



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**

**SEDE MORONA SANTIAGO**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**

**CARRERA GEOLOGÍA Y MINAS**

**PURIFICACIÓN DEL CAOLÍN QUE SE DESECHA EN LA  
CONCESIÓN MINERA XIMENA II**

**Trabajo de Titulación**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN GEOLOGÍA Y MINAS**

**AUTOR:**

**XAVIER ISRAEL CALLE PALOMEQUE**

Macas – Ecuador

2020



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**

**SEDE MORONA SANTIAGO**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**

**CARRERA GEOLOGÍA Y MINAS**

**PURIFICACIÓN DEL CAOLÍN QUE SE DESECHA EN LA  
CONCESIÓN MINERA XIMENA II**

**Trabajo de Titulación**

**Tipo:** Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN GEOLOGÍA Y MINAS**

**AUTOR:** XAVIER ISRAEL CALLE PALOMEQUE

**DIRECTORA:** ING. TERESITA JACKELIN MEJÍA REINOSO Mgs.

Macas – Ecuador

2020

**©2020, Xavier Israel Calle Palomeque**

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.

Yo, Xavier Israel Calle Palomeque, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Macas, 13 de marzo de 2020



**Xavier Israel Calle Palomeque**  
**140074696-0**

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**  
**SEDE MORONA SANTIAGO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA DE GEOLOGÍA Y MINAS**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; tipo: Proyecto Técnico, **PURIFICACIÓN DEL CAOLÍN QUE SE DESECHA EN LA CONCESIÓN MINERA XIMENA II**, realizado por el señor: **XAVIER ISRAEL CALLE PALOMEQUE**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

**FIRMA**

**FECHA**

Ing. Isabel Romane Peñafiel Moncayo Mgs.  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



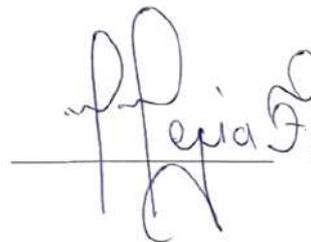
2020-03-13

Ing. Teresita Jackelin Mejía Reinoso Mgs.  
**DIRECTORA EL TRABAJO DE TITULACIÓN**



2020-03-13

Ing. Marco Antonio Mejía Flores Mgs.  
**ASESOR EL TRABAJO DE TITULACIÓN**



2020-03-13

## **DEDICATORIA**

Habiendo cumplido con un objetivo muy duro en este caminar de mi vida, doy gracias a Dios por regalarme la vida para ver realizado un sueño; este trabajo le dedico a mi madre Beatriz Palomeque por haberme enseñado la importancia de la preparación, a mis hermanos Greys, Robinson, Noemí, Cristian, Gisela, Ginna quienes me inspiraron a no desistir hasta concluir esta meta; pero de manera especial quiero dedicar este trabajo a mi padre Olger Calle Toledo y mi hermano Cristian, por haberme apoyado incondicionalmente en los momentos más difíciles, a lo largo de mi carrera.

Xavier

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer a mi familia por apoyarme siempre en el pujante esfuerzo para lograr mi meta universitaria, un agradecimiento especial para mi tío Armando Palomeque quien con su sabiduría inspiró mi futuro como profesional y me apoyo siempre.

Mi gratitud y admiración con el Ing. Fabián Ortiz Cevallos jefe técnico de la Empresa EXPLOSUR S.A por permitirme realizar las prácticas pre profesionales, haber compartido sus conocimientos, fundamentos y experiencia siempre con su espíritu de maestro y guía para el desarrollo de mi trabajo de titulación.

A la Ing. Teresita Mejía Reinoso mi agradecimiento profundo por su tiempo, saber y paciencia para el desarrollo de este trabajo, en calidad de directora de tesis, y al Ing. Marco Mejía por ser miembro del tribunal, y maestro a lo largo de mi carrera.

Para terminar, quiero agradecer a todos los docentes y personas que estuvieron presentes apoyándome en estos años de estudiante para que pueda llegar a ser profesional.

Xavier

## INDICE DE CONTENIDO

INDICE DE TABLAS.....	XI
INDICE DE ILUSTRACIONES.....	XII
INDICE DE ECUACIONES .....	XIV
INDICE DE ANEXOS .....	XV
RESUMEN.....	XVI
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

1	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA .....	2
1.1.	Antecedentes.....	2
1.2.	Planteamiento del problema. ....	2
1.3.	Justificación.....	2
1.4.	Objetivos.....	3
1.4.1.	<i>Objetivo general</i> .....	3
1.4.2.	<i>Objetivos específicos</i> .....	3
1.5.	Planteamiento de la hipótesis.....	3
1.6.	Ubicación del área de estudio. ....	4
1.7.	Acceso .....	6
1.8.	Clima y temperatura .....	6

### CAPÍTULO II

2	REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	7
2.1.	Geología regional .....	7
2.2.	Secuencia Triásico-Jurásico.....	7
2.2.1.	<i>Formación Santiago.</i> –.....	7
2.2.2.	<i>Formación Chapiza.</i> -.....	7
2.3.	Periodo Cretácico .....	7
2.3.1.	<i>Formación hollín.</i> –.....	7
2.3.2.	<i>Napo inferior.</i> –.....	8
2.3.3.	<i>Napo Medio.</i> –.....	8

