,97
4	750-850	Descomposición de Carbonatos	0,05

Realizado por: Danilo Jara. 2018

La curva TGA se encuentra en el Anexo M.

A continuación se visualiza las transformaciones de cada muestra:

### Transformaciones que ocurren en los minerales arcillosos

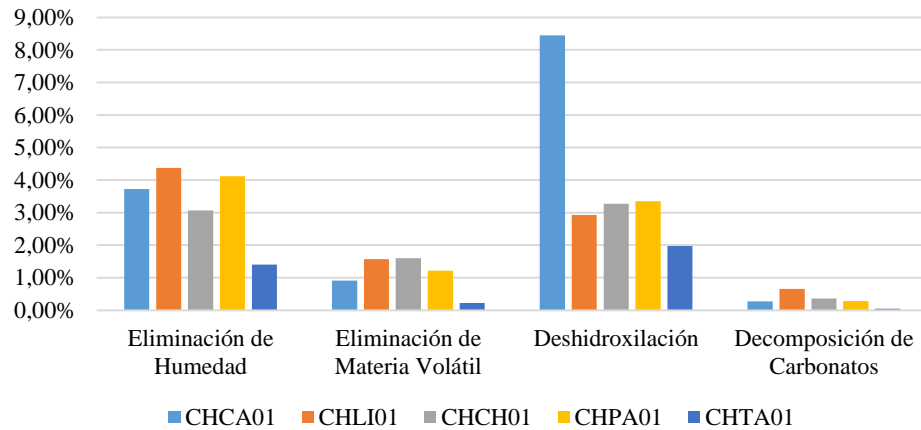


**Gráfico 3-4:** Comparativa de resultados, transformaciones en los minerales arcillosos

Realizado por: Danilo Jara. 2018



### Transformaciones que ocurren entre minerales arcillosos



**Gráfico 4-4:** Comparativa de variaciones de peso por transformaciones de los minerales arcillosos

Realizado por: Danilo Jara. 2018

#### 4.1.2.5 Aplicaciones Industriales

Se realizó una revisión sistemática de publicaciones respecto a aplicaciones de arcillas en entornos industriales en las bases de datos Science Direct y Scholar Google.

Los resultados se agruparon por similitud y tipo de aplicación industrial. Para cada aplicación se detallaron campos específicos: composición química, composición mineralógica y características de la arcilla reportada. La información se resumió en una matriz que sirvió de base de comparación.

Los resultados de la caracterización química y mineralógica de los minerales arcillosos de la provincia de Chimborazo se triangularon con la matriz base de aplicaciones industriales buscando similitudes en cualquiera de estas categorías: Fase, Composición Química y Composición Mineralógica. En caso afirmativo se anotó como posible aplicación industrial; aspecto que queda como punto de partida para futuras investigaciones. Los resultados se indican en la siguiente tabla:

**Tabla 22-4:** Potenciales aplicaciones industriales de las muestras CHCA01 y CHLI01

MUESTRA	CARACTERIZACIÓN	POSIBLE APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN	REFERENCIAS	
CHCA01	Química	Remoción de Cr (VI) Remoción de As (V) Excipientes en fármacos Remoción de $(PO_4)^{3-}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tratamiento de efluentes industriales donde exista la presencia de Cr (VI) p. ej: curtiembre</li> <li>Tratamiento de efluentes industriales donde exista la presencia de As (V), p. ej: efluentes metalúrgicos</li> <li>Preparación de protectores gastrointestinales y dermatológicos, recubrimientos de píldoras, antidiarreicos</li> <li>Tratamiento de soluciones acuosas donde exista la presencia de <math>(PO_4)^{3-}</math>, p. ej: efluentes agroindustriales y domésticos</li> </ul>	(Eloussaief et al., 2011) (Masindi et al., 2014) (Thanos et al., 2017) (Carretero y Pozo; 2009) (Carretero y Pozo; 2010) (Mukherjee y Ghosh; 2013) (Savic et al., 2014) (Hamdi y Srasra; 2012)	
					$SiO_2 = 52,14 \%$
					$Al_2O_3 = 17,88 \%$
					$Fe_2O_3 = 9,44 \%$
	$CaO = 4,90 \%$				
	Mineralógica				Cuarzo = 61,5 %
					Caolinita = 37,8 %
					Sílice = 0,7 %
	Fase				Glaucionita
					Caolinita
Antigorita					
CHLI01	Química	Desarrollo de Membranas Cerámicas Remoción de Cr (VI) Remoción de As (V) Fluidos de Perforación Remoción de Ni (II) y Cr (III) Excipientes en fármacos Remoción de $(PO_4)^{3-}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tratamiento de aguas residuales donde exista la presencia de Cr (VI); p. ej: curtiembre</li> <li>Tratamiento de efluentes industriales donde exista la presencia de As (V); p. ej: efluentes metalúrgicos</li> <li>Retención de contaminantes gaseosos; p. ej: <math>CO_2</math>, CO</li> <li>Extracción de gas natural-petróleo</li> <li>Tratamiento de aguas residuales industriales donde haya la presencia de Ni (II) y Cr (III); p. ej: curtiembre</li> <li>Preparación de protectores gastrointestinales y dermatológicos, recubrimientos de píldoras, antidiarreicos</li> <li>Tratamiento de soluciones acuosas donde exista la presencia de <math>(PO_4)^{3-}</math>, p. ej: efluentes agroindustriales y domésticos</li> </ul>	(Eloussaief et al., 2011) (Thanos et al., 2017) (Masindi et al., 2014) (Hedfi et al., 2014) (Aghamelu y Okogbue; 2015) (Afolabi et al., 2017) (Abdou y Abuseda; 2014) (Ghrab et al., 2014) (Carretero y Pozo; 2009) (Carretero y Pozo; 2010) (Mukherjee y Ghosh; 2013) (Savic et al., 2014) (Hamdi y Srasra; 2012)	
					$SiO_2 = 53,96 \%$
					$Al_2O_3 = 19,49 \%$
					$Fe_2O_3 = 5,10 \%$
	$CaO = 3,76 \%$				
	Mineralógica				Labradorita = 64,5 %
					Andesina = 29,5 %
					Albita = 6 %
	Fase				Glaucionita
					Clorita
Esmectita					
Vermiculita					

Realizado por: Danilo Jara. 2018

**Tabla 23-4:** Potenciales aplicaciones industriales de las muestras CHCH01 y CHPA01

MUESTRA	CARACTERIZACIÓN	POSIBLE APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN	REFERENCIAS	
CHCH01	Química	Remoción de As (V) Desarrollo de Membranas Cerámicas Remoción de Ni (II) y Cr (III) Fluidos de Perforación Excipientes en fármacos Remoción de (PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratamiento de efluentes industriales donde exista la presencia de As (V); p. ej: efluentes metalúrgicos</li> <li>• Retención de contaminantes gaseoso; p. ej: CO<sub>2</sub>, CO</li> <li>• Tratamiento de aguas residuales industriales donde haya la presencia de Ni (II) y Cr (III); p. ej: curtiembre</li> <li>• Extracción de gas natural-petróleo</li> <li>• Preparación de protectores gastrointestinales y dermatológicos, recubrimientos de píldoras, antidiarreicos</li> <li>• Tratamiento de soluciones acuosas donde exista la presencia de (PO<sub>4</sub>)<sup>3-</sup>, p. ej: efluentes agroindustriales y domésticos</li> </ul>	<p>(Masindi et al., 2014) (Hedfi et al., 2014) (Ghrab et al., 2014) (Aghamelu y Okogbue; 2015) (Afolabi et al., 2017) (Abdou y Abuseda; 2014) (Carretero y Pozo; 2009) (Carretero y Pozo; 2010) (Mukherjee y Ghosh; 2013) (Savic et al., 2014) (Hamdi y Srasra; 2012)</p>	
					SiO <sub>2</sub> = 52,96 %
					Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 16,04 %
					Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 6,55 %
	CaO = 4,80 %				
	Mineralógica				Labradorita = 52,3 %
					Anortoclasa = 32,7 %
					Albita = 15 %
	Fase				Glauconita
					Caolinita
Esmectita					
Vermiculita					
Antigorita					
CHPA01	Química	Remoción de Ni (II) y Cr (III) Fluidos de Perforación Excipientes en fármacos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratamiento de aguas residuales industriales donde exista la presencia de Ni (II) y Cr (III); p. ej: curtiembre</li> <li>• Extracción de gas natural-petróleo</li> <li>• Preparación de protectores gastrointestinales y dermatológicos, recubrimientos de píldoras, antidiarreicos</li> </ul>	<p>(Ghrab et al., 2014) (Aghamelu y Okogbue; 2015) (Afolabi et al., 2017) (Abdou y Abuseda; 2014) (Carretero y Pozo; 2009) (Carretero y Pozo; 2010) (Mukherjee y Ghosh; 2013) (Savic et al., 2014)</p>	
					SiO <sub>2</sub> = 55,04 %
					Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 17,90 %
					Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 8,63 %
	CaO = 0,97 %				
	Mineralógica				Moscovita = 92,5 %
					Dixenita = 7,5 %
	Fase				Glauconita
					Caolinita
					Vermiculita

Realizado por: Danilo Jara. 2018

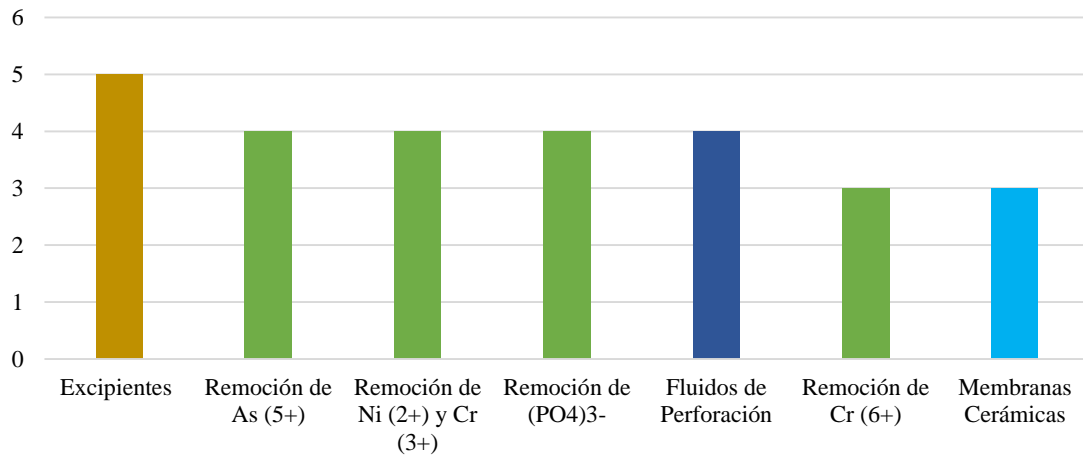
**Tabla 24-4:** Potenciales aplicaciones industriales de la muestra CHTA01

MUESTRA	CARACTERIZACIÓN		POSIBLE APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN	REFERENCIAS
CHTA01	Química	SiO <sub>2</sub> = 53,56 %	Remoción de Cr (VI) Desarrollo de Membranas Cerámicas Remoción de As (V) Remoción de Ni (II) y Cr (III) Fluidos de Perforación Excipientes en fármacos Remoción de (PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratamiento de aguas residuales donde exista la presencia de Cr (VI); p. ej: curtiembre</li> <li>• Retención de contaminantes gaseosos; p. ej: CO<sub>2</sub>, CO</li> <li>• Tratamiento de efluentes industriales donde exista la presencia de As (V); p. ej: efluentes metalúrgicos</li> <li>• Tratamiento de aguas residuales industriales donde exista la presencia de Ni (II) y Cr (III); p. ej: curtiembre</li> <li>• Extracción de gas natural-petróleo</li> <li>• Preparación de protectores gastrointestinales y dermatológicos, recubrimientos de pildoras, antidiarreicos</li> <li>• Tratamiento de soluciones acuosas donde exista la presencia de (PO<sub>4</sub>)<sup>3-</sup>, p. ej: efluentes agroindustriales y domésticos</li> </ul>	(Eloussaief et al., 2011) (Hedfi et al., 2014) (Masindi et al., 2014) (Ghrab et al., 2014) (Aghamelu y Okogbue; 2015) (Afolabi et al., 2017) (Abdou y Abuseda; 2014) (Carretero y Pozo; 2009) (Carretero y Pozo; 2010) (Mukherjee y Ghosh; 2013) (Savic et al., 2014) (Hamdi y Srasra; 2012)
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 23,39 %			
		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 1,55 %			
		CaO = 2,31 %			
	Mineralógica	Albita = 53,1 %			
		Andesina = 31,5 %			
		Anortita = 14,1 %			
		Vermiculita = 1,3 %			
	Fase	Caolinita			
		Clorita			
		Esmectita			
		Vermiculita			
		Antigorita			

Realizado por: Danilo Jara. 2018

Como se puede observar la mayoría de potenciales aplicaciones enunciadas en las Tablas 22-4, 23-4 y 24-4; giran en torno a la remoción de iones y metales pesados como: As<sup>5+</sup>, Cr<sup>3+</sup>, Cr<sup>6+</sup>, Ni<sup>2+</sup> y (PO<sub>4</sub>)<sup>3-</sup> en: soluciones acuosas y aguas residuales, seguida del Desarrollo de Membranas Cerámicas, Fluidos de Perforación y Excipientes en Fármacos. Estas aplicaciones se deben fundamentalmente a su capacidad de intercambio catiónico, así como también a que son materiales de reactividad nula.

## Número de Potenciales Aplicaciones Industriales para Minerales Arcillosos



**Gráfico 5-4:** Comparativa de potenciales aplicaciones industriales para minerales arcillosos de Chimborazo

**Realizado por:** Danilo Jara. 2018

## 4.2 Pruebas de Hipótesis

### Hipótesis Específicas

- *Los afloramientos y frentes de explotación de la Provincia de Chimborazo disponen de minerales con características fisicoquímicas consistentes con las de minerales arcillosos.*

**Tipo de hipótesis:** Descriptiva

El análisis de composición química, realizado por fluorescencia de rayos X, evidenció que la composición de las muestras analizadas, correspondientes a las locaciones Cacha, Licán, Chambo, Pallatanga y Tanquis presentan composición química afín a los valores aceptados de manera general para minerales arcillosos (Eloussaief et al., 2011; Aghamelu y Okogbue, 2015; Ghrab et al., 2014), según se puede observar en el siguiente cuadro:

**Tabla 25-4:** Comparación de composición química de minerales arcillosos de Chimborazo, respecto a referencias bibliográficas

Componente	Valor Referencial	Cacha	Licán	Chambo	Pallatanga	Tanquis
SiO <sub>2</sub>	52,24	52,14	53,96	52,96	55,04	53,56
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,12	17,88	19,49	16,04	17,90	23,39
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,13	9,44	5,10	6,55	8,63	1,55
MgO	3	1,01	0,74	1,13	1,34	0,56
Na <sub>2</sub> O	0,46	0,45	2,47	2,38	0,89	5,84

Realizado por: Danilo Jara. 2018

Como se observa el componente mayoritario en todos los casos es el sílice en torno al 50%, seguido de alúmina en torno al 20%, y valores minoritarios de óxido férrico, magnésico y sódico. En todos los casos de minerales se mantiene esta proporción general y el ordinal de proporciones es básicamente el mismo. Por lo anterior, se confirma la primera hipótesis científica.

- *Existe, al menos, una referencia en publicación científica o norma técnica para cada tipo de mineral arcilloso de la provincia.*

**Tipo de hipótesis:** Correlacional

En base al análisis bibliográfico, se identificó la existencia de múltiples referencias para los tipos de minerales similares a los estudiados en la presente investigación, según se puede observar en la siguiente tabla.