2.3.4.	<i>Napo Superior.</i> –.....	8
2.4.	<b>Definición y tipos de clasificación de las arcillas</b> .....	10
2.4.1.	<i>Tipos de clasificación.</i> .....	10
2.4.2.	<i>Propiedades físicas de las arcillas</i> .....	12
2.5.	<b>Clasificación de las arcillas.</b> .....	12
2.5.1.	<i>Arcillas Comunes</i> .....	12
2.5.2.	<i>Arcillas Especiales.</i> .....	13
2.6.	<b>Grupo de los Caolines</b> .....	13
2.6.1.	<i>Caolines primarios.</i> .....	13
2.6.1.1.	<i>Los yacimientos de caolín residuales.</i> .....	13
2.6.1.2.	<i>Caolines hidrotermales</i> .....	14
2.6.2.	<i>Los caolines secundarios son:</i> .....	14
2.6.2.1	<i>Caolines Sedimentarios.</i> .....	14
2.7.	<b>Impurezas en las arcillas cerámicas.</b> .....	15
2.8.	<b>Compuestos que naturalmente forman a las arcillas:</b> .....	15
2.9.	<b>Descripción de minerales presentes en material cerámico</b> .....	16
2.9.1.	<i>Feldespato</i> .....	16
2.9.2.	<i>Los feldespatos alcalinos.</i> .....	17
2.9.3.	<i>El cuarzo (SiO<sub>2</sub>).</i> .....	17
2.9.4.	<i>Hierro (Fe).</i> .....	18
2.9.5.	<i>Los óxidos de hierro</i> .....	18
2.9.6.	<i>Hematita (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).</i> .....	18
2.9.7.	<i>Magnetita (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>).</i> .....	19
2.9.8.	<i>Pirita (FeS<sub>2</sub>).</i> .....	19
2.9.9.	<i>Aluminio (Al).</i> .....	19
2.10.	<b>Explotación y tratamiento del caolín.</b> .....	19
2.11.	<b>Métodos para tratamiento del caolín</b> .....	20
2.12.	<b>Método por vía seca.</b> .....	20
2.12.1.	<i>Secado de la sustancia mineral.</i> .....	20
2.12.2.	<i>Triturado y Molienda.</i> .....	21
2.12.3.	<i>Clasificación por aire.</i> .....	21
2.12.4.	<i>Vía húmeda.</i> .....	21
2.12.5.	<i>Electrólisis</i> .....	21
2.12.5.1.	<i>Celda de electrólisis.</i> .....	21
2.12.5.2.	<i>Electrodos.</i> –.....	22
2.12.5.3.	<i>Dispersión de minerales.</i> .....	22

<b>2.12.6. Propiedades físico – químicas para su uso</b> .....	<b>24</b>
2.12.6.1. <i>Forma y tamaño de las partículas</i> .....	24
2.12.6.2. <i>Blancura y brillo</i> .....	25
2.12.6.3. <i>Reología</i> .....	25
<b>2.12.7. Defectos</b> .....	<b>26</b>
<b>2.12.8. Irregularidades</b> .....	<b>26</b>
<b>2.12.9. Cocción</b> .....	<b>26</b>
<b>2.12.10. Plasticidad</b> .....	<b>27</b>
<b>2.12.11. Refractariedad y deformación</b> .....	<b>27</b>
<b>2.13. Aplicaciones Del Caolín</b> .....	<b>28</b>
2.13.1. <i>Industria Cerámica</i> .....	28
<b>2.14. Clasificación de suelos</b> .....	<b>29</b>
2.14.1. <i>Granulometría</i> .....	29
<b>2.15. Sistemas de clasificación de suelos basados en criterios de granulometría</b> .....	<b>29</b>
2.15.1. <i>Varias clasificaciones granulométricas:</i> .....	30
2.15.2. <i>Clasificación M.I.T.</i> .....	30
2.15.3. <i>Clasificación según SUCS</i> .....	30
2.15.3.1. <i>Suelo granular grueso</i> .....	32
2.15.3.2. <i>Suelo granular fino</i> .....	32
2.15.4. <i>Plasticidad</i> .....	34
2.15.5. <i>Límite líquido</i> .....	34
2.15.6. <i>Límite plástico</i> .....	34
2.15.7. <i>Índice plástico</i> .....	35

### **CAPITULO III**

<b>3 MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>36</b>
3.1. <b>Metodología</b> .....	<b>36</b>
3.2. <b>Caracterización</b> .....	<b>37</b>
3.2.1. <i>Geomorfología</i> .....	37
3.2.2. <i>Geología local</i> .....	38
3.2.3. <i>Lugar del muestreo</i> .....	42
3.2.4. <i>Detalle de la toma de muestras</i> .....	44
3.3. <b>Pruebas físicas</b> .....	<b>46</b>
3.3.1. <i>Granulometría</i> .....	46
3.3.2. <i>Ensayo Granulométrico</i> .....	46

<b>3.4.</b>	<b>Plasticidad para determinar límites líquidos y plásticos.....</b>	<b>52</b>
3.4.1.	<i>Metodología para el análisis de la plasticidad .....</i>	52
3.4.2.	<i>Instrumentos y materiales: .....</i>	52
<b>3.5.</b>	<b>Límites De Atterberg.....</b>	<b>53</b>
3.5.1.	<i>Procedimiento para determinar el Límite Líquido:.....</i>	53
3.5.2.	<i>Procedimiento para determinar el Límite Plástico:.....</i>	55
3.5.3.	<i>Índice de plasticidad .....</i>	56
<b>3.6.</b>	<b>Tratamiento Electrolítico.....</b>	<b>58</b>
3.6.1.	<i>Desarrollo del proceso para la primera prueba de electrólisis.....</i>	58
3.6.1.1.	<i>Primer ensayo.....</i>	58
3.6.1.2.	<i>Segundo ensayo. ....</i>	58
3.6.2.	<i>Desarrollo del proceso para la segunda prueba de electrólisis e2. ....</i>	60
3.6.3.	<i>Desarrollo del proceso para la tercera prueba de electrólisis e3 .....</i>	62
<b>3.7.</b>	<b>Pruebas cerámicas .....</b>	<b>63</b>
3.7.1.	<i>Ensayos de contracción de secado .....</i>	63
3.7.2.	<i>Ensayo de la contracción de cocción .....</i>	65
3.7.3.	<i>La contracción total puede calcularse como sigue:.....</i>	68
<b>3.8.</b>	<b>Cálculo en Porcentaje de Reducción del Hierro .....</b>	<b>69</b>

#### **CAPITULO IV**

<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>70</b>
4.1.	<b>Resultados químicos tras los ensayos e1, e2, e3.....</b>	<b>70</b>
4.2.	<b>Resultados de análisis físicos-cerámicos .....</b>	<b>70</b>
4.3.	<b>Comprobación de la hipótesis.....</b>	<b>71</b>
4.3.1.	<i>Hipótesis.....</i>	71
4.3.2.	<i>Comprobación.....</i>	71

#### **CAPITULO V**

<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>72</b>
5.1.	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>72</b>
5.2.	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>73</b>
	<b>GLOSARIO .....</b>	<b>77</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>80</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1.</b> Puntos de Ubicación de la zona de estudio.....	4
<b>Tabla 2-1.</b> Clasificación Internacional granulométrica.....	30
<b>Tabla 2-2.</b> Clasificación M.I.T.....	30
<b>Tabla 2-3.</b> Clasificación en base a criterios de granulometría. ....	31
<b>Tabla 2-4.</b> Simbología Utilizada por el SUCS Como Identificación. ....	32
<b>Tabla 2-5.</b> Clasificación SUCS (Separación en Competente Fina y Gruesa). ....	33
<b>Tabla 3-1.</b> Descripción de la Geología del yacimiento de la mina Ximena II. ....	41
<b>Tabla 3-2.</b> Toma de muestras .....	45
<b>Tabla 3-3.</b> Georreferenciación de los puntos de muestreo. ....	46
<b>Tabla 3-4.</b> Primera prueba de electrólisis.....	59
<b>Tabla 3-5.</b> Segunda prueba de electrólisis E2. ....	61
<b>Tabla 3-6.</b> Tercera prueba de electrólisis E3.....	62
<b>Tabla 4-1.</b> Tabla de resultados de los análisis químicos. ....	70

## INDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-1.</b> Mapa de Ubicación de la zona de estudio.....	5
<b>Ilustración 2-1.</b> Columna estratigráfica, cuenca Oriente. ....	9
<b>Ilustración 2-2.</b> Hoja Tetraédrica Y Hoja Octaédrica.....	11
<b>Ilustración 2-3.</b> Celda de Electrólisis.....	22
<b>Ilustración 2-4.</b> Diagrama de flujo de tratamiento de caolín vía húmeda - Electrólisis	23
<b>Ilustración 2-5.</b> Carta de Plasticidad de Casagrande .....	33
<b>Ilustración 3-1.</b> Unidades Geomorfológicas de Relieve General .....	38
<b>Ilustración 3-2.</b> Rocas volcánicas con alteración por Metamorfismo. ....	39
<b>Ilustración 3-3.</b> Arenisca cuarzosa alterada.....	40
<b>Ilustración 3-4.</b> Pilos LA, LB, Lc, de los tres tipos de materiales caoliníticos. ....	42
<b>Ilustración 3-5.</b> Área N° 1, lugar de estudio de la mina Ximena II. ....	43
<b>Ilustración 3-6.</b> Instrumentos para el ensayo Granulométrico.....	47
<b>Ilustración 3-7.</b> Trituración de la muestra. ....	47
<b>Ilustración 3-8.</b> Molido de la muestra.....	48
<b>Ilustración 3-9.</b> Pesado de la muestra molida. ....	48
<b>Ilustración 3-10.</b> Armado de la serie de tamices. ....	49
<b>Ilustración 3-11.</b> Lavado de la Muestra. ....	49
<b>Ilustración 3-12.</b> Retirado de la muestra retenida en el tamiz. ....	50
<b>Ilustración 3-13.</b> Colocación de la muestra en el horno. ....	50
<b>Ilustración 3-14.</b> Secado de la muestra a 110°C.....	51
<b>Ilustración 3-15.</b> Registro de pesos retenidos en cada tamiz.....	51
<b>Ilustración 3-16.</b> Instrumentos y materiales para determinar plasticidad, LL y LP. ....	53
<b>Ilustración 3-17.</b> Agregado de agua de 15 a 20 ml.....	54
<b>Ilustración 3-18.</b> Ranura en el eje de simetría de la cápsula de Casagrande. ....	54
<b>Ilustración 3-19.</b> Barras de 3mm de diámetro. ....	55
<b>Ilustración 3-20.</b> Hoja de registro de datos laboratorio. ....	57
<b>Ilustración 3-21.</b> Longitud de la muestra de 14cm. ....	63
<b>Ilustración 3-22.</b> Ancho de la muestra de 4cm. ....	64
<b>Ilustración 3-23.</b> Longitud de la raya en una cara de la muestra. ....	64
<b>Ilustración 3-24.</b> Muestra seca.....	64

<b>Ilustración 3-25.</b> Muestras E1, E2, E3 secas. ....	65
<b>Ilustración 3-26.</b> Longitud de una barreta seca. ....	65
<b>Ilustración 3-27.</b> Horno electrónico para cocción de cerámica. ....	66
<b>Ilustración 3-28.</b> Barretas cocidas. ....	66
<b>Ilustración 3-29.</b> Longitud de barreta cocida sin tratamiento. ....	66
<b>Ilustración 3-30.</b> Longitud de barreta E1 cocida. ....	67
<b>Ilustración 3-31.</b> Longitud de barreta E2 cocida. ....	67
<b>Ilustración 3-32.</b> Longitud de barreta E3 cocida. ....	67
<b>Ilustración 4-1.</b> Coloración tras la quema ST, E1, E2, E3. ....	71

## INDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 3-1.</b> Contenido de Humedad.....	53
<b>Ecuación 3-2.</b> Porcentaje de contracción lineal de secado.....	65
<b>Ecuación 3-3.</b> Contracción lineal por cocción. ....	67
<b>Ecuación 3-4.</b> Porcentaje de contracción lineal total. ....	68
<b>Ecuación 3-5.</b> Porcentaje de reducción de hierro.....	69

## **INDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS ASTM D 2487 (BORSELLI, 2017)
- ANEXO B:** ANÁLISIS QUÍMICO DE MUESTRAS SIN TAMIZAR Y MUESTRAS TAMIZADAS REALIZADOS POR ALS LABS. ECUADOR (PUIG & ASOCIADOS, 2018)
- ANEXO C:** ANÁLISIS QUÍMICO DE MUESTRAS TRATADAS REALIZADOS POR ALS LABS. ECUADOR (PUIG & ASOCIADOS, 2018)
- ANEXO D:** COMPARACIÓN ENTRE ANÁLISIS QUÍMICO DE MUESTRAS SIN TAMIZAR Y MUESTRAS TAMIZADAS REALIZADOS POR (PUIG & ASOCIADOS, 2018)

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo principal investigar sobre la purificación del caolín que se desecha en la Mina Ximena II, ubicada en el cantón Limón Indanza, en la parroquia Santa Susana de Chiviaza. La investigación inició con la recolección de muestras de caolín de tres diferentes características de coloración distinta, siendo la rojiza con mayor contenido de hierro. Se realizó la caracterización de las muestras; mediante tratamiento por trituración y molienda se condicionó las partículas y luego se pasó por un tamiz #200; de cada muestra se pesó la misma cantidad y se homogenizó. Se realizó pruebas físicas para determinar: granulometría, límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad; obteniendo como resultados: en las pruebas de granulometría las partículas que pasaron por el tamiz #200 fue del 90%; el límite líquido dio un 90.42%, el límite plástico 46.87% y el índice de plasticidad 43,55%; por lo tanto, es un tipo de suelo CH (arcillas de alta plasticidad con un límite líquido mayor al 50% y muy compresibles). Para el tratamiento electrolítico se armó una planta piloto que consta de: un recipiente que contuvo la muestra a tratar, dos varillas: una fue el ánodo de cobre electrolítico y la otra el cátodo de acero inoxidable, una fuente de poder de 16V y 2 amperios, se pesó 500g de muestra homogenizada y se la disolvió en agua ácida de PH=5). terminadas las pruebas de electrólisis, las muestras tratadas fueron analizadas químicamente y mediante pruebas físico – cerámicas. Químicamente hubo reducción en el óxido de hierro del 1% cuando mayor fue la cantidad de agua ácida con respecto a los sólidos disueltos. Luego de las pruebas físico – cerámicas después de la cocción hubo cambios como: la coloración dio crema – blanco y la contracción fue del 20,40%.

**Palabras Clave:** <ARCILLA>, <CAOLÍN>, <FELDESPATO>, <ELECTRÓLISIS>, <PURIFICACIÓN>.



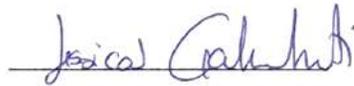
1844-DBRA-UPT-2023

## ABSTRACT

This thesis aimed to investigate on the purification of the kaolin that is discarded in the Ximena II Mine, located in Limón Indanza canton, Santa Susana de Chiviaza civil parish. The research began with the collection of kaolin samples based on three different characteristics and coloring, being the reddish with the highest iron content. The characterization of the samples was carried out; the particles were processed by crushing and grinding and then passed through a #200 sieve; the same amount of each sample was weighed and homogenized. Physical tests were carried out to determine: granulometry, liquid and plastic limit, plasticity index; obtaining the following results: based on granulometry tests, 90% of the particles passed through the #200 sieve; the liquid limit was 90.42%, the plastic limit 46.87% and the plasticity index 43.55%; therefore, it is a CH soil type (high plasticity clays with a liquid limit greater than 50% and very compressible). For the electrolytic treatment, a pilot plant was set up consisting of a container containing the sample to be treated; two rods, one was the electrolytic copper anode and the other the stainless steel cathode; a 16V and 2 amp power source. 500g of homogenized sample were weighed and dissolved in acid water of PH=5; once the electrolysis tests were completed, the treated samples were analyzed chemically and by means of physical-ceramic tests.

Chemically, there was a 1% reduction in iron oxide the greater the amount of acid water with respect to the dissolved solids. Afterward the physical-ceramic tests, following firing, there were changes such as the coloration which gave a cream-white tone, and the shrinkage was 20.40%.

**Keywords:** <CLAY>, <KAOLIN>, <FELDSPAR>, <ELECTROLYSIS>, <PURIFICATION>.



Lic. Jessica Galimberti Mg.

CI 175646848-2

1844-DBRA-UPT-2023

## INTRODUCCIÓN

El caolín, o arcilla de China, aunque relativamente escaso en la naturaleza, es de especial interés para el ceramista. Es indispensable para hacer porcelana blanca pura. Su escasez se manifiesta por el hecho de que la presencia de depósitos de caolín en Europa fue durante largo tiempo desconocida, hasta el siglo XVIII. En China las cerámicas hechas de arcillas blancas se producían por lo menos desde el comienzo de la dinastía Han, 200a.C., o incluso antes. La conducción de las temperaturas del horno hasta alrededor de 1200°C y la fabricación de cerámica vitrificada blanca utilizando caolín como principal arcilla data en China de tiempo tan remoto como por lo menos el 600d.C. Esto antecede a la fabricación de porcelana en Europa en más de 1000 años. En China, el caolín es más corriente y más plástico y trabajable que en cualquier otro lugar.