**Tabla 26-4:** Referencias bibliográficas afines a la caracterización mineralógica de minerales arcillosos

<b>Locación</b>	<b>Probable fase mineral</b>	<b>Referencias bibliográficas relevantes</b>
Cacha	Glauconita, Caolinita, Antigorita	(Ghrab et al., 2014) (Aghamelu y Okogbue; 2015) (Savic et al., 2014)
Licán	Glauconita, Clorita, Esmectita	(Masindi et al., 2014) (Ghrab et al., 2014) (Aghamelu y Okogbue; 2015) (Mukherjee y Ghosh; 2013)
Chambo	Glauconita, Caolinita, Esmectita	(Masindi et al., 2014) (Ghrab et al., 2014) (Aghamelu y Okogbue; 2015) (Mukherjee y Ghosh; 2013)
Pallatanga	Glauconita, Caolinita, Vermiculita	(Ghrab et al., 2014) (Aghamelu y Okogbue; 2015) (Savic et al., 2014)
Tanquis	Caolinita, Clorita, Esmectita,	(Ghrab et al., 2014) (Aghamelu y Okogbue; 2015) (Masindi et al., 2014) (Mukherjee y Ghosh; 2013)

Realizado por: Danilo Jara. 2018

Como se evidencia en el cuadro anterior, para cada mineral analizado y, específicamente para las fases identificadas por difracción de rayos x, se ha determinado al menos tres referencias bibliográficas respecto a su aplicación en escenarios industriales no convencionales; es decir, diferente de cerámica, fabricación de tejas, ladrillos y alfarería. Lo anterior evidencia el cumplimiento de la segunda hipótesis específica.

- *Los minerales arcillosos estudiados cumplen los requerimientos establecidos en publicaciones científicas y normas técnicas, para su aplicación industrial.*

**Tipo de hipótesis:** Correlacional

En el caso de esta hipótesis, su verificación fue parcial, puesto que no se identificó correlación en los tres criterios de triangulación utilizados (composición química, composición mineralógica y proporción porcentual de componentes), según se evidencia a continuación:

**Tabla 27-4:** Correlaciones mineral-aplicación encontradas por triangulación bibliográfica

<b>Locación</b>	<b>Aplicaciones industriales propuestas</b>	<b>Criterio de correlación</b>
Cacha	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remoción de Cr (VI) en efluentes industriales</li> <li>• Remoción de As (V) en efluentes industriales</li> <li>• Excipientes en fármacos</li> <li>• Remoción de <math>(PO_4)^{3-}</math> en soluciones acuosas</li> </ul>	Composición química Composición mineralógica Fase mineral
Licán	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remoción de Cr (VI) en efluentes industriales</li> <li>• Remoción de As (V) en efluentes industriales</li> <li>• Remoción de Ni (II) y Cr (III) en efluentes industriales</li> <li>• Remoción de <math>(PO_4)^{3-}</math> en soluciones acuosas</li> <li>• Desarrollo de membranas cerámicas</li> <li>• Excipientes en fármacos</li> <li>• Fluidos de perforación</li> </ul>	Composición química Fase mineral
Chambo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remoción de As (V) en efluentes industriales</li> <li>• Remoción de Ni (II) y Cr (III) en efluentes industriales</li> <li>• Remoción de <math>(PO_4)^{3-}</math> en soluciones acuosas</li> <li>• Excipientes en fármacos</li> <li>• Desarrollo de membranas cerámicas</li> <li>• Fluidos de perforación</li> </ul>	Composición química Fase mineral
Pallatanga	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remoción de Ni (II) y Cr (III) en efluentes industriales</li> <li>• Excipientes en fármacos</li> <li>• Fluidos de perforación</li> </ul>	Composición química Fase mineral
Tanquis	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remoción de Cr (VI) en efluentes industriales</li> <li>• Remoción de Ni (II) y Cr (III) en efluentes industriales</li> <li>• Remoción de As (V) en efluentes industriales</li> <li>• Remoción de <math>(PO_4)^{3-}</math> en soluciones acuosas</li> <li>• Desarrollo de membranas cerámicas</li> <li>• Excipientes en fármacos</li> <li>• Fluidos de perforación</li> </ul>	Composición química Fase mineral

**Realizado por:** Danilo Jara. 2018

Como se observa la correlación más significativa se da en el caso de la muestra de Cacha, aparte de la cual, las restantes son similitudes parciales. Lo anterior lleva a considerar que la tercera



hipótesis no puede considerarse demostrada, dejando un lugar para realizar una investigación más detallada de cada una de las muestras.

### **Hipótesis General**

- *Los minerales arcillosos de la Provincia de Chimborazo reúnen las propiedades fisicoquímicas necesarias para potenciales aplicaciones industriales.*

De lo evidenciado en las hipótesis específicas, y en sus cuadros correspondientes, queda verificada la potencialidad de los minerales arcillosos de la provincia de Chimborazo respecto a aplicaciones industriales adicionales a las convencionales. A partir de lo anterior deben realizarse estudios específicos de las condiciones o tratamientos necesarios para cada caso en particular.

## CONCLUSIONES.

- Los minerales arcillosos de la provincia de Chimborazo presentan una composición mineralógica que incluye fases, glauconita, caolinita, antigorita, clorita, esmectita, vermiculita; con predominancia de glauconita, caolinita, y esmectita
- La composición química de los minerales arcillosos de la provincia de Chimborazo presenta al SiO<sub>2</sub> como componente mayoritario (51,14 a 55,04 %), seguido de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (16,04 a 23,39 %), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1,55 a 9,44 %), CaO (0,97 a 4,90 %), Na<sub>2</sub>O (0,45 a 2,47 %); y MgO (0,56 a 1,34 %).
- Los minerales arcillosos de Chimborazo tienen presencia minoritaria de TiO<sub>2</sub> (0,47 a 1,09 %), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,02 a 0,2 %), MnO (0,05 a 0,12 %).
- Los minerales de Chimborazo incluyen trazas de: SO<sub>3</sub>, SrO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub>, CuO, ZnO, NiO, Rb<sub>2</sub>O, BaO, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y Cl.
- Los minerales arcillosos de Chimborazo presenta coloraciones que van desde el amarillo pálido hasta pardo oscuro; mismos que varían entre el estado húmedo y seco.
- Los minerales de Chimborazo presentan una sensación al tacto principalmente plástica, seguida untuosa y árida. Su consistencia varía entre frágil, suelta, y extremadamente firme.
- La textura de los minerales analizados es principalmente franco, seguido de arenosa y franco arcillosa.
- Las impurezas identificadas en las muestras son principalmente materia inorgánica.
- La densidad aparente de los minerales arcillosos analizados va desde 0,862 a 1,256 g/cm<sup>3</sup>.
- El contenido de carbonatos en las muestras es, por lo general, escaso.
- El contenido de materia orgánica es variable, partiendo desde nulo (zonas montañosas), pasando por escasa (zonas planas) y abundante hacia las estribaciones de la cordillera.
- En microscopía electrónica, las muestras reducidas y pasadas por tamiz #100 muestran una morfología variable, que va desde partículas sueltas hasta aglomeraciones compactadas, bordes sencillos hasta marcados; con tamaños entre 1,68 μm hasta 31,6 μm.
- Se identificaron las siguientes transiciones: pérdida de humedad hasta 200 °C, pérdida de material volátil entre 200 y 400 °C, deshidroxilación entre 400 y 750 °C, descarboxilación entre 750 y 850 °C, y cambio de ordenamiento a partir de los 850 °C.
- En base a la revisión bibliográfica de 47 papers y publicaciones científicas, se identificaron 24 potenciales aplicaciones industriales no tradicionales de minerales arcillosos en los campos de: remoción de metales pesados, desarrollo de membranas cerámicas, producción de papel, excipientes para la industria farmacéutica, arenas de moldeo para la industria de la fundición, lodos de perforación en la industria petrolera. Aunque no existe correlación

marcada, también podría considerarse las aplicaciones en clarificación de sidras y vinos, aglutinantes para pinturas.

- La triangulación realizada entre las características mineralógicas y químicas de los minerales arcillosos de Chimborazo y aquellas mencionadas en las fuentes bibliográficas consultadas dan como resultado las siguientes potenciales aplicaciones: retención de Cr (VI), retención de As (V), retención de Ni (II) y Cr (III), retención de  $(\text{PO}_4)^{3-}$ , desarrollo de membranas cerámicas, excipientes para industria farmacéutica, y posible uso en fluidos de perforación.

## **RECOMENDACIONES.**

- Ampliar los estudios específicos para cada locación de la provincia, con el fin de pormenorizar las propiedades fisicoquímicas de cada mineral arcilloso.
- Ampliar la base de datos de arcillas, con el fin de incluir comportamiento reológico, mecánico, cerámico, térmico; puesto que la aplicación en filtros y elementos de retención requieren caracterizaciones de este tipo.
- Si bien la triangulación coincide con el posible uso en fluidos de perforación, se debe evaluar las propiedades como viscosidad y tixotropía, las cuales permiten el uso de minerales arcillosos en este campo.
- Fortalecer a los laboratorios de la facultad de ciencias con instrumentos y equipamiento que permitan realizar estudios de ciencia y tecnología de materiales.
- Realizar estudios para definir los tratamientos o condiciones de aplicación de las arcillas de Chimborazo, de acuerdo con la lista de aplicaciones industriales propuesta; en particular en el campo de tratamiento de efluentes industriales donde existe mayor demanda.
- Desarrollar un estudio similar para el resto de provincias que conforman la zona 3 del país Tungurahua, Cotopaxi, Pastaza; con el fin de ampliar el conocimiento de minerales arcillosos.
- Realizar estudios adicionales para la caracterización de propiedades cuantitativas como: densidad, viscosidad, tamizado en húmedo, absorción de agua, etc.
- Como caso particular no reportado en los resultados, se recomienda estudiar la aplicabilidad de las arcillas de Licán o Tanquis para tratamiento de efluentes de la industria textilera, puesto que la bibliografía reporta uso de arcillas caoliníticas para retención de pigmentos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **ABDOU, M.I. y ABUSEDA, H.** "Improving the performance of clay from Gabal Um Qumar as drilling mud". *Egyptian Journal of Petroleum* [en línea], 2014, (Egipto) vol. 23 (2), pp. 213-220. [Consulta: 14 abril 2017]. ISSN 1110-0621. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejpe.2014.05.008>.
2. **AFOLABI, R.O., ORODU, O.D. y EFEOVBOKHAN, V.E.** "Properties and application of Nigerian bentonite clay deposits for drilling mud formulation: Recent advances and future prospects". *Applied Clay Science* [en línea], 2017, (Nigeria) vol. 143 (1), pp. 39-49. [Consulta: 17 abril 2017]. ISSN 01691317. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2017.03.009>.
3. **AGHAMELU, O.P. y OKOGBUE, C.O.** "Characterization of some clays from Nigeria for their use in drilling mud". *Applied Clay Science* [en línea], 2015, (Nigeria) vol. 116-117 (1), pp. 158-166. [Consulta: 17 abril 2017]. ISSN 01691317. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2015.08.025>.
4. **ALVARADO, A., MATA, R. y CHINCHILLA, M.** "Arcillas Identificadas en Suelos de Costa Rica a Nivel Generalizado Durante el Período 1931-2014: II. Mineralogía De Arcillas en Suelos con Características Vérticas y Oxídico Caoliníticas". *Agronomía Costarricense* [en línea], 2014, (Costa Rica) vol. 38 (1), pp. 107-131. [Consulta: 18 abril 2017]. ISSN 0377-9424. Disponible en: [http://mag.go.cr/rev\\_agr/index.html](http://mag.go.cr/rev_agr/index.html).
5. **ALVAREZ BLANCO, F.** *Lección 3.- Cerámicas/Propiedades de las Arcillas* [en línea], 2005. [Consulta: 16 julio 2017]. Disponible en: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion3.PropiedadesArcillas.pdf>.
6. **ASTM D 2974-00.** *Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils.*
7. **BESOAIN, E.** *Mineralogía de Arcillas de Suelos* [en línea]. San José-Costa Rica: Serie de Libros y Materiales Educativos - IICA, 1985. [Consulta: 30 julio 2017]. Disponible en: [http://dlx.b-ok.org/genesis/806000/e4775c898a191fd171db1eebfd29522f/\\_as/\[Eduardo\\_Besoain\]\\_Mineralogía\\_de\\_arcillas\\_de\\_suel\(b-ok.org\).pdf](http://dlx.b-ok.org/genesis/806000/e4775c898a191fd171db1eebfd29522f/_as/[Eduardo_Besoain]_Mineralogía_de_arcillas_de_suel(b-ok.org).pdf).

8. **CARRETERO, M.I. y POZO, M.** "Clay and Non-Clay Minerals in the Pharmaceutical Industry Part I. Excipients and Medical Applications". *Applied Clay Science* [en línea], 2009, (España) vol. 46 (1), pp. 73-80. [Consulta: 20 noviembre 2017]. ISSN 0169-1317. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S016913170900177X>.
9. **CARRETERO, M.I. y POZO, M.** "Clay and Non-Clay Minerals in the Pharmaceutical and Cosmetic Industries Part II. Active Ingredients". *Applied Clay Science* [en línea], 2010, (España) vol. 47 (3-4), pp. 171-181. [Consulta: 20 noviembre 2017]. ISSN 0169-1317. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169131709002816>.
10. **CONSTAN, C.** *Clay Mineral XRD Sample Preparation and Interpretation* [en línea], 2012. [Consulta: 15 enero 2018]. Disponible en: <http://epswww.unm.edu/media/pdf/Clay-Sample-Prep-and-Interp-2012.pdf>.
11. **DE PABLO, L.** "Las Arcillas: Clasificación, Identificación, Usos y Especificaciones Industriales". *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* [en línea], 1964, (México) vol. 27 (2), pp. 49-92. [Consulta: 18 julio 2017]. Disponible en: <http://boletinsgm.igeolcu.unam.mx/bsgm/vols/epoca03/2702/de-pablo.pdf>.
12. **DÍAZ RODRÍGUEZ, L.A. y TORRECILLAS, R.** "Arcillas Cerámicas: Una Revisión de Sus Distintos Tipos, Significados y Aplicaciones". *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio* [en línea], 2002, (España) vol. 41 (5), pp. 459-470. [Consulta: 19 julio 2017]. ISSN 03663175. Disponible en: <http://boletines.secv.es/upload/20090429105008.200241459.pdf>.
13. **ECUADOR. AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL MINERO - ARCOM.** *Concesiones de Arcilla*. Riobamba: 2017.
14. **ECUADOR. CORPORACIÓN DE DESARROLLO E INVESTIGACIÓN GEOLOGICO-MINERO-METALURGICA - CODIGEM.** *Inventario de Materias Primas No Metálicas en el Ecuador, Tomo XV: Provincia de Chimborazo*. Quito: 1997. pp. 1-182.
15. **ELOUSSAIEF, M., et al.** "Mineralogical identification, spectroscopic characterization, and potential environmental use of natural clay materials on chromate removal from aqueous solutions". *Chemical Engineering Journal* [en línea], 2011, (Arabia Saudita) vol. 168 (3), pp. 1024-1031. [Consulta: 10 junio 2017]. ISSN 13858947. Disponible en:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2011.01.077>.

16. **GARCÍA, E. y SUÁREZ, M.** *Las Arcillas: Propiedades y Usos* [en línea], 2004. [Consulta: 17 julio 2017]. Disponible en: <http://campus.usal.es/~delcien/doc/GA.PDF>.
17. **GARCÍA GARCÍA, C.P.** *Algunos Análisis Físico - Químicos Para la Identificación de los Minerales Componentes de una Arcilla* [en línea], 1997. [Consulta: 9 septiembre 2017]. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/8410/1/430740030.1997.pdf>.
18. **GHRAB, S., et al.** "Chromium and nickel removal from industrial wastewater using Tunisian clay". *Desalination and Water Treatment* [en línea], 2014, (Tunisia) vol. 52 (10-12), pp. 2253-2260. [Consulta: 7 mayo 2017]. ISSN 1944-3994. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19443994.2013.805165>.
19. **GÓMEZ, M. y VIDAL, S.** "Correlación de Determinación de Humedad de Suelos por Medio de Secado en Horno y en Microondas". *Revista de la Construcción* [en línea], 2007, (Chile) vol. 6 (1), pp. 28-34. [Consulta: 11 diciembre 2017]. Disponible en: <https://repositorio.uc.cl/bitstream/handle/11534/11392/000483924.pdf?sequence=1>.
20. **GUGGENHEIM, S. y MARTIN, R.T.** "Definition of Clay and Clay Mineral: Joint Report of The AIPEA Nomenclature and CMS Nomenclature Committees". *Clays and Clay Minerals* [en línea], 1995, (Estados Unidos) vol. 43 (2), pp. 255-256. [Consulta: 18 julio 2017]. Disponible en: <http://www.clays.org/journal/archive/volume 43/43-2-255.pdf>.
21. **HAMDI, N. y SRASRA, E.** "Removal of phosphate ions from aqueous solution using Tunisian clays minerals and synthetic zeolite". *Journal of Environmental Sciences* [en línea], 2012, (Iran) vol. 24 (4), pp. 617-623. [Consulta: 28 diciembre 2017]. ISSN 1001-0742. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1001074211607912>.
22. **HEDFI, I., et al.** "The preparation of micro-porous membrane from a Tunisian kaolin". *Applied Clay Science* [en línea], 2014, (Tunisia) vol. 101, pp. 574-578. [Consulta: 13 mayo 2017]. ISSN 0169-1317. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2014.09.021>.
23. **IBÁÑEZ ASENSIO, S., GISBERT BLANQUER, J.M. y MORENO RAMÓN, H.** *Filosilicatos 2:1* [en línea], s/n. [Consulta: 10 septiembre 2017]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12885/Filosilicatos 21.pdf?sequence=3>.

24. **JORDÁN LÓPEZ, A.** *Munsell: Soil Color Charts* [en línea], 2014. [Consulta: 2 diciembre 2017]. Disponible en: <https://blogs.egu.eu/divisions/sss/2014/03/30/soil-color-never-lies/>.
25. **LÓPEZ GONZÁLEZ, J.M.** *Las Arcillas como Minerales Industriales: Caolines, Bentonitas y Arcillas Especiales* [en línea], 2000. [Consulta: 7 septiembre 2017]. Disponible en: <http://www.unizar.es/acz/02AcademicosNumerarios/Discursos/Gonzalez.pdf>.
26. **MARÍA, J., et al.** "Sistema de Notación Munsell y CIELab como herramienta para evaluación de color en suelos". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* [en línea], 2012, (México) vol. 3, pp. 141-155. [Consulta: 27 noviembre 2017]. ISSN 2007-0934. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v3n1/v3n1a10.pdf>.
27. **MASINDI, V., et al.** "Application of magnesite–bentonite clay composite as an alternative technology for removal of arsenic from industrial effluents". *Toxicological and Environmental Chemistry* [en línea], 2014, (Sudáfrica) vol. 96 (10), pp. 1435-1451. [Consulta: 12 octubre 2017]. ISSN 10290486-02772248. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/02772248.2014.966714>.
28. **MORALES GÜETO, J.** *Tecnología de los Materiales Cerámicos* [en línea]. Madrid-España: Díaz de Santos, 2005. [Consulta: 20 septiembre 2017]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=TuWaxjnVOqIC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>.
29. **MUKHERJEE, S. y GHOSH, B.** *The Science of Clays: Applications in Industry, Engineering and Environment*. Nueva Delhi-India: Springer, 2013. ISBN 9789400766839, pp.1-335.
30. **NTE INEN 695:2010.** *Áridos. Muestreo*.
31. **PELLEGRINI, A.** *Tema 3:Textura y Color del Suelo* [en línea], 2014. [Consulta: 27 noviembre 2017]. Disponible en: [http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/18319/mod\\_resource/content/2/TEMA\\_3\\_TEXTURA\\_Y\\_COLOR.pdf](http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/18319/mod_resource/content/2/TEMA_3_TEXTURA_Y_COLOR.pdf).
32. **REYES JARAMILLO, I.** "Las Arcillas:Barro, Creación , Vida y Arte". *ContactoS 36* [en línea], 2000, (México), pp. 24-32. [Consulta: 13 septiembre 2017]. Disponible en: <http://www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n36ne/arcilla.pdf>.



33. **SAVIC, I., et al.** *Industrial Application of Clays and Clay Minerals* [en línea]. New York-Estados Unidos: Nova Science Publishers, 2014. [Consulta: 13 agosto 2017]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/292519555\\_Industrial\\_application\\_of\\_clays\\_and\\_clay\\_minerals](https://www.researchgate.net/publication/292519555_Industrial_application_of_clays_and_clay_minerals).
34. **THANOS, A.G., et al.** "Cr(VI) removal from aqueous solutions using aluminosilicate minerals in their Pb-exchanged forms". *Applied Clay Science* [en línea], 2017, (Grecia) vol. 147, pp. 54-62. [Consulta: 28 diciembre 2017]. ISSN 0169-1317. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169131717302442>.
35. **THE CLAY MINERAL SOCIETY.** *The Clay Minerals Society Glossary For Clay Science Project* [en línea], 2016. [Consulta 16 septiembre 2017]. Disponible en: <http://www.clays.org/ClayTermsApril2017.pdf>.
36. **URIBE, R.A.** "Investigaciones de Materias Primas Minerales No Metálicas en el Ecuador". *Revista Politécnica* [en línea], 2015, (Ecuador) vol. 36 (3), pp. 34-44. [Consulta: 10 marzo 2017]. Disponible en: [http://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista\\_politecnica2/article/view/607](http://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/607).
37. **URIBE, R. y CHICO, A.** *Control Tecnológico de Materias Primas*. Quito-Ecuador: EPN, 2016, pp. 1-194.
38. **VÁZQUEZ MALAGÓN, E. del C.** *Materiales Cerámicos: Propiedades, Aplicaciones y Elaboración* [en línea]. México D.F- México: UNAM, 2005. [Consulta: 14 agosto 2017]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=ar6MRNYWEsUC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>.
39. **WESLEY, L.R.** *Clays and Clay Minerals: Geological Origin, Mechanical Properties and Industrial Applications* [en línea]. New York-Estados Unidos: Nova Science, 2014. [Consulta: 28 septiembre 2017]. Disponible en: [http://www.toyota-ti.ac.jp/Lab/Zairyu/5z50/publications/14B1\\_clayandclayminerals\\_eBook.pdf](http://www.toyota-ti.ac.jp/Lab/Zairyu/5z50/publications/14B1_clayandclayminerals_eBook.pdf).

ANEXOS

ANEXO A: Tarjetas del inventario de materias primas no metálicas correspondientes a minerales arcillosos de la provincia de Chimborazo

<b>INVENTARIO DE MATERIAS PRIMAS NO METALICAS</b>				TARJETA N° 06001A	
CORPORACION DE DESARROLLO E INVESTIGACION GEOLOGICO-MINERO-METALURGICA					
<b>1.- NOMBRE DE LA MINA, AFLORAMIENTO, AREA</b> CACHA  MATERIAL <u>ARCILLA</u>		<b>2.- FASE</b> <input type="checkbox"/> INVESTIGACION <input type="checkbox"/> PROSPECCION <input type="checkbox"/> EXPLORACION <input checked="" type="checkbox"/> EXPLOTACION <input type="checkbox"/> ARCHIVADA		<b>3.- REFERENCIAS CATASTRO MINERO</b> FECHA DE PRESENTACION: _____	
<b>5.- COORDENADAS</b> UTM <input type="checkbox"/> GEOGRAFICAS <input type="checkbox"/> X (h) <u>755.8</u> Y (v) <u>9811.3</u>		<b>6.- SITUACION ACTUAL</b> <input type="checkbox"/> TRABAJANDO <input type="checkbox"/> DE IMPORTANCIA GEOLOGICA <input checked="" type="checkbox"/> TRABAJOS ESPORADICOS <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> NO TRABAJA <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> AGOTADA		<b>7.- EMPRESA</b> NOMBRE: _____ REPRESENTANTE: _____ DIRECCION: _____ TELF.: _____	
<b>9.- VISITADO POR:</b> <u>Dr. F. Wolff/A. Racines</u> <b>FECHA:</b> <u>24-10-90</u>		<b>11.- DRENAJE EN LA MINA</b> Sobre el lecho del río		<b>12.- SOBRECARGA</b> 0 mt - varios metros	
<b>10.- GEOLOGIA</b> Riolita hidrotermalmente alterada de color crema-blanco, cubierta con material de cangagua, el largo del afloramiento unos 40 mt. por una altura de 10 mt.		<b>13.- PARAMETROS GEOECONOMICOS (Acceso, Infraestructura, etc.)</b> El acceso se lo realiza por la carretera que va desde Riobamba hasta la parroquia Yaruquies, se pasa la misma y se toma el carretero para la comuna Cacha, pasamos el Río Bachuq al lado derecho se encuentra la mina.			
<b>14.- RESERVAS</b> De importancia local		<b>15.- CONSUMO DE ENERGIA</b>		<b>17.- POTENCIAL DE PRODUCCION</b> Nº TRABAJADORES _____ días a la semana: _____ meses al año: _____	
		<b>16.- METODO DE EXPLOTACION</b> Manual. Cielo abierto  maquinaria: _____		<b>18.- PRODUCCION ANUAL</b>	

## INVENTARIO DE MATERIAS PRIMAS NO METALICAS

CORPORACION DE DESARROLLO E INVESTIGACION GEOLOGICO-MINERO-METALURGICA

TARJETA N° 24 25 26 27 28 29

<b>1.- NOMBRE DE LA MINA, AFLORAMIENTO, AREA</b>  CACHA - CHUYUQ  MATERIAL <u>ARCILLA</u>		<b>2.- FASE</b> <input type="checkbox"/> INVESTIGACION <input type="checkbox"/> PROSPECCION <input type="checkbox"/> EXPLORACION <input checked="" type="checkbox"/> EXPLOTACION <input type="checkbox"/> ARCHIVADA	<b>3.- REFERENCIAS CATASTRO MINERO</b>  FECHA DE PRESENTACION:	<b>4.- UBICACION</b> <input checked="" type="checkbox"/> HOJA TOPOGRAFICA <input type="checkbox"/> PLANIMETRICA NOMBRE <u>Riobamba</u> CANTON <u>Riobamba</u> ESCALA <u>1:50.000</u> PARROQUIA <u>Yaruquies</u> PROVINCIA <u>Chimborazo</u> SECTOR <u>Cacha Chuyuy</u>  <input type="checkbox"/> FOTOGRAFIA AEREA	
<b>5.- COORDENADAS</b> UTM <input type="checkbox"/> GEOGRAFICAS <input type="checkbox"/> 3.500 mt X (h) <u>754.7</u> Y (v) <u>9808.5</u>	<b>6.- SITUACION ACTUAL</b> <input type="checkbox"/> TRABAJANDO <input type="checkbox"/> DE IMPORTANCIA GEOLOGICA <input checked="" type="checkbox"/> TRABAJOS ESPORADICOS <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> NO TRABAJA <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> AGOTADA		<b>7.- EMPRESA</b> NOMBRE: _____ REPRESENTANTE: _____ DIRECCION: _____ TELF: _____		<b>8.- USO Y MERCADO</b>
<b>9.- VISITADO POR:</b> _____ <b>FECHA:</b> _____ <u>Racines A/Wolff F.</u> <u>24-10-90</u>		<b>11.- DRENAJE EN LA MINA</b> Natural		<b>12.- SOBRECARGA</b> 0,70 mt.	
<b>10.- GEOLOGIA</b> El cerro Chuyuy, cubierto con diferentes horizontes de Cangagua, en la misma se encuentra un Paleosuelo de potencia de 1 mt. en forma lenticular de color café oscuro, esta cubierta por una capa de 50 cm. de cangagua cubierto por una capa vegetal que va 10 cm hasta 1 mt.		<b>13.- PARAMETROS GEOECONOMICOS (ACCESO, Infraestructura, etc.)</b> Desde la ciudad de Riobamba hasta Yaruquies y luego a la comuna Cacha			
<b>14.- RESERVAS</b>	<b>15.- CONSUMO DE ENERGIA</b>	<b>16.- METODO DE EXPLOTACION</b> Cielo abierto, no mecanizado	<b>17.- POTENCIAL DE PRODUCCION</b> Nº TRABAJADORES _____  Dias _____ Meses/Años _____	<b>18.- PRODUCCION ANUAL</b>	

## INVENTARIO DE MATERIAS PRIMAS NO METALICAS

CORPORACION DE DESARROLLO E INVESTIGACION GEOLOGICO-MINERO-METALURGICA

TARJETA N° 016003 Ar

<b>1.- NOMBRE DE LA MINA, AFLORAMIENTO, AREA</b> SANTIAGO  <b>MATERIAL</b> Arcilla	<b>2.- FASE</b> <input type="checkbox"/> INVESTIGACION <input type="checkbox"/> PROSPECCION <input type="checkbox"/> EXPLORACION <input checked="" type="checkbox"/> EXPLOTACION <input type="checkbox"/> ARCHIVADA	<b>3.- REFERENCIAS CATASTRO MINERO</b> FECHA DE PRESENTACION:	<b>4.- UBICACION</b> <input checked="" type="checkbox"/> HOJA TOPOGRAFICA <input type="checkbox"/> PLANIMETRICA NOMBRE TIXAN CANTON Pallatanga ESCALA 1:50.000 PARROQUIA Pallatanga PROVINCIA Chimborazo SECTOR Santiago <input type="checkbox"/> FOTOGRAFIA AEREA	
<b>5.- COORDENADAS</b> UTM <input checked="" type="checkbox"/> GEOGRAFICAS <input type="checkbox"/> X (h) 724.1 Y (v) 9770.8	<b>6.- SITUACION ACTUAL</b> <input type="checkbox"/> TRABAJANDO <input type="checkbox"/> DE IMPORTANCIA GEOLOGICA <input checked="" type="checkbox"/> TRABAJOS ESPORADICOS <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> NO TRABAJA <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> AGOTADA	<b>7.- EMPRESA</b> NOMBRE: Ecuatoriana de Cerámica REPRESENTANTE: DIRECCION: TELF.:	<b>8.- USO:</b> Industria cerámica MERCADO: Riobamba	
<b>9.- VISITADO POR:</b> Brito, S./Albán, H. FECHA: 95-12-09	<b>11.- DRENAJE EN LA MINA</b> Natural	<b>12.- SOBRECARGA</b> Ninguna		
<b>10.- GEOLOGIA</b> Se presentan arcillas de color rojo, producto de la meteorización de las rocas pertenecientes al "Flysch" de Multitud, pudiendo ser la roca madre las argilitas de esta formación Yunguilla del Cretácico Superior (Hoja Geológica Alausí, escala 1:100.000).		<b>13.- PARAMETROS GEDECONOMICOS</b> (Acceso, Infraestructura, etc.) El acceso se lo realiza por la carretera asfaltada Riobamba - Pallatanga-Bucay, el depósito esta ubicado al sur de Pallatanga, 1 km antes del Caserío Santiago. El frente de explotación e irregular, aparece en forma de media luna y tiene 50 m de longitud por 6 m de altura.		
<b>14.- RESERVAS</b> No calculadas	<b>15.- CONSUMO DE ENERGIA</b>	<b>16.- METODO DE EXPLOTACION</b> Cielo abierto maquinaria: Pala mecánica, volquetes	<b>17.- POTENCIAL DE PRODUCCION</b> N° TRABAJADORES días a la semana: meses al año:	<b>18.- PRODUCCION ANUAL</b>