Los caolines son arcillas primarias y se han formado por la meteorización in situ del feldespato. Son de partículas de tamaño grueso y, por ello, no plásticos comparados con la mayoría de las arcillas sedimentarias. Los caolines están relativamente libres de impurezas tales como el hierro. Tal como se encuentran en los depósitos naturales, los caolines están corrientemente localizados en bolsas más que en lechos estratificados. La sustancia arcillosa está corrientemente mezclada con fragmentos de roca de feldespato y cuarzo. Antes de poder usar la arcilla estos fragmentos minerales deben removerse por algún método de purificación.

El caolín es una arcilla altamente refractaria y que tiene un punto de fusión por encima de 1800°C. En la práctica, rara vez se usa el caolín en sí mismo; se añaden a él otros materiales para aumentar su trabajabilidad y disminuir la temperatura del horno necesaria para lograr un producto duro y denso. Como podría esperarse, la contracción del caolín es baja debida a su estructura de grano gruesa, y tiene poca resistencia en seco.

## **CAPÍTULO I**

### **1 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Antecedentes.**

La concesión minera Ximena II con código 100102.1 perteneciente a EXPLOSUR C.A, ubicada en la provincia de Morona Santiago cantón Limón Indanza en la parroquia Santa Susana de Chiviaya, viene realizando sus actividades de extracción de arcilla desde hace varios años atrás.

En esta área minera se extrae caolín de alta ley, desechando material con contenido de hierro, consecuencia de ello el material desechado no ha sido aprovechado en su totalidad, para lo cual se propone realizar un estudio mediante electrolisis que nos permitirá determinar si es posible elevará la ley del material desechado retirando el hierro en un cierto porcentaje.

#### **1.2. Planteamiento del problema.**

En las operaciones de producción de la Concesión Minera Ximena II se genera un remanente con material aun de importancia industrial, constituido por una mezcla de óxidos de hierro, sílice, arcilla, materia orgánica y otros elementos; por ende, con el afán de dar un aprovechamiento industrial del mencionado residuo que contiene material útil mezclado con impurezas se pretende eliminar el hierro mediante procedimientos por: vía húmeda (electrólisis).

#### **1.3. Justificación.**

La industria cerámica utiliza las arcillas para la fabricación de lozas, porcelanas, estucados, vidrio etc. Para la elaboración de dichos productos el grado de pureza varía, sin embargo, las arcillas blancas como el caolín son las más requeridas. El caolín que se extrae de la mina Ximena II pertenece a las arcillas blancas, pero contiene óxido de hierro en su estado natural lo cual desmejora su calidad.

La empresa cerámica está en constante prospección de yacimientos de arcillas de excelente calidad que satisfagan las demandas del mercado consumidor, por ello es la preocupación constante de mejorar las materias primas que se emplean y poder obtener productos con altos estándares de calidad.

Mediante la implementación de una planta de tratamiento para la purificación de las arcillas Caolín, la materia prima es sometida a procesos físicos y químicos como la electrólisis para elevar su calidad. Con estos procesos se consigue aprovechar material que está siendo desechado como remanente por su baja calidad y consecuentemente se convierte en un material útil de valor económico.

Al mejorar las características y las propiedades físicas y químicas del remanente, vamos a obtener una posibilidad de recuperar material con un notable beneficio económico. Actualmente las reservas de la mina se las eleva mezclando material de mejor calidad con uno de menor calidad y desechando el que más óxido contiene, la mezcla resultante no siempre satisface las expectativas de los cuerpos cerámicos luego de la cocción, por ello el tratamiento electrolítico va a garantizar elevar su calidad y obtener con mayor probabilidad el producto final deseado, convirtiéndose en la solución.

#### **1.4. Objetivos**

##### ***1.4.1. Objetivo general***

- Purificar el caolín que se desecha en la Concesión Minera Ximena II

##### ***1.4.2. Objetivos específicos***

- Caracterizar el material remanente de la mina.
- Retirar elementos contaminantes (Óxido de hierro) por electroquímica.
- Realizar un análisis del producto final obtenido.

#### **1.5. Planteamiento de la hipótesis**

“Permitirá el proceso de purificación retirar los elementos contaminantes y obtener un producto final con características óptimas del remanente de la mina Ximena II”