## INVENTARIO DE MATERIAS PRIMAS NO METALICAS

TARJETA N° 0 6 0 0 4 Ar

CORPORACION DE DESARROLLO E INVESTIGACION GEOLOGICO-MINERO-METALURGICA

<b>1.- NOMBRE DE LA MINA, AFLORAMIENTO, AREA</b> HACIENDA EL TOLDO  MATERIAL Arcilla (común)		<b>2.- FASE</b> <input type="checkbox"/> INVESTIGACION <input type="checkbox"/> PROSPECCION <input type="checkbox"/> EXPLORACION <input checked="" type="checkbox"/> EXPLOTACION <input type="checkbox"/> ARCHIVADA	<b>3.- REFERENCIAS CATASTRO MINERO</b> FECHA DE PRESENTACION:	<b>4.- UBICACION</b> <input checked="" type="checkbox"/> HOJA TOPOGRAFICA <input type="checkbox"/> PLANIMETRICA NOMBRE GUANO CANTON Riobamba ESCALA 1:50.000 PARROQUIA Quimiag PROVINCIA Chimborazo SECTOR El Toldo <input type="checkbox"/> FOTOGRAFIA AEREA	
<b>5.- COORDENADAS</b> UTM <input checked="" type="checkbox"/> GEOGRAFICAS <input type="checkbox"/> X (h) 772.4 Y (v) 9816.8	<b>6.- SITUACION ACTUAL</b> <input type="checkbox"/> TRABAJANDO <input type="checkbox"/> DE IMPORTANCIA GEOLOGICA <input type="checkbox"/> TRABAJOS ESPORADICOS <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> NO TRABAJA <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> AGOTADA	<b>7.- EMPRESA</b> NOMBRE: REPRESENTANTE: Nancy Martínez DIRECCION: TELF.:		<b>8.- USO:</b> Ladrillera en Riobamba  MERCADO: Riobamba	
<b>9.- VISITADO POR:</b> Brito, S./Albán, H. <b>FECHA:</b> 95-11-08		<b>11.- DRENAJE EN LA MINA</b>	<b>12.- SOBRECARGA</b> Pocos cm. capa vegetal		
<b>10.- GEOLOGIA</b> Perfil de suelo desarrollado sobre la toba y cangagua de los Volcánicos de El Altar. La capa superior de suelo aprovechable tiene 1.5 m de espesor y es de color negro. El afloramiento se halla en el declive de una montaña y la explotación a cielo abierto sigue la pendiente del terreno.		<b>13.- PARAMETROS GEDECONOMICOS</b> (Acceso, Infraestructura, etc.) El acceso se lo realiza por la carretera pavimentada Riobamba-Cubijies-Penipe, desde Cubijies se toma el carretero secundario que conduce a Quimiag, desde esta última población se sigue un carretero de tercer orden por unos 2.2 Km hacia el Este, lugar donde está ubicada la cantera. Al momento de la visita se ha explotado un bloque de 50 x 15 x 1.5 m. La infraestructura es insuficiente, ya que no hay energía eléctrica. En este lugar se tomó una muestra para análisis mineralógico y pruebas cerámicas.			
<b>14.- RESERVAS</b> No calculadas	<b>15.- CONSUMO DE ENERGIA</b>	<b>16.- METODO DE EXPLOTACION</b> Cielo Abierto maquinaria: Manual	<b>17.- POTENCIAL DE PRODUCCION</b> N° TRABAJADORES días a la semana: meses al año:	<b>18.- PRODUCCION ANUAL</b>	

## INVENTARIO DE MATERIAS PRIMAS NO METALICAS

CORPORACION DE DESARROLLO E INVESTIGACION GEOLOGICO-MINERO-METALURGICA

TARJETA N° 0 6 0 0 5 Ar

<b>1.- NOMBRE DE LA MINA, AFLORAMIENTO, AREA</b> PIRCABAMBA  MATERIAL <u>Arcilla</u>		<b>2.- FASE</b> <input type="checkbox"/> INVESTIGACION <input type="checkbox"/> PROSPECCION <input type="checkbox"/> EXPLORACION <input checked="" type="checkbox"/> EXPLOTACION <input type="checkbox"/> ARCHIVADA		<b>3.- REFERENCIAS CATASTRO MINERO</b> FECHA DE PRESENTACION:		<b>4.- UBICACION</b> <input checked="" type="checkbox"/> HOJA TOPOGRAFICA <input type="checkbox"/> PLANIMETRICA NOMBRE <u>Alausí</u> CANTON <u>Alausí</u> ESCALA <u>1:50.000</u> PARROQUIA _____ PROVINCIA <u>Chimborazo</u> SECTOR <u>Pircabamba</u> <input type="checkbox"/> FOTOGRAFIA AEREA			
<b>5.- COORDENADAS</b> UTM <input checked="" type="checkbox"/> GEOGRAFICAS <input type="checkbox"/> X (h) <u>739.3</u> Y (v) <u>9757.3</u>		<b>6.- SITUACION ACTUAL</b> <input checked="" type="checkbox"/> TRABAJANDO <input type="checkbox"/> DE IMPORTANCIA GEOLOGICA <input type="checkbox"/> TRABAJOS ESPORADICOS <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> NO TRABAJA <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> AGOTADA		<b>7.- EMPRESA</b> NOMBRE: _____ REPRESENTANTE: _____ DIRECCION: _____ TELF.: _____		<b>8.- USO:</b> <u>Fabricación de ladrillos</u> MERCADO: <u>Local</u>			
<b>9.- VISITADO POR:</b> <u>Brito S./Albán H.</u> <b>FECHA:</b> <u>95.12.14.</u>			<b>11.- DRENAJE EN LA MINA</b> <u>Natural</u>		<b>12.- SOBRECARGA</b> <u>Ninguna</u>				
<b>10.- GEOLOGIA</b>  Depósito coluvial ubicado en el talud de la carretera, sobre el margen izquierdo del río Alausí, formado por una capa superficial de cangagua.			<b>13.- PARAMETROS GEOECONOMICOS (Acceso, Infraestructura, etc.)</b>  El acceso a la cantera se lo realiza por la carretera Panamerica Sur, tramo Riobamba-Alausí, luego 1.9 Km por la carretera secundaria Alausí-Sibambe, donde se encuentra un horno en funcionamiento, con capacidad de producción de 12.000 ladrillos. Para la quema se utiliza leña de eucalipto, en este sitio se ha agotado el material arcilloso, razón por la cual la materia prima se explota de otros sitios cercanos. En el sector hay otro horno con 7.000 ladrillos de producción; se realizan 10 quemas al año, siendo el precio por unidad de S/. 250, en el momento de la visita.						
<b>14.- RESERVAS</b>		<b>15.- CONSUMO DE ENERGIA</b>		<b>16.- METODO DE EXPLOTACION</b> <u>Cielo abierto</u> maquinaria: <u>Manual</u>		<b>17.- POTENCIAL DE PRODUCCION</b> Nº TRABAJADORES <u>5</u> días a la semana: <u>5</u> meses al año: <u>10</u>		<b>18.- PRODUCCION ANUAL</b>	

## INVENTARIO DE MATERIAS PRIMAS NO METALICAS

CORPORACION DE DESARROLLO E INVESTIGACION GEOLOGICO-MINERO-METALURGICA

TARJETA N° 0 6 0 0 6 Ar

<b>1.- NOMBRE DE LA MINA, AFLORAMIENTO, AREA</b> PATARATA  MATERIAL <u>Arcilla</u>		<b>2.- FASE</b> <input type="checkbox"/> INVESTIGACION <input type="checkbox"/> PROSPECCION <input type="checkbox"/> EXPLORACION <input checked="" type="checkbox"/> EXPLOTACION <input type="checkbox"/> ARCHIVADA		<b>3.- REFERENCIAS CATASTRO MINERO</b> FECHA DE PRESENTACION:		<b>4.- UBICACION</b> <input checked="" type="checkbox"/> HOJA TOPOGRAFICA <input type="checkbox"/> PLANIMETRICA NOMBRE <u>Alausí</u> CANTON <u>Alausí</u> ESCALA <u>1:50.000</u> PARROQUIA PROVINCIA <u>Chimborazo</u> SECTOR <u>Patarata</u> <input type="checkbox"/> FOTOGRAFIA AEREA	
<b>5.- COORDENADAS</b> UTM <input checked="" type="checkbox"/> GEOGRAFICAS <input type="checkbox"/> X (h) <u>739.3</u> Y (v) <u>9754.3</u>		<b>6.- SITUACION ACTUAL</b> <input checked="" type="checkbox"/> TRABAJANDO <input type="checkbox"/> DE IMPORTANCIA GEOLOGICA <input type="checkbox"/> TRABAJOS ESPORADICOS <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> NO TRABAJA <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> AGOTADA		<b>7.- EMPRESA</b> NOMBRE: REPRESENTANTE: DIRECCION: TELF.:		<b>8.- USO:</b> <u>Fabricación ladrillos</u> MERCADO: <u>Local</u>	
<b>9.- VISITADO POR:</b> <u>Brito S./Albán H.</u> <b>FECHA:</b> <u>95.12.14.</u>			<b>11.- DRENAJE EN LA MINA</b> <u>Natural</u>		<b>12.- SOBRECARGA</b> <u>Ninguna</u>		
<b>10.- GEOLOGIA</b>  Afloramiento de un aglomerado volcánico de la Formación Alausí del Paleógeno, cubierto parcialmente por cangagua, pudiéndose observar un nivel de paleosuelo debajo de ésta.				<b>13.- PARAMETROS GEDECONOMICOS (Acceso, Infraestructura, etc.)</b>  El acceso a la ladrillera se lo realiza por la carretera Panamerica Sur, tramo Riobamba-Alausí, 6.5 Km al sur de esta última, a un costado de la carretera, con capacidad de producción de 14.500 ladrillos, usándose para quemar leña de eucalipto. El frente de explotación tiene una franja alargada de cangagua y suelo de 8 m. de largo por 3 m. de altura. La pasta cerámica se obtiene de la mezcla en proporciones iguales de suelo y cangagua. El precio por unidad es de S/. 235 en el momento de la visita.			
<b>14.- RESERVAS</b> <u>No calculadas</u>		<b>15.- CONSUMO DE ENERGIA</b>		<b>16.- METODO DE EXPLOTACION</b> <u>Cielo abierto</u>  maquinaria: <u>Manual</u>		<b>17.- POTENCIAL DE PRODUCCION</b> N° TRABAJADORES  días a la semana:  meses al año:	
<b>18.- PRODUCCION ANUAL</b>							

## INVENTARIO DE MATERIAS PRIMAS NO METALICAS

CORPORACION DE DESARROLLO E INVESTIGACION GEOLOGICO-MINERO-METALURGICA

TARJETA N° 05 007 Ar

<b>1.- NOMBRE DE LA MINA, AFLORAMIENTO, AREA</b> La Moya 2		<b>2.- FASE</b> <input type="checkbox"/> INVESTIGACION <input type="checkbox"/> PROSPECCION <input type="checkbox"/> EXPLORACION <input checked="" type="checkbox"/> EXPLOTACION <input type="checkbox"/> ARCHIVADA		<b>3.- REFERENCIAS CATASTRO MINERO</b> FECHA DE PRESENTACION:		<b>4.- UBICACION</b> <input checked="" type="checkbox"/> HOJA TOPOGRAFICA <input type="checkbox"/> PLANIMETRICA NOMBRE <u>Alausí</u> CANTON <u>Alausí</u> ESCALA <u>1:50.000</u> PARROQUIA <u>Guasuntos</u> PROVINCIA <u>Chimborazo</u> SECTOR <u>La Moya</u> <input type="checkbox"/> FOTOGRAFIA AEREA		
<b>MATERIAL</b> <u>Arcilla</u>		<b>5.- COORDENADAS</b> UTM <input checked="" type="checkbox"/> GEOGRAFICAS <input type="checkbox"/> X (h) <u>744.2</u> Y (v) <u>9753.3</u>		<b>6.- SITUACION ACTUAL</b> <input checked="" type="checkbox"/> TRABAJANDO <input type="checkbox"/> DE IMPORTANCIA GEOLOGICA <input type="checkbox"/> TRABAJOS ESPORADICOS <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> NO TRABAJA <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> AGOTADA		<b>7.- EMPRESA</b> NOMBRE: _____ REPRESENTANTE: _____ DIRECCION: _____ TELF.: _____		<b>8.- USO: Fabricación de ladrillos</b> MERCADO: <u>Local</u>
<b>9.- VISITADO POR:</b> <u>Brito S./Albán H.</u>		<b>FECHA:</b> <u>95.12.14.</u>		<b>11.- DRENAJE EN LA MINA</b> <u>Natural</u>		<b>12.- SOBRECARGA</b> <u>Ninguna</u>		
<b>10.- GEOLOGIA</b> Ladrillera ubicada sobre un pequeño coluvial, depositado al pie de una loma, a un costado de la carretera, conformado por cangagua transportada, la misma que tiene clastos angulosos de andesita de diferentes tamaños, bajo el coluvial se presenta un aglomerado andesítico de la Formación Alausí del Paleógeno.				<b>13.- PARAMETROS GEDECONOMICOS (Acceso, Infraestructura, etc.)</b> El acceso a la ladrillera se lo realiza por la carretera Panamerica Sur, tramo Riobamba-Alausí-La Moya, 300 m. antes de ésta última a un costado de la carretera. El horno tiene una capacidad de 6.000 piezas. Cerca de la mencionada, se encuentra otra ladrillera de similares características. El precio del ladrillo es de S/. 300 al momento de la visita.				
<b>14.- RESERVAS</b> <u>No calculadas</u>		<b>15.- CONSUMO DE ENERGIA</b>		<b>16.- METODO DE EXPLOTACION</b> <u>Cielo abierto</u> maquinaria: <u>Manual</u>		<b>17.- POTENCIAL DE PRODUCCION</b> Nº TRABAJADORES <u>2</u> días a la semana: <u>5</u> meses al año: <u>10</u>		<b>18.- PRODUCCION ANUAL</b>



## INVENTARIO DE MATERIAS PRIMAS NO METALICAS

CORPORACION DE DESARROLLO E INVESTIGACION GEOLOGICO-MINERO-METALURGICA

TARJETA N° 0 6 0 0 8 Ar

<b>1.- NOMBRE DE LA MINA, AFLORAMIENTO, AREA</b> LA PAMPA  <b>MATERIAL</b> Arcilla		<b>2.- FASE</b> <input type="checkbox"/> INVESTIGACION <input type="checkbox"/> PROSPECCION <input type="checkbox"/> EXPLORACION <input checked="" type="checkbox"/> EXPLOTACION <input type="checkbox"/> ARCHIVADA		<b>3.- REFERENCIAS CATASTRO MINERO</b> FECHA DE PRESENTACION:		<b>4.- UBICACION</b> <input checked="" type="checkbox"/> HOJA TOPOGRAFICA <input type="checkbox"/> PLANIMETRICA NOMBRE Riobamba CANTON Chambo ESCALA 1:50.000 PARROQUIA Chambo PROVINCIA Chimborazo SECTOR La Pampa <input type="checkbox"/> FOTOGRAFIA AEREA			
<b>5.- COORDENADAS</b> UTM <input checked="" type="checkbox"/> GEOGRAFICAS <input type="checkbox"/> X (h) 770.5 Y (v) 9808.3		<b>6.- SITUACION ACTUAL</b> <input checked="" type="checkbox"/> TRABAJANDO <input type="checkbox"/> DE IMPORTANCIA GEOLOGICA <input type="checkbox"/> TRABAJOS ESPORADICOS <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> NO TRABAJA <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> AGOTADA		<b>7.- EMPRESA</b> NOMBRE: _____ REPRESENTANTE: _____ DIRECCION: _____ TELF.: _____		<b>8.- USO:</b> Fabricación de ladrillo. MERCADO: Local			
<b>9.- VISITADO POR:</b> Brito S./Albán H. <b>FECHA:</b> 95.12.18.		<b>11.- DRENAJE EN LA MINA</b> Natural		<b>12.- SOBRECARGA</b> Ninguna					
<b>10.- GEOLOGIA</b>  Se presenta un horizonte de suelo negro, con abundante materia orgánica, de un espesor visto de 2.5 m, el que se encuentra asentado sobre niveles de cangagua y rocas volcánicas andesíticas pertenecientes a los Volcánicos de El Altar. La morfología del depósito es una planicie al pie de una loma.				<b>13.- PARAMETROS GEOECONOMICOS (Acceso, Infraestructura, etc.)</b>  El acceso al depósito se lo realiza por la carretera asfaltada Riobamba - Chambo, de 7 Km desde donde se recorre 2.5 Km por la carretera secundaria Chambo-Catequilla, hasta llegar al sitio denominado La Pampa. El horizonte de suelo explotado es mezclado en proporciones iguales con cangagua para la fabricación de ladrillos. Otros lugares donde se explota esta "arcilla" son: Catequilla, Titaycum, entre otros. En el momento de la visita, el valor de un volquete de 4 m <sup>3</sup> es de S/. 50.000.					
<b>14.- RESERVAS</b>		<b>15.- CONSUMO DE ENERGIA</b>		<b>16.- METODO DE EXPLOTACION</b> Cielo abierto  maquinaria: Manual		<b>17.- POTENCIAL DE PRODUCCION</b> N° TRABAJADORES _____  días a la semana: _____  meses al año: _____		<b>18.- PRODUCCION ANUAL</b>	