### 1.6. Ubicación del área de estudio.

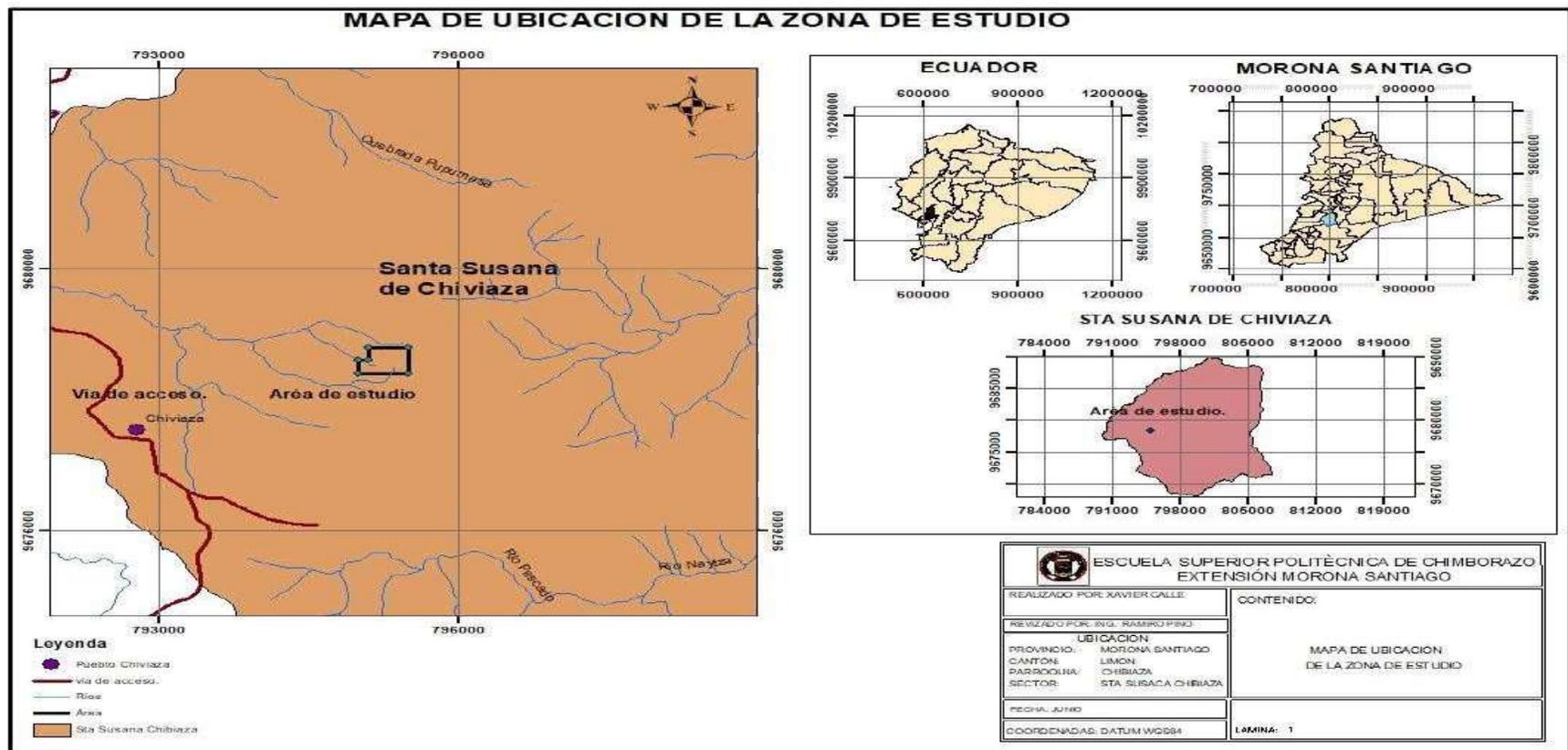
La mina Ximena II está ubicada en la provincia de Morona Santiago, en el cantón Limón Indanza, en el sector Susana de Chiviaza, a 120 Km. Al NO de la ciudad de Cuenca, y a 16 Km. Al Este de la población del Rosario, geográficamente se encuentra limitada por las coordenadas UTM que se indican a seguir:

**Tabla 1-1.** Puntos de Ubicación de la zona de estudio

<u>COORDENADAS</u>		
<u>VÉRTICE</u>	<u>WGS 84</u>	
	ESTE	NORTE
P.P.	795000	9678400
1	795000	9678600
2	795100	9678600
3	795100	9678800
4	795500	9678800
5	795500	9678400

Fuente: ARCOM

Realizado por: Calle, X, 2020.



**Ilustración 1-1.** Mapa de Ubicación de la zona de estudio.

Realizado por: Calle, X. 2020

### **1.7. Acceso**

El acceso a la Mina Ximena II se hace tomando como punto de partida la capital de la provincia de Morona Santiago la ciudad de Macas en sentido sur por la vía Troncal Amazónica hasta llegar al cantón Limón Indanza y pasamos la parroquia el Rosario hacia el sector Santa Susana de Chiviaza llegando así a la cantera de la mina Ximena II.

### **1.8. Clima y temperatura**

El clima de Limón Indanza está clasificado como tropical. La precipitación es significativa, con precipitaciones incluso durante el mes más seco. La temperatura media anual es 21.9 ° C. La precipitación media aproximada es de 2485 mm. (Plan de ordenamiento territorial del cantón Limón Indanza).

## CAPÍTULO II

### 2 REVISIÓN DE LA LITERATURA.

#### 2.1. Geología regional

Dentro del territorio de la zona sur del Ecuador, la concesión minera Ximena II forma parte de la cordillera Real de los Andes, lugar en el que denominan rocas metamórficas del paleozoico. Regionalmente se relaciona con las siguientes formaciones geológicas:

#### 2.2. Secuencia Triásico-Jurásico.

##### 2.2.1. *Formación Santiago*

Inicia en el Triásico y va hasta el Jurásico, donde se deposita una secuencia monótona intercalada de calizas y areniscas calcáreas con esquistos micáceos; de la misma manera lutitas negras intercaladas, arenoso – micáceos, lava y tobas; depositada en ambiente turbidítico de Rift. Conjunto lítico. (Paladines, 1989, p. 30).

##### 2.2.2. *Formación Chapiza*

Posterior y de ambiente continental está compuesta de: pizarras arcosas, areniscas, conglomerados y tobas de color rojizo. Esto se da ya en el jurásico. (Paladines, 1989, p. 19).

La transición entre el jurásico y el cretácico la marca el conjunto volcánico que es la **formación Misahuallí**, a la cual algunos geólogos la incluyen dentro del miembro superior de la formación Chapiza; está compuesta por una serie de lavas y piro clastos, y posee una petrografía y característica propia. (Paladines, 1989, p. 19).

#### 2.3. Periodo Cretácico

##### 2.3.1. *Formación hollín*

Es el comienzo de la secuencia cretácica por la deposición fluvio – marino de areniscas cuarzosas de coloración blanca y estratificación cruzada. (Paladines, 1989, p. 25).

El mismo ambiente continúa con la deposición de calizas fosilíferas entremezcladas con lutitas y areniscas dando origen a la **formación Napo** que se divide en tres niveles:

### ***2.3.2. Napo inferior***

Sigue con una alternancia de Lutitas, areniscas y en menor cantidad de calizas. (Paladines, 1989, p. 25).

### ***2.3.3. Napo Medio***

Calizas masivas y color gris claro. (Paladines, 1989, p. 25).

### ***2.3.4. Napo Superior***

Lutitas duras grises - verdes, interestratificadas con calizas y areniscas.

Toda la secuencia de la formación Napo es interrumpida por cortes constantes de rocas ígneas de composición básica o intermedia. (Paladines, 1989, p. 25).

Siguiente etapa de sedimentación es conocida como la **formación Tena** compuesta por: sedimentos finos de característica arcillosa de color gris – verdoso.

Afloramientos en varios lugares muestran rocas volcánicas indiferenciadas. (Paladines, 1989, p. 26).



## 2.4. Definición y tipos de clasificación de las arcillas

Refiriéndose a los significados como son: tamaño de partícula, mineralogía, petrografía, comportamiento físico, etc., las arcillas son el resultado de la descomposición de la roca madre original debido a la acción de agentes meteorizantes sobre la misma; se pueden encontrar en acumulación natural in situ, en estado consolidado o no, de tamaño fino menor a  $1\mu\text{m}$  de acuerdo a los químicos que estudian coloides, menor a  $2\mu\text{m}$  de acuerdo con los mineralogistas y estudiosos de suelos, y  $4\mu\text{m}$  de acuerdo a los sedimentologistas; constituidas por distintos minerales de arcilla como (Silicatos aluminicos hidratados, con iones principalmente de Mg, Fe, K y Na) y otros minerales que se pueden encontrar mezclados como los feldespatos, cuarzo, carbonatos etc. De manera peculiar pueden ser algunas arcillas plásticas en presencia de agua o endurecimiento sometidas al calor a altas temperaturas. (Díaz & Torrecillas, 2002, p. 459).

### 2.4.1. Tipos de clasificación.

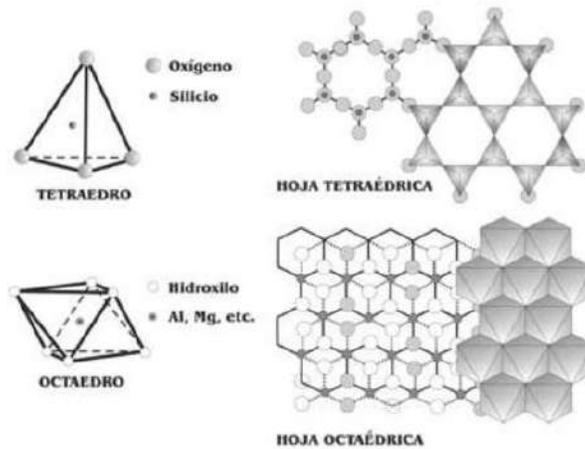
Desde un punto de vista petrográfico obedeciendo a varios parámetros como:

- a) Mineralogía. - Ricas en caolinita.
- b) Químico. - Alto contenido en alúmina
- c) Origen geológico. - Sedimentarias
- d) Propiedades físicas. - Plasticidad, reología, etc.
- e) Uso industrial. - Refractarias.
- f) Comportamiento geotécnico. - Ingeniería geológica.

Mineralógicamente hablando, las arcillas tienen minerales arcillosos (filosilicatos) y no arcillosos que en conjunto le dan sus características de plasticidad, de secado y cocción a las piezas elaboradas con esta materia prima. Los filosilicatos son silicatos de aluminio, hierro y magnesio hidratados con estructuras en capas como son las Palygorskitas y Sepiolitas. (Díaz & Torrecillas, 2002, p. 460).

Se los puede considerar por su armazón estructural como un polímero inorgánico formado por dos estructuras monómeras a los filosilicatos, una de ellas un tetraedro ( $\text{SiO}_4$ ) y la otra un octaedro que puede ser de Gíbsita (hidróxido de aluminio) o de brucita (hidróxido de magnesio), si un conjunto de tetraedros comparte tres vértices formando una hoja continua, esta se llama hoja tetraédrica y si los octaedros están en contactos unos con otros formando una cara triangular entonces forman una hoja octaédrica. Cuando el catión octaédrico es de  $\text{Al}^{+3}$  o  $\text{Fe}^{+3}$  deben estar

llenas solo dos de tres hojas octaédricas llamándose hoja dioctaédrica, existiendo así el balance de carga dentro del retículo del mineral arcilloso. Si el catión es de  $Mg^{+2}$  o  $Fe^{+2}$  el balance de cargas está presente en todas las posiciones octaédricas denominándose hoja trioctaédrica. De acuerdo al apilamiento combinado de estas dos hojas se obtiene la estructura de la familia de los filosilicatos. (Díaz & Torrecillas, 2002, p. 460).



**Ilustración 2-2.** Hoja Tetraédrica Y Hoja Octaédrica.

Fuente: Díaz & Torrecillas, 2002, p. 461

**Tomando en cuenta el apilamiento podemos dividir en tres grupos:**

Los filosilicatos tipo 1:1. - Están constituidos por una hoja tetraédrica (TO) que puede ser de Gibsita (hidróxido de aluminio) o de Brucita (hidróxido de magnesio).

Del tipo 2:1. - Poseen una hoja octaédrica insertada entre dos hojas tetraédricas (TOT).

Y del tipo 2:1:1. - Con una hoja octaédrica adicional intercaladas entre dos capas (TOT).

Por interés del presente proyecto investigativo tomaremos en cuenta los diferentes grupos de arcillas; y en especial del caolín el cual es del tipo de capa 1:1, pertenece al subgrupo caolines (di octaédrico), los minerales que pertenecen a este grupo son la caolinita, dickita, nacrita, crisotilo, antigorita. (Díaz & Torrecillas, 2002, p. 461).

## 2.4.2. *Propiedades físicas de las arcillas*

**a) Plasticidad.** – Es la moldeabilidad de una arcilla al agregar una determinada cantidad de agua, debido a la atracción química de las partículas, la forma de grano, y la presencia de materia orgánica. (Arqhys, 2016, p. 1).

Hay arcillas plásticas y las antiplásticas; las primeras cumplen la condición de plasticidad y las antiplásticas son inertes, es decir que no reaccionan químicamente en presencia de cambios de temperatura, dan una estructura determinada a la pasta y vitrificación a altas temperaturas (fundentes). (Arqhys, 2016, p. 1).