## INVENTARIO DE MATERIAS PRIMAS NO METALICAS

CORPORACION DE DESARROLLO E INVESTIGACION GEOLOGICO-MINERO-METALURGICA

TARJETA N° 0 6 0 2 9 Ar

<b>1.- NOMBRE DE LA MINA, AFLORAMIENTO, AREA</b> <p style="text-align: center;">CHAMBO</p> <hr/> <b>MATERIAL</b> Arcilla		<b>2.- FASE</b> <input type="checkbox"/> INVESTIGACION <input type="checkbox"/> PROSPECCION <input type="checkbox"/> EXPLORACION <input checked="" type="checkbox"/> EXPLOTACION <input type="checkbox"/> ARCHIVADA		<b>3.- REFERENCIAS CATASTRO MINERO</b> FECHA DE PRESENTACION:		<b>4.- UBICACION</b> <input checked="" type="checkbox"/> HOJA TOPOGRAFICA <input type="checkbox"/> PLANIMETRICA NOMBRE    Riobamba            CANTON    Chambo ESCALA    1:50.000            PARROQUIA    Chambo PROVINCIA    Chimborazo    SECTOR    Chambo <input type="checkbox"/> FOTOGRAFIA AEREA	
<b>5.- COORDENADAS</b> UTM <input checked="" type="checkbox"/> GEOGRAFICAS <input type="checkbox"/> X (h)    768.0 Y (v)    9809.2		<b>6.- SITUACION ACTUAL</b> <input checked="" type="checkbox"/> TRABAJANDO <input type="checkbox"/> DE IMPORTANCIA GEOLOGICA <input type="checkbox"/> TRABAJOS ESPORADICOS <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> NO TRABAJA <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> AGOTADA		<b>7.- EMPRESA</b> NOMBRE: _____ REPRESENTANTE: _____ DIRECCION: _____ TELF.: _____		<b>8.- USO:</b> Fabricación de ladrillos y tejas. MERCADO: Local, Regional	
<b>9.- VISITADO POR:</b> Brito S./Albán H. <b>FECHA:</b> 95.12.18.			<b>11.- DRENAJE EN LA MINA</b> Natural		<b>12.- SOBRECARGA</b> Ninguna		
<b>10.- GEOLOGIA</b> En el área se presentan perfiles de suelo negro de 2.3 m. de potencia, desarrollados con abundante materia orgánica ("chocoto") sobre una capa de cangagua de espesor variable, los cuales cubren parcialmente las terrazas de la planicie de Chambo y en los alrededores a los depósitos pertenecientes a los Volcánicos de El Altar del Pleistoceno.				<b>13.- PARAMETROS GEOECONOMICOS</b> (Acceso, Infraestructura, etc.) El acceso al depósito se lo realiza por la carretera Riobamba-Chambo: 7 Km los perfiles se hallan en la parte urbana de la ciudad de Chambo y alrededores. La mezcla para la pasta cerámica es en proporciones iguales de suelo y cangagua y se añade aserrín para conseguir un quemado óptimo, el amasado se lo hace con bueyes. Las dimensiones de los ladrillos son: 33 cm x 13 cm x 8 cm y su costo es de S/. 120 en el sitio. En esta zona se han inventariado 238 ladrilleras, con una capacidad promedio de 10.000 unidades cada horno; se hacen 10 quemas por año, para lo cual se utiliza 1 m <sup>3</sup> de leña de eucalipto, cada 1.000 unidades.			
<b>14.- RESERVAS</b>		<b>15.- CONSUMO DE ENERGIA</b>		<b>16.- METODO DE EXPLOTACION</b> maquinaria:		<b>17.- POTENCIAL DE PRODUCCION</b> N° TRABAJADORES _____ días a la semana: _____ meses al año: _____	
<b>18.- PRODUCCION ANUAL</b>							

# INVENTARIO DE MATERIAS PRIMAS NO METALICAS

CORPORACION DE DESARROLLO E INVESTIGACION GEOLOGICO-MINERO-METALURGICA

TARJETA N° 06010Ar

<b>1.- NOMBRE DE LA MINA, AFLORAMIENTO, AREA</b> CELAD  MATERIAL <u>Arcilla</u>		<b>2.- FASE</b> <input type="checkbox"/> INVESTIGACION <input type="checkbox"/> PROSPECCION <input type="checkbox"/> EXPLORACION <input checked="" type="checkbox"/> EXPLOTACION <input type="checkbox"/> ARCHIVADA		<b>3.- REFERENCIAS CATASTRO MINERO</b> FECHA DE PRESENTACION:		<b>4.- UBICACION</b> <input checked="" type="checkbox"/> HOJA TOPOGRAFICA <input type="checkbox"/> PLANIMETRICA NOMBRE <u>GUANO</u> CANTON <u>Guano</u> ESCALA <u>1:50.000</u> PARROQUIA <u>San Andrés</u> PROVINCIA <u>Chimborazo</u> SECTOR <u>San Andrés</u> <input type="checkbox"/> FOTOGRAFIA AEREA			
<b>5.- COORDENADAS</b> UTM <input checked="" type="checkbox"/> GEOGRAFICAS <input type="checkbox"/> X (h) <u>756.3</u> Y (v) <u>9822.5</u>		<b>6.- SITUACION ACTUAL</b> <input checked="" type="checkbox"/> TRABAJANDO <input type="checkbox"/> DE IMPORTANCIA GEOLOGICA <input type="checkbox"/> TRABAJOS ESPORADICOS <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> NO TRABAJA <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> AGOTADA		<b>7.- EMPRESA</b> NOMBRE: <u>CELAD</u> REPRESENTANTE: DIRECCION: TELF.:		<b>8.- USO:</b> <u>Fabricación</u> <u>ladrillos y tejas</u> MERCADO: <u>Local,</u> <u>Provincial.</u>			
<b>9.- VISITADO POR:</b> <u>Brito S./Albán H.</u>		<b>FECHA:</b> <u>95.12.20.</u>		<b>11.- DRENAJE EN LA MINA</b> Natural		<b>12.- SOBRECARGA</b> Ninguna			
<b>10.- GEOLOGIA</b>  En el área aflora un perfil de suelo poco desarrollado, formado por la meteorización de la parte superior de la cangagua.				<b>13.- PARAMETROS GEOECONOMICOS</b> (Acceso, Infraestructura, etc.)  El acceso se lo realiza desde Riobamba, por la carretera Panamericana Norte, tramo Riobamba-San Andrés, el depósito y fábrica de ladrillo y teja está ubicado unos 700 m antes de llegar a la Parroquia San Andrés. El material explotado es insuficiente en cantidad y calidad por lo que se lo trae desde el sector de Quimiag (ver tarjeta No. 06 025). Se fabrican ladrillos macizos y ahuecados.					
<b>14.- RESERVAS</b>		<b>15.- CONSUMO DE ENERGIA</b>		<b>16.- METODO DE EXPLOTACION</b>  maquinaria:		<b>17.- POTENCIAL DE PRODUCCION</b> Nº TRABAJADORES  días a la semana:  meses al año:		<b>18.- PRODUCCION ANUAL</b>	

## INVENTARIO DE MATERIAS PRIMAS NO METALICAS

CORPORACION DE DESARROLLO E INVESTIGACION GEOLOGICO-MINERO-METALURGICA

TARJETA N° 06011Ar

<b>1.- NOMBRE DE LA MINA, AFLORAMIENTO, AREA</b> LICAN  MATERIAL <u>Arcilla (Ceniza volcánica)</u>		<b>2.- FASE</b> <input type="checkbox"/> INVESTIGACION <input type="checkbox"/> PROSPECCION <input type="checkbox"/> EXPLORACION <input checked="" type="checkbox"/> EXPLOTACION <input type="checkbox"/> ARCHIVADA		<b>3.- REFERENCIAS CATASTRO MINERO</b> FECHA DE PRESENTACION:		<b>4.- UBICACION</b> <input checked="" type="checkbox"/> HOJA TOPOGRAFICA <input type="checkbox"/> PLANIMETRICA NOMBRE <u>GUANO</u> CANTON <u>Riobamba</u> ESCALA <u>1:50.000</u> PARROQUIA <u>Lican</u> PROVINCIA <u>Chimborazo</u> SECTOR <u>Loma Cushcud</u> <input type="checkbox"/> FOTOGRAFIA AEREA			
<b>5.- COORDENADAS</b> UTM <input checked="" type="checkbox"/> GEOGRAFICAS <input type="checkbox"/> X (h) <u>754,8</u> Y (v) <u>9817,5</u>		<b>6.- SITUACION ACTUAL</b> <input type="checkbox"/> TRABAJANDO <input type="checkbox"/> DE IMPORTANCIA GEOLOGICA <input checked="" type="checkbox"/> TRABAJOS ESPORADICOS <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> NO TRABAJA <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> AGOTADA		<b>7.- EMPRESA</b> NOMBRE: <u>Cementos "Chimborazo"</u> REPRESENTANTE: _____ DIRECCION: _____ TELF.: _____		<b>8.- USO:</b> <u>Elaboracion de cemento</u>  <b>MERCADO:</b> <u>Local</u>			
<b>9.- VISITADO POR:</b> <u>Brito, S./Alban, H.</u>			<b>FECHA:</b> <u>95-11-20</u>		<b>11.- DRENAJE EN LA MINA</b> <u>Natural</u>		<b>12.- SOBRECARGA</b> <u>0 - 2 m de suelo aprovechable</u>		
<b>10.- GEOLOGIA</b> Afloramiento en el talud de la carretera Panamericana de depósitos piroclásticos finos intercalados, pertenecientes a los volcánicos Sicalpa ubicados en el Plioceno. Los 10 m inferiores están conformados por un aglomerado volcánico andesítico. En algunos niveles la cangagua engloba "bolas de cangagua" de alrededor de 10cm. de diámetro.				<b>13.- PARAMETROS GEOECONOMICOS (Acceso, Infraestructura, etc.)</b> El acceso se lo realiza por la carretera Panamericana Riobamba Alausí, está ubicada en el km 6 desde Riobamba, a 500 m al oeste de la parroquia Lican. El frente de explotación tiene 80 m de largo por 20 m de potencia y se la hace en bancos de 6 m de potencia.					
<b>14.- RESERVAS</b> <u>No calculadas</u>		<b>15.- CONSUMO DE ENERGIA</b> <u>Diesel</u>		<b>16.- METODO DE EXPLOTACION</b> <u>Cielo abierto, bancos</u>  maquinaria: <u>Tractor, cargadoras, volquetes.</u>		<b>17.- POTENCIAL DE PRODUCCION</b> Nº TRABAJADORES _____  días a la semana: _____ meses al año: _____		<b>18.- PRODUCCION ANUAL</b>	

## ANEXO B: Caracterización básica

### Minerales Arcillosos



### Determinación de Humedad



## Determinación del Color por el Método de Munsell

Arcilla Cacha



Arcilla Licán



Arcilla Chambo



Arcilla Pallatanga



Arcilla Tanquis





**Prueba de Sensación al Tacto**

Arcilla Cacha



Arcilla Licán



Arcilla Chambo



Arcilla Pallatanga



Arcilla Tanquis



## Prueba de textura

Arcilla Cacha



Arcilla Licán



Arcilla Chambo



Arcilla Pallatanga



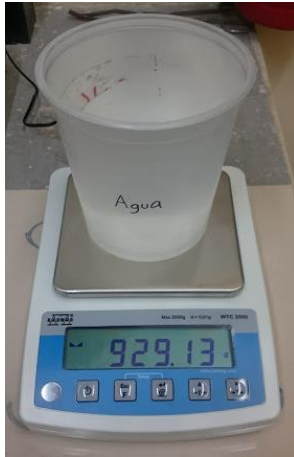
Arcilla Tanquis





## Densidad Aparente

Agua



Arcilla Cacha



Arcilla Licán



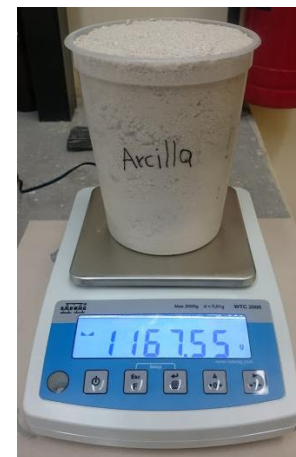
Arcilla Chambo



Arcilla Pallatanga



Arcilla Tanquis



## Carbonatos

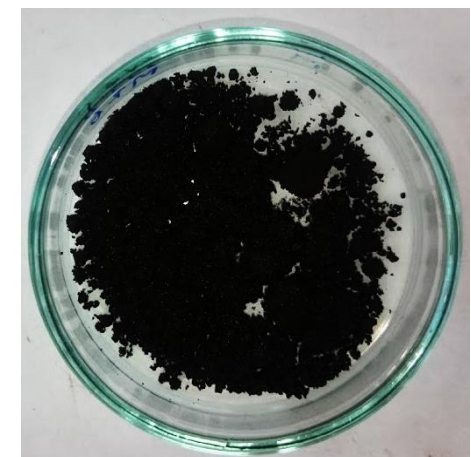
Arcilla Cacha



Arcilla Licán



Arcilla Chambo



Arcilla Pallatanga



Arcilla Tanquis

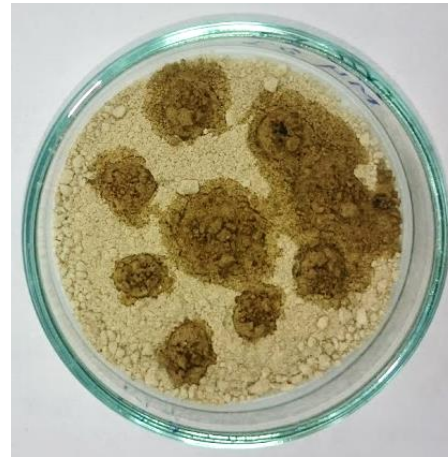


**Materia Orgánica**

Arcilla Cacha



Arcilla Licán



Arcilla Chambo



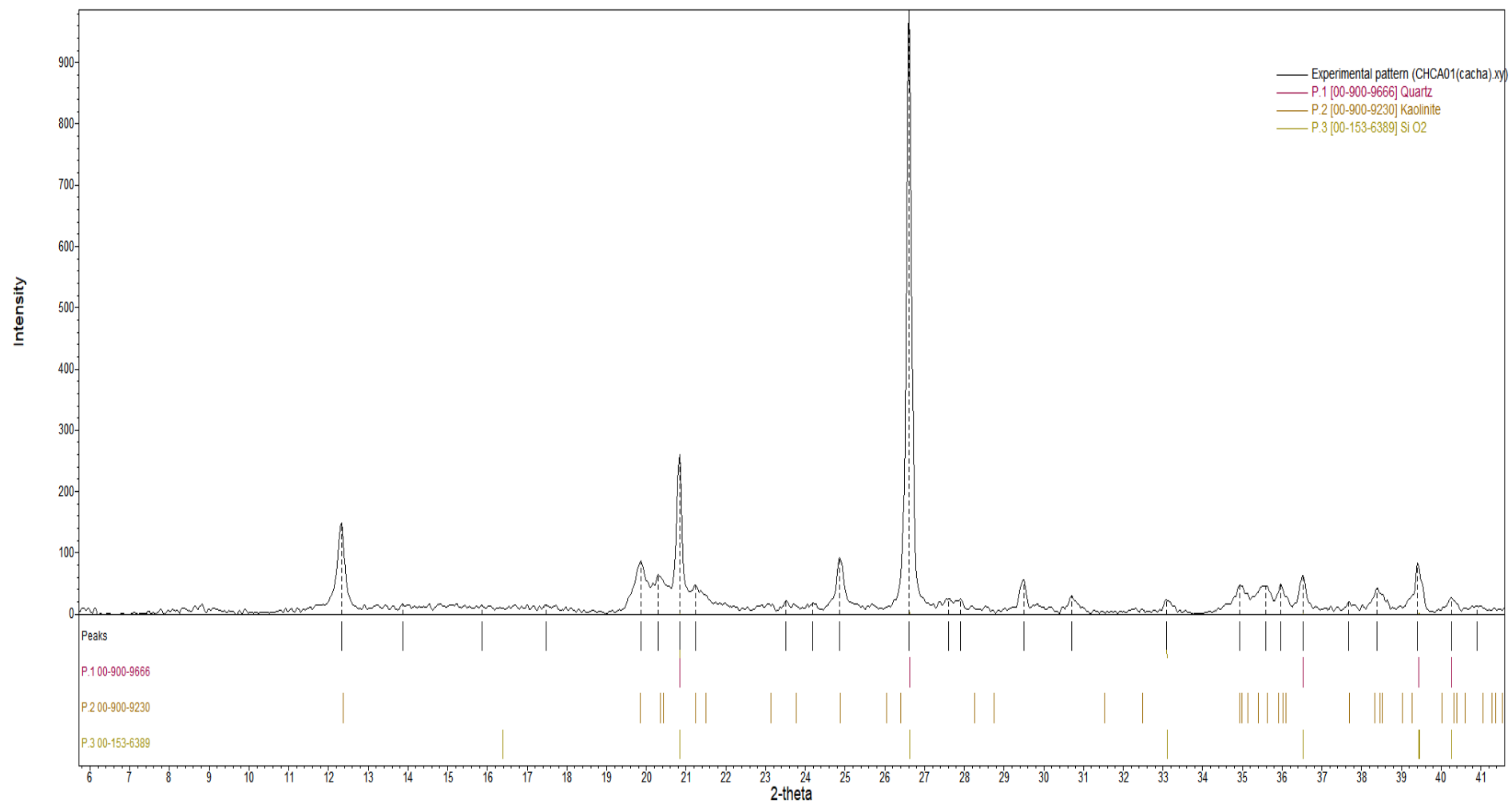
Arcilla Pallatanga



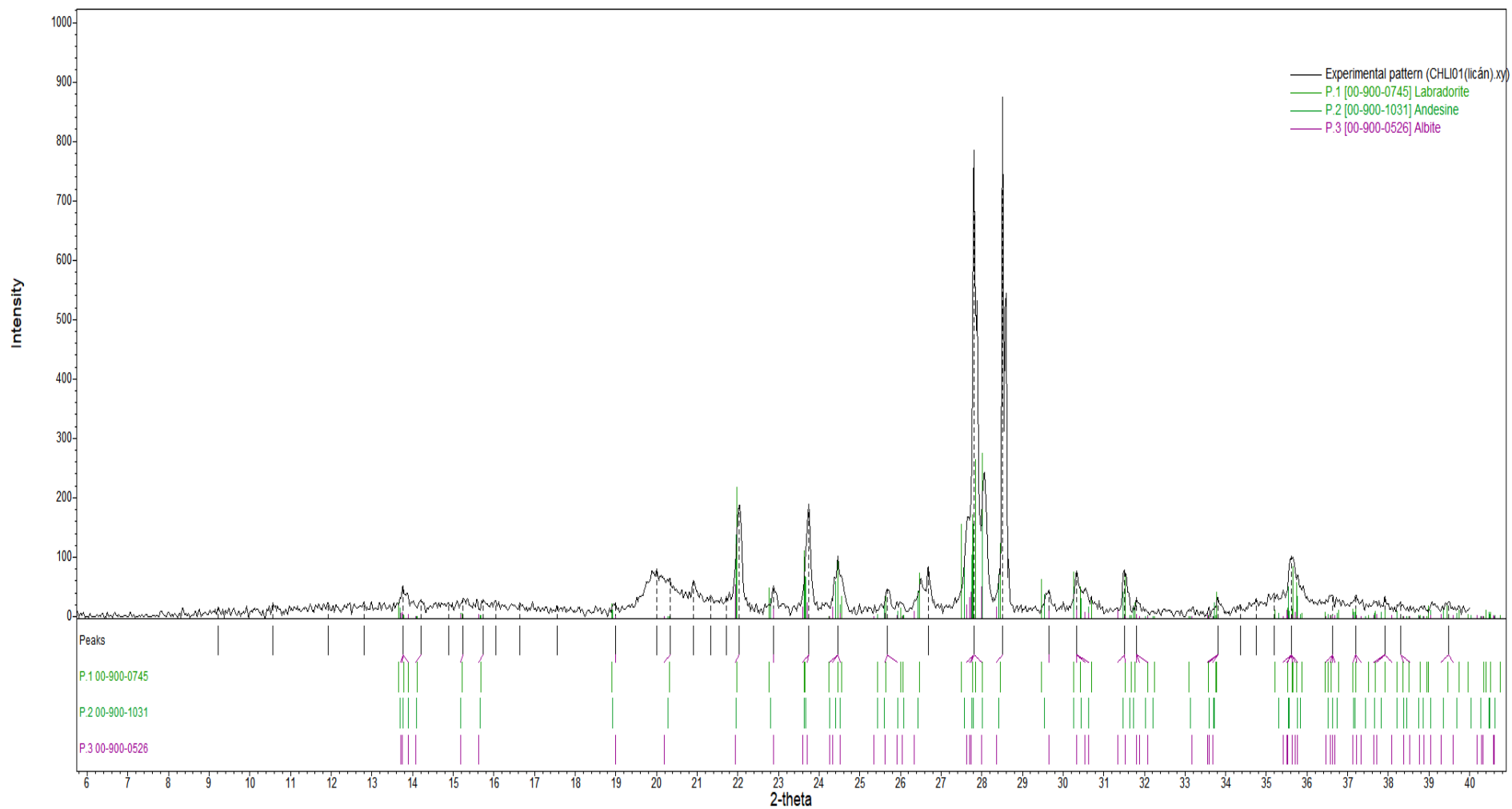
Arcilla Tanquis



# ANEXO C: Difractograma – Cacha

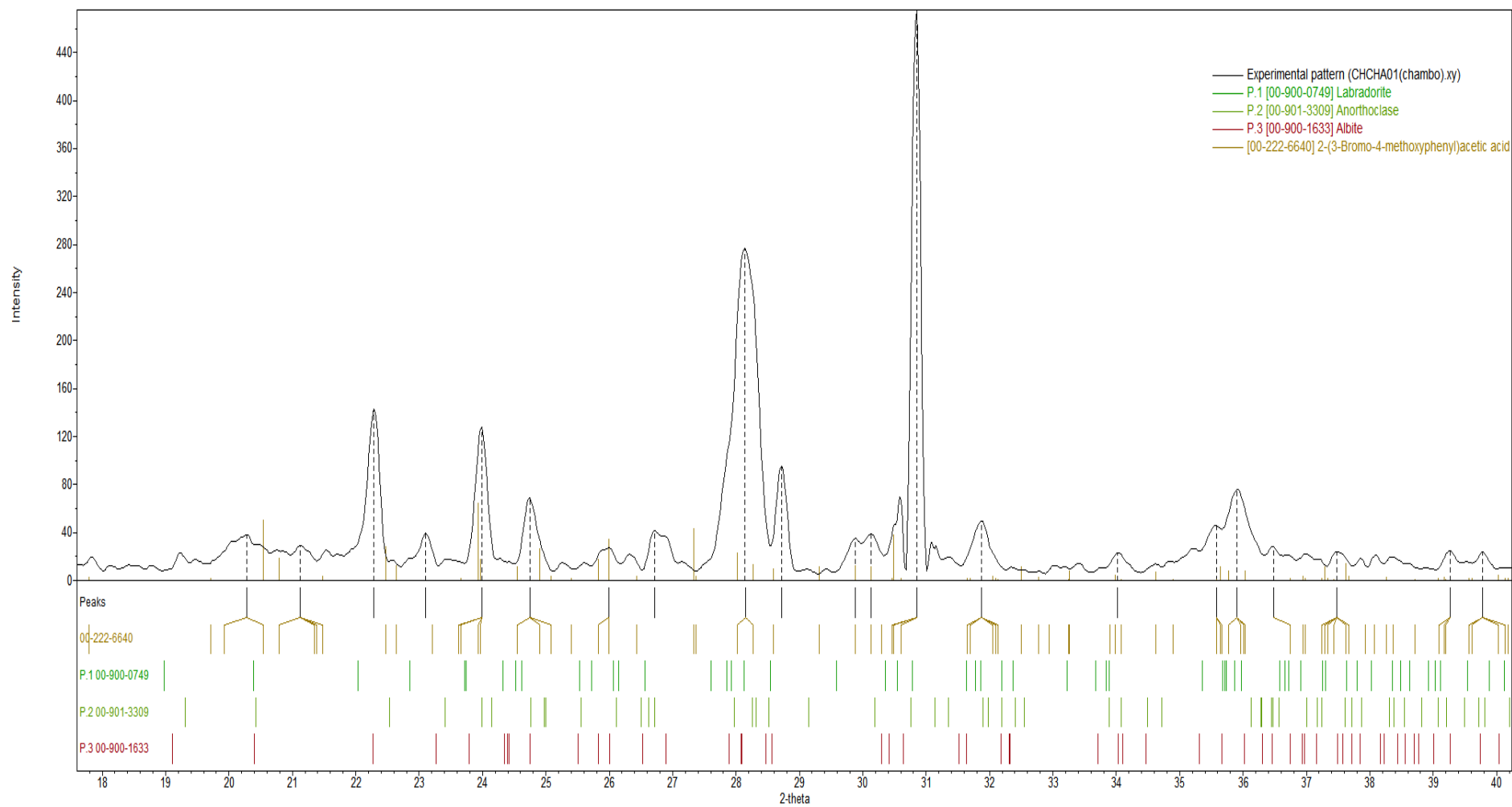


# ANEXO D: Difractograma – Licán

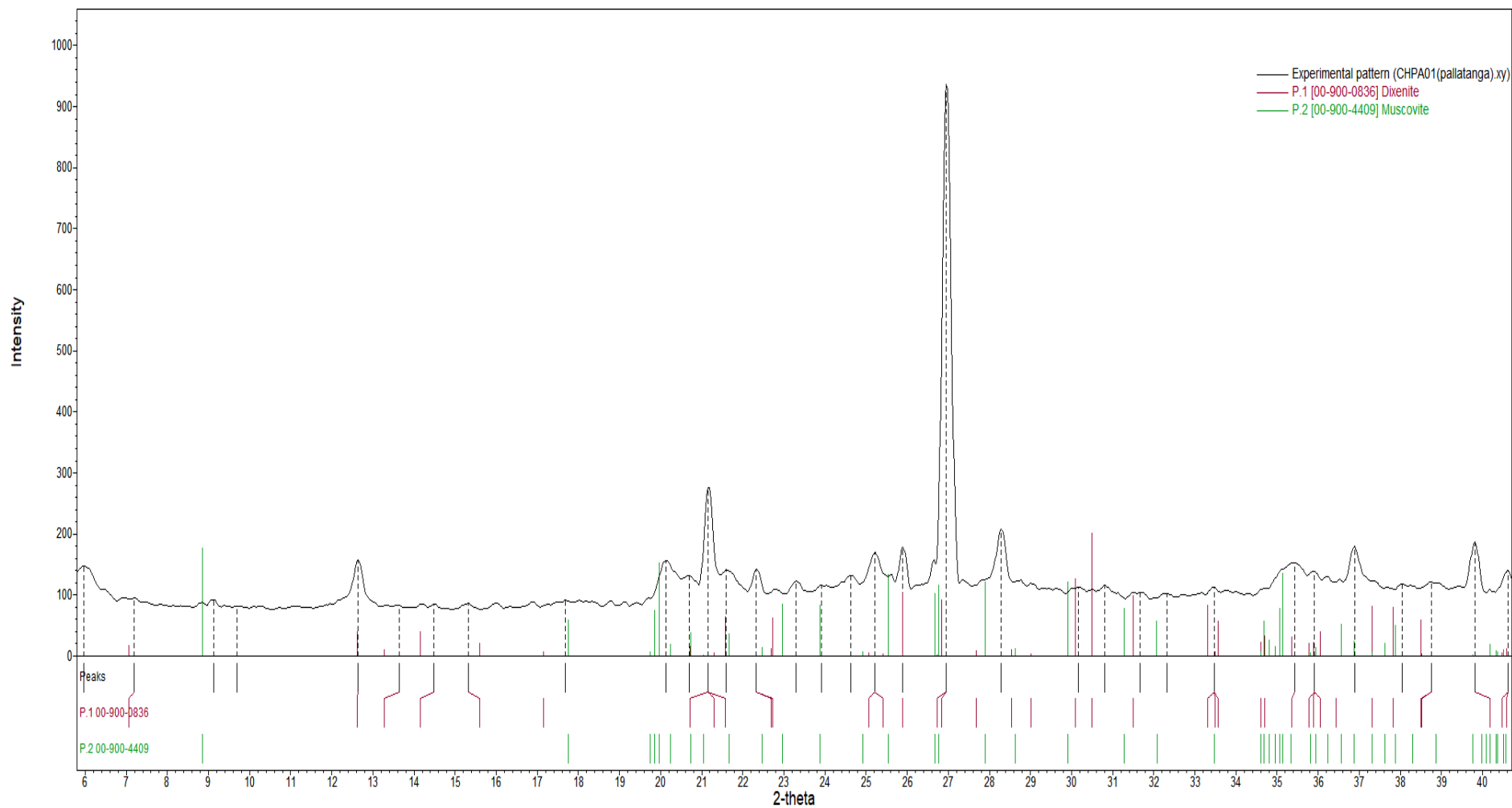




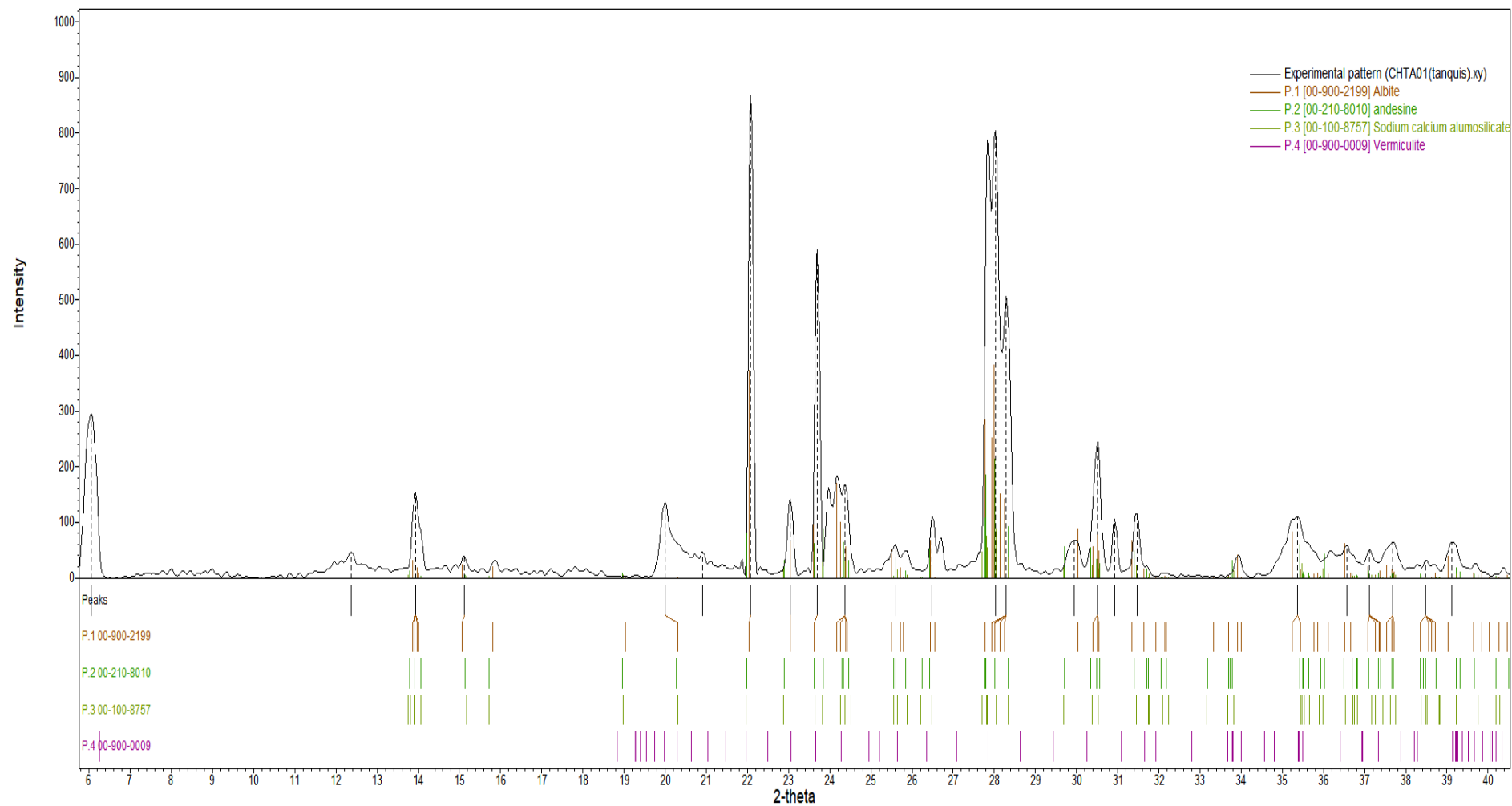
# ANEXO E: Difractograma – Chambo



# ANEXO F: Difractograma – Pallatanga

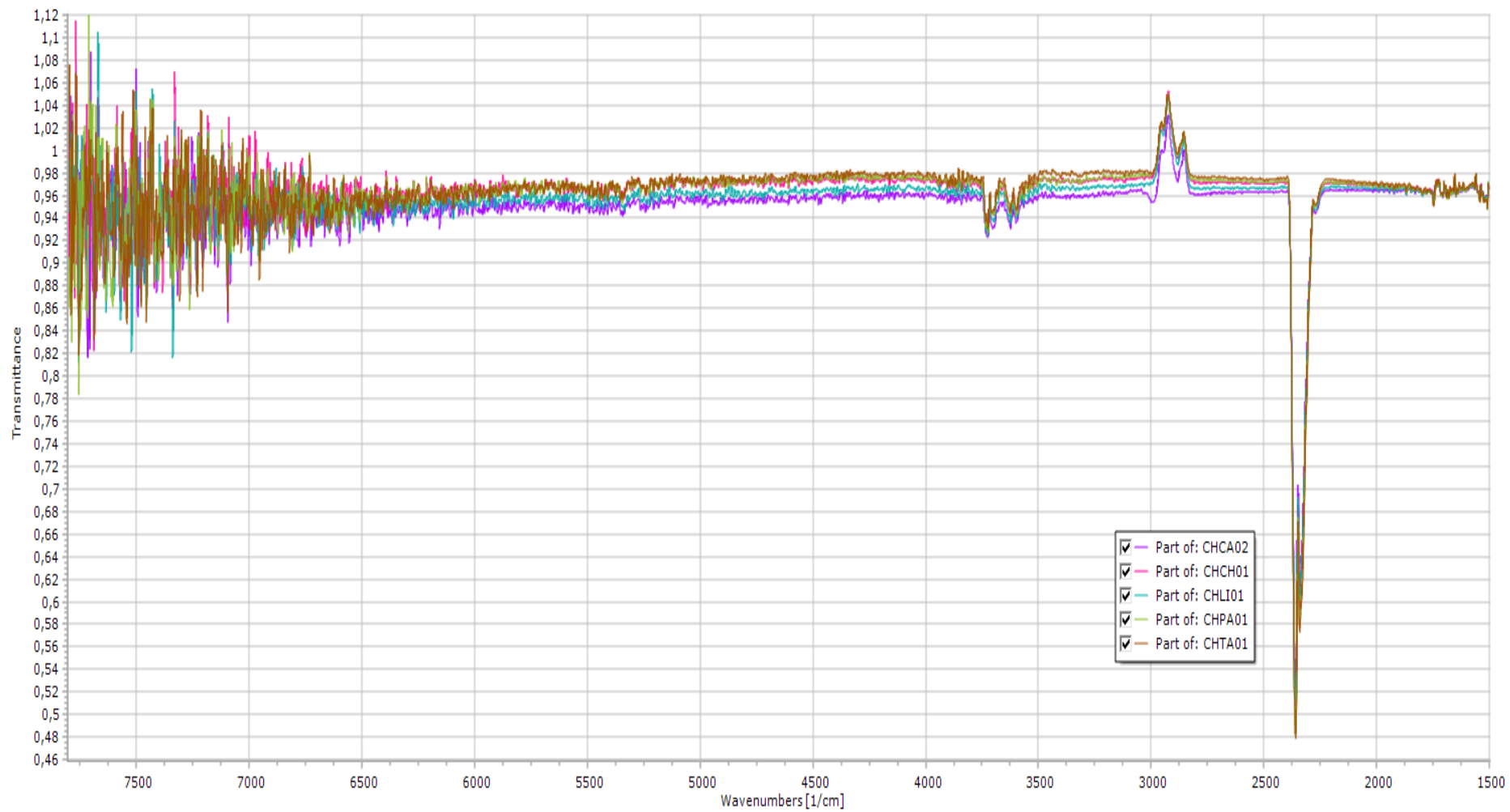


# ANEXO G: Difractograma – Tanquis

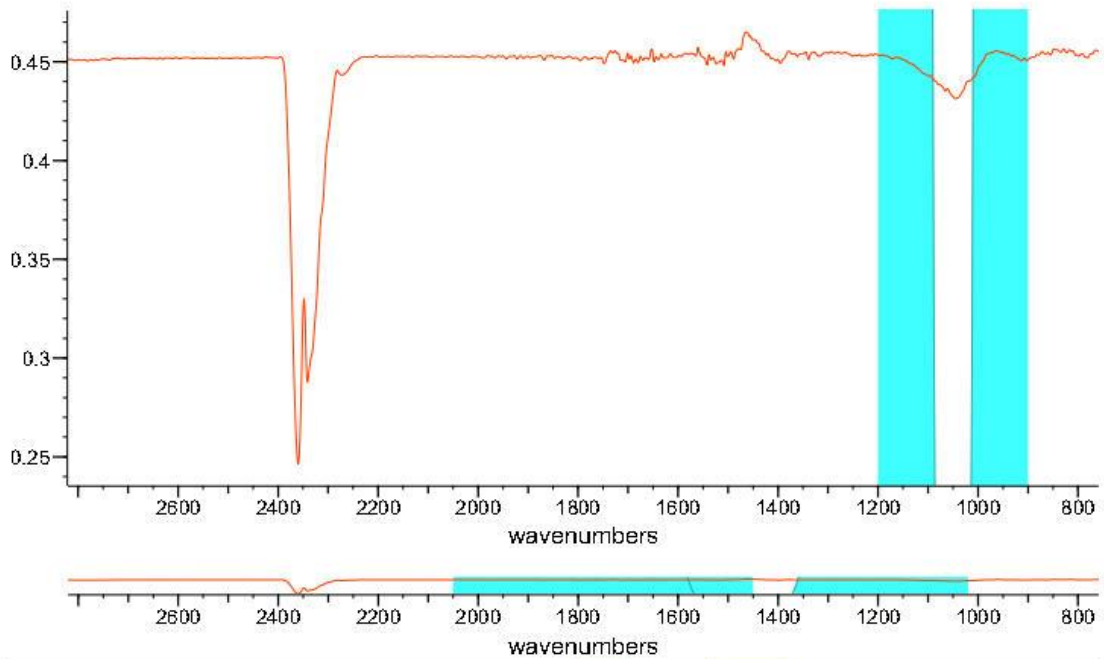




## ANEXO H: Espectros infrarrojos



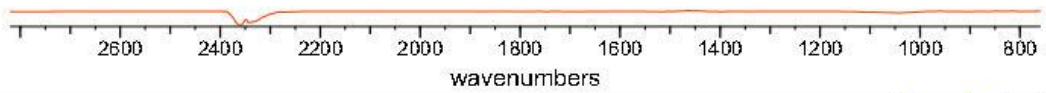
# ANEXO I: Reporte de los picos más importantes identificados por FTIR



Classification: X IMPURITIES-IR  
Group: WATER VAPOR PAHSE

Bond	Range	Mode	Notes
O-H	3750-3550	STR	SERIES OF SHARP PEAKS
O-H	1895-1695	STR	SERIES OF SHARP PEAKS, R BRANCH
O-H	1545-1395	DEF	SERIES OF SHARP PEAKS, P BRANCH
O-H	565-465	DEF	SERIES OF SHARP PEAKS

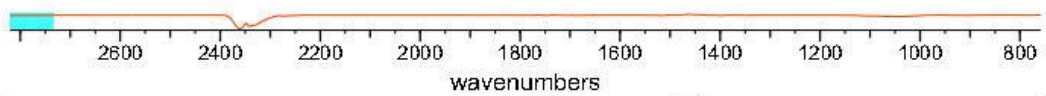
O



Classification: SILICONS-IR  
Group: Si-OH

Bond	Range	Mode	Notes
O-H	3700-3200	STR	BROAD PEAK
Si-OH	1040-1020	DEF	BROAD PEAK
Si-O	910-830	STR	

$\begin{matrix} A \\ | \\ A-Si-OH \\ | \\ A \end{matrix}$

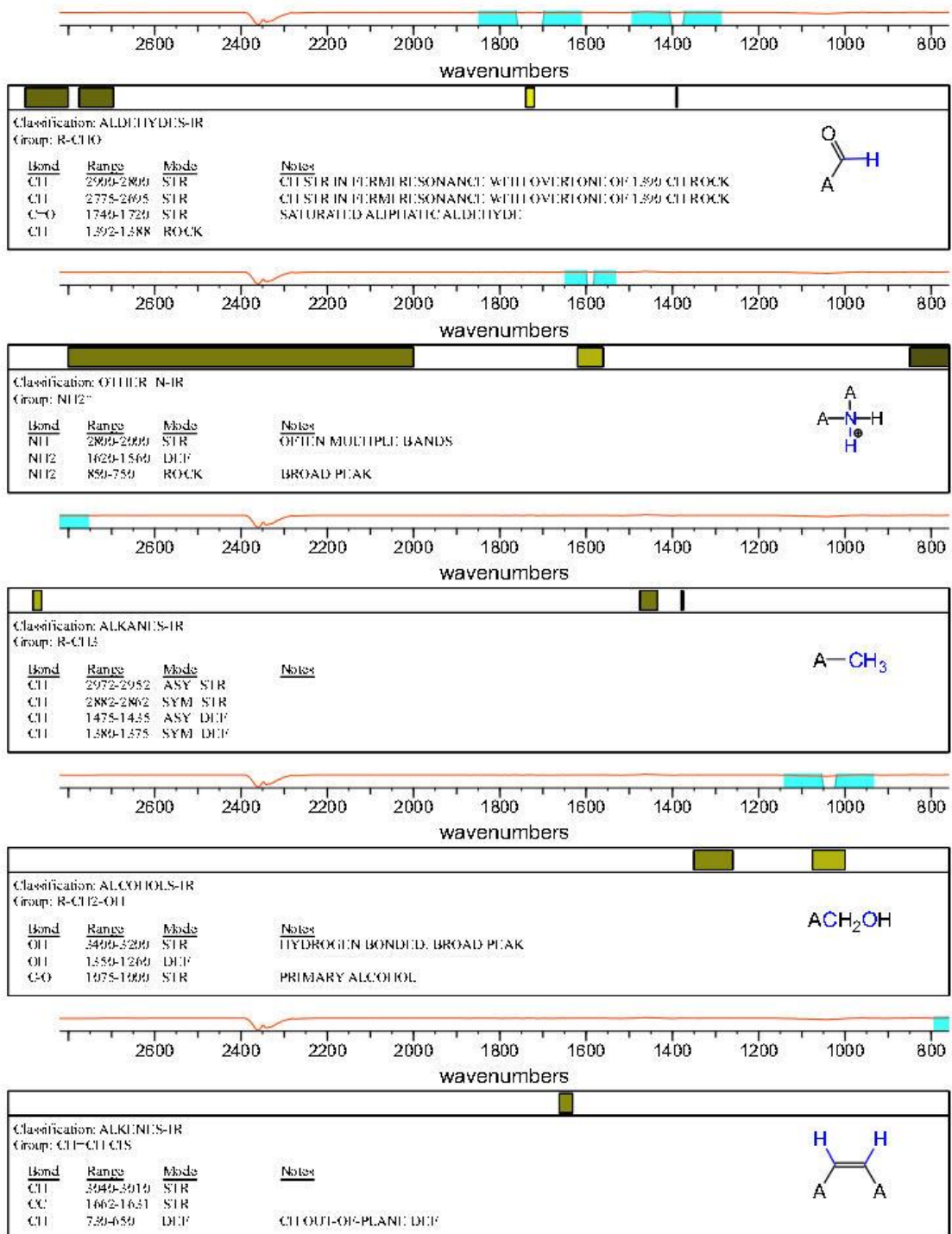


Classification: ALKANES-IR  
Group: R-CH2-R"

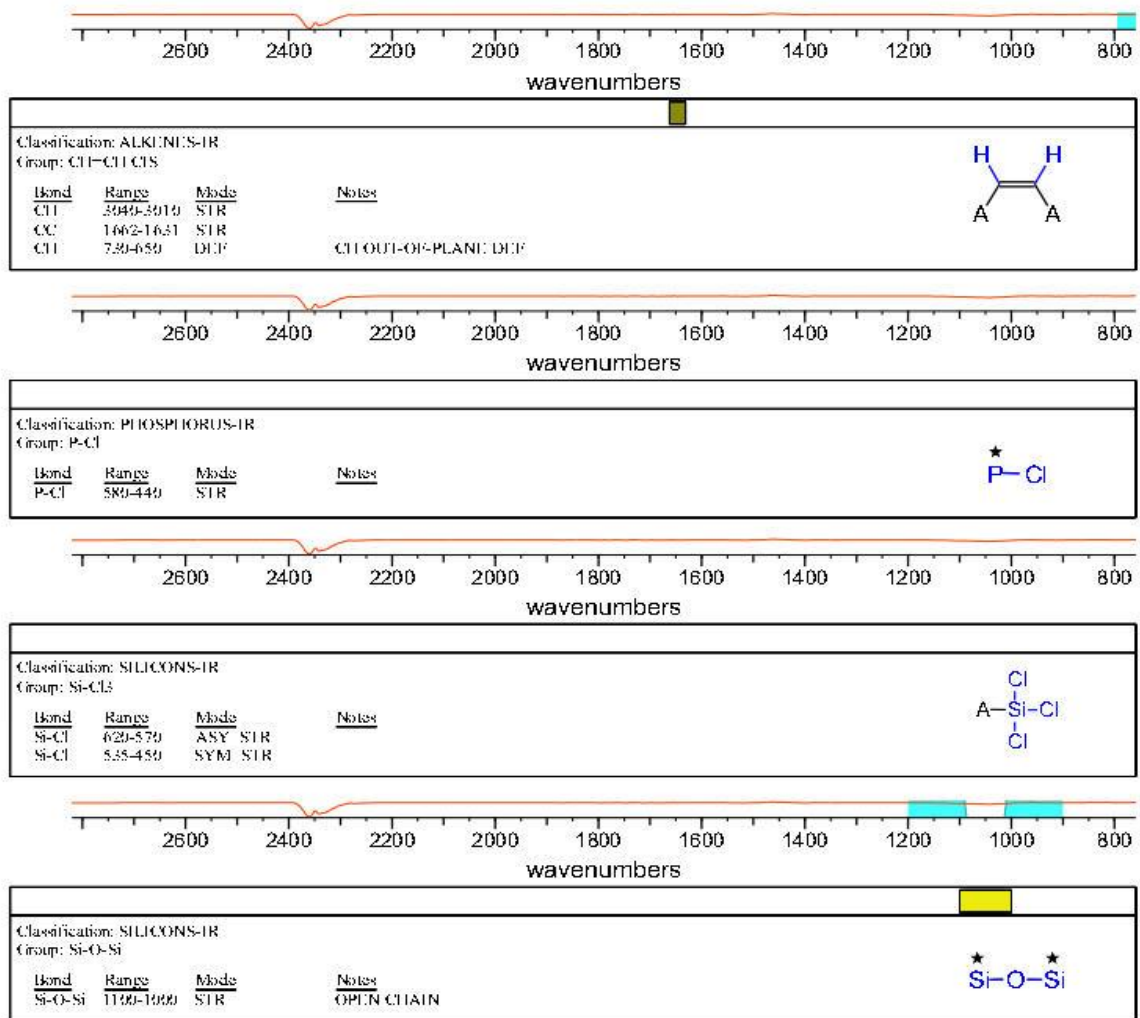
Bond	Range	Mode	Notes
C-H	2950-2916	ASY STR	
C-H	2865-2843	SYM STR	
C-H	1485-1445	DEF	

ACH2A

## ANEXO I (continuación)



## ANEXO I (continuación)

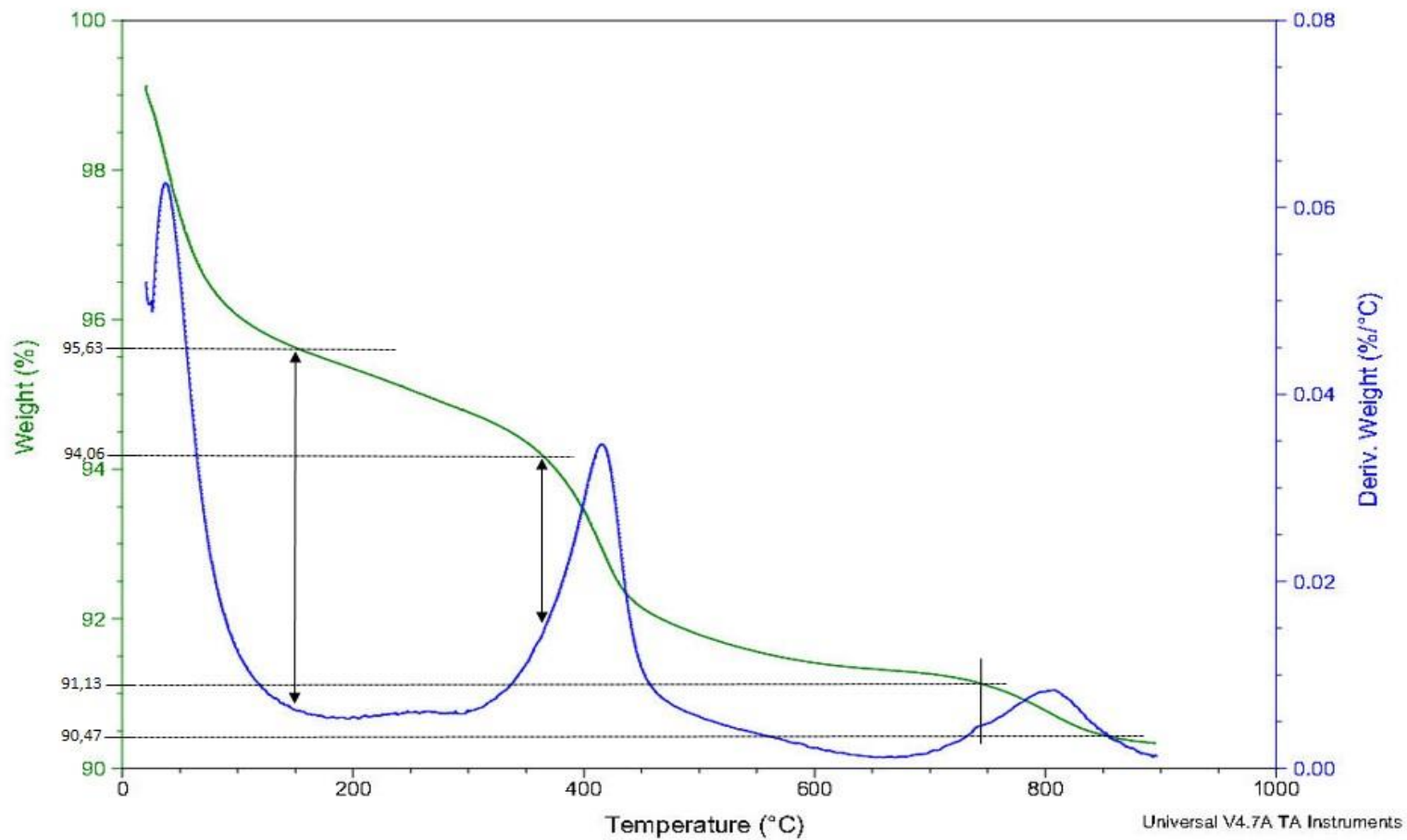


# ANEXO J: Termograma - Licán

Sample: chli01  
Size: 25.9610 mg  
Method: Ramp

## TGA

File: C:\...Danilo Jara\_ESPOCH\_TGA\chli01.001  
Operator: OC  
Run Date: 08-Jan-2018 13:47  
Instrument: TGA Q500 V20.10 Build 36

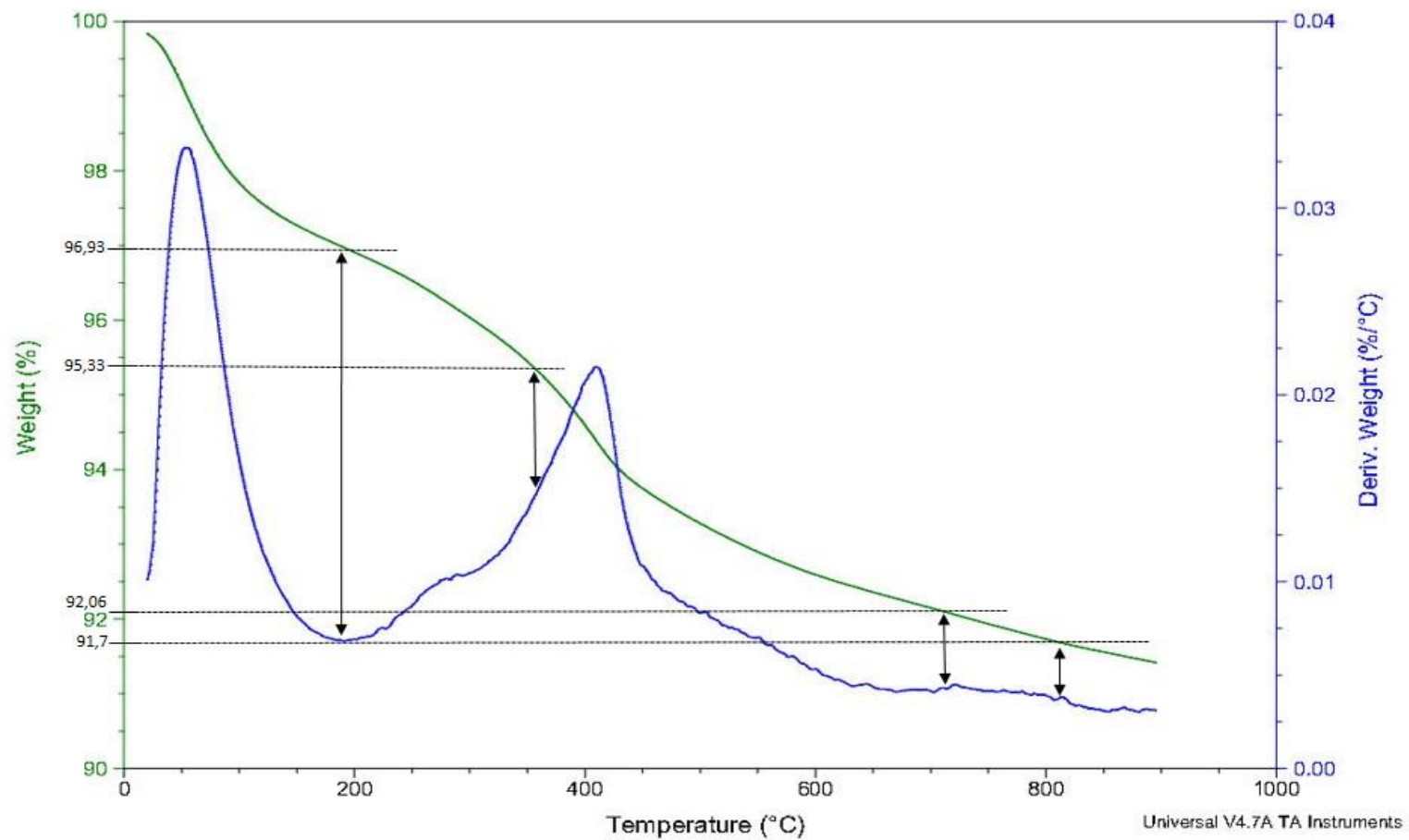


# ANEXO K: Termograma – Chambo

Sample: chch01  
Size: 35.6100 mg  
Method: Ramp

## TGA

File: C:\...Danilo Jara\_ESPOCH\_TGA\chch01.001  
Operator: OC  
Run Date: 10-Jan-2018 08:58  
Instrument: TGA Q500 V20.10 Build 36

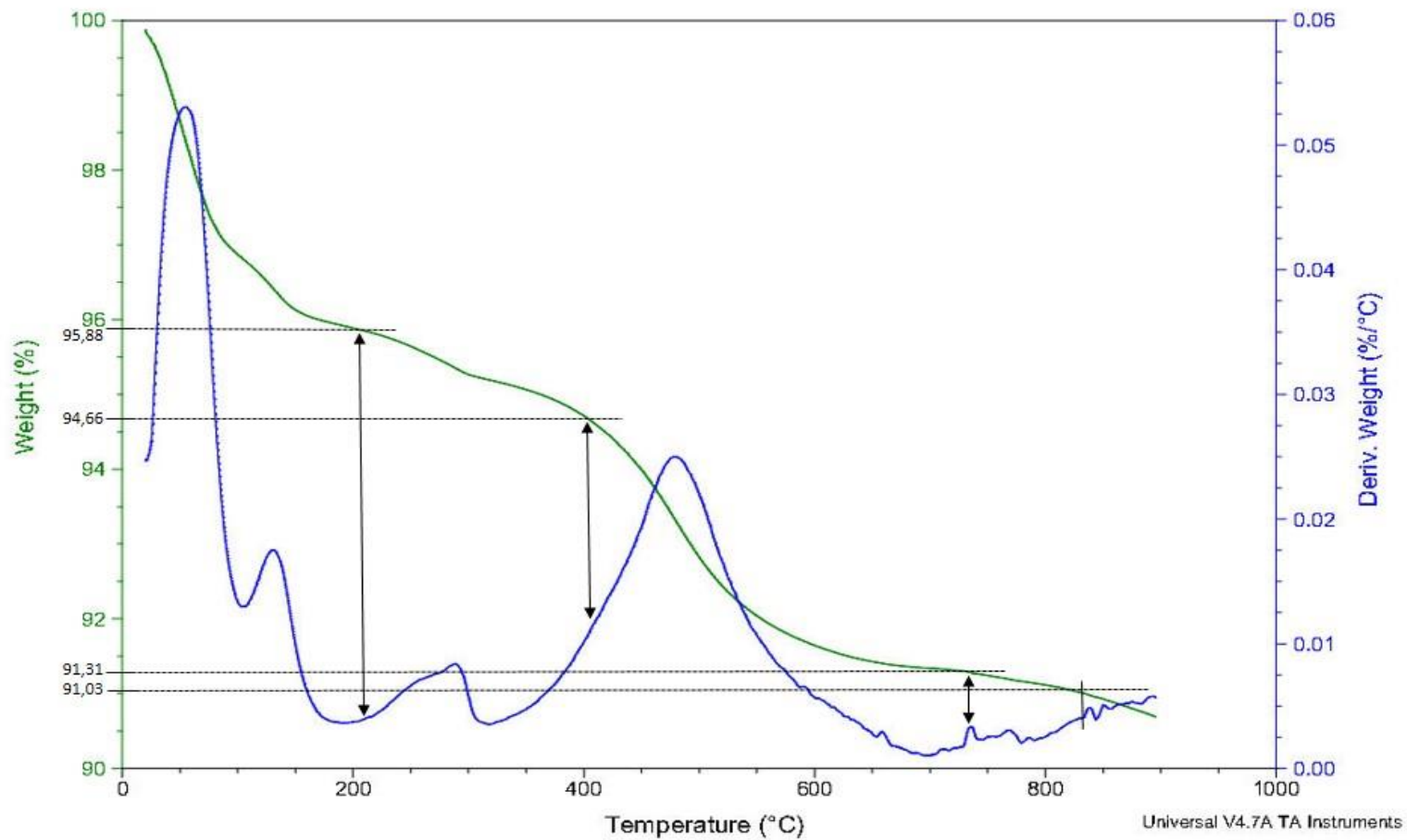


# ANEXO L: Termograma - Pallatanga

Sample: chpa01  
Size: 28.9340 mg  
Method: Ramp

## TGA

File: C:\...Danilo Jara\_ESPOCH\_TGA\chpa01.001  
Operator: OC  
Run Date: 09-Jan-2018 12:50  
Instrument: TGA Q500 V20.10 Build 36





ANEXO M: Termograma – Tanquis

Sample: chta01  
Size: 25.8660 mg  
Method: Ramp

TGA

File: C:\...Danilo Jara\_ESPOCH\_TGA\chta01.001  
Operator: OC  
Run Date: 09-Jan-2018 09:56  
Instrument: TGA Q500 V20.10 Build 36