**b) Merma.** – Es el encogimiento de la pasta debido a la pérdida de agua contenida en la misma, se la conoce por el nombre de merma de secado. (Arqhys, 2016, p. 1).

**c) Refractariedad.** – Se puede decir que todas las arcillas pueden llegar a ser refractarias, porque resisten aumentos de temperatura sin sufrir cambios, pero se diferencian por la temperatura de cocción propia de cada tipo. Su punto de fusión oscila entre 1600°C y 1750°C. (Arqhys, 2016, p. 1).

**d) Porosidad.** – Es distinto para cada tipo de arcilla, está relacionado con la compactación que tiene un cuerpo cerámico luego de la cocción. Mientras más baja la temperatura de cocción son más porosas y el índice de absorción será mayor. (Arqhys, 2016, p. 1).

**e) Color.** – El color varía de acuerdo al tipo de arcilla ya que el contenido de hierro y de carbonato de calcio dan su color luego de la cocción. (Arqhys, 2016, p. 1).

## 2.5. *Clasificación de las arcillas.*

Sabiendo que las arcillas pertenecen a un yacimiento mineral no metálico, se tomará en cuenta su cantidad, calidad y como se encuentra el yacimiento, para el uso cerámico que a estas pueda darse; siendo las **arcillas comunes** y los **caolines** de principal interés, quedando en segundo plano las **arcillas especiales**. (Díaz & Torrecillas, 2002, p. 462).

### 2.5.1. *Arcillas Comunes.*

Se dice a las arcillas que se las encuentra en gran cantidad en afloramientos y que no son muy exigentes desde lo químico – mineralógico, se las utiliza para la construcción y alfarería. Tienen una gran variedad de minerales de mica (illitas, muscovitas, etc.) pero en baja cantidad minerales de los caolines, cloritas, esmectitas y hormitas. En ellas pueden encontrarse sustancias desgrasantes como el cuarzo, carbonatos etc. y tamaño de grano muy variado, estas características

hacen que las propiedades físicas cerámicas cambien como la plasticidad sea baja y la vitrificación se produce a temperaturas menores a 1100°C. Los productos obtenidos de las arcillas comunes son: En la construcción: ladrillos huecos o caravistas, azulejos para pavimentos o revestimientos; en alfarería: cemento y agregados ligeros; el color característico es el rojo porque el contenido de hierro es de 2 – 2,5%. (Díaz & Torrecillas, 2002, p. 462).

### **2.5.2. Arcillas Especiales.**

Sin mayor uso en cerámica. Son arcillas comerciales con mineralogía definida y propiedades físicas establecidas. Los minerales que se encuentran pertenecen a dos grupos como son: las esmectitas y hormitas. Los minerales que la componen tienen su génesis geológica ligada, sus propiedades físicas contienen y producto de ello destacan la reología, superficie específica y adsorción poderosa. (Díaz & Torrecillas, 2002, p. 462).

### **2.6. Grupo de los Caolines.**

Son arcillas cerámicas sobresalientes en variedad y uso industrial. Su mineral principal es la caolinita. Su fórmula ( $2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), el color que cuece es blanco o casi blanco y en estado natural tiene bajo contenido de hierro o casi no lo contiene. (Díaz & Torrecillas, 2002, p. 464).

#### **2.6.1. Caolines primarios.**

Son yacimientos de caolín originados in situ por la descomposición de la roca madre rica en feldespato u otras sustancias minerales ricas en silicatos aluminicos. (Díaz & Torrecillas, 2002, p. 464).

#### **Los yacimientos de caolín primarios se dividen en:**

- Residuales.
- Hidrotermales.

##### **2.6.1.1. Los yacimientos de caolín residuales.**

Se origina en la corteza de meteorización de rocas feldespáticas, granitos y metamórficas. Para que haya una meteorización más eficiente las rocas expuestas a gran cantidad de agua permanentemente y a mayor profundidad sufren un ataque más intenso sobre los cationes libres

como el Na, Ca, Mg, Fe y K, dejando un terreno rico en Al y Ti. En climas húmedos con precipitaciones abundantes de lluvia y temporadas de interrupción de las mismas provoca la acidificación de la corteza, por el ácido generado, el hierro se lixivia de los productos de la corteza meteorizada por los ácidos húmicos que surgen en presencia de una exuberante vegetación y clima caluroso.

Cuando los niveles de las aguas freáticas bajan paulatina y sincronizadamente por las rocas subyacentes alteradas, se forman potentes regiones de corteza alterada y en la base se forman yacimientos bauxíticos. El caolín blanco es producto de la alteración de las rocas graníticas que se utiliza para cerámicas porcelanas. (Díaz & Torrecillas, 2002, p. 465).

#### *2.6.1.2. Caolines hidrotermales.*

Son producto de la descomposición de rocas ácidas y metamórficas debido al contacto con fluidos calientes que circulan a través de fracturas geológicas en el suelo o a su vez por el contacto de rocas graníticas intrusivas que empiezan a enfriarse y estando en contacto con rocas supra yacentes. Cuando la roca de caja está constituida por micas y no hay biotitas, esto favorece la caolinización hidrotermal. (Díaz & Torrecillas, 2002, p. 465).

#### **2.6.2. Los caolines secundarios son:**

##### *2.6.2.1. Caolines Sedimentarios.*

Son los más abundantes que se los encuentra en la naturaleza debido a los distintos mecanismos de precipitación (autogénesis) o alteración por enterramiento diagénesis que transportan minerales a las cuencas de deposición, el material mineral depositado proviene de distintos lugares y distintos orígenes químicos. Se da un proceso de recristalización de las arcillas que crean litofacies. Los caolines sedimentarios están expuestos permanentemente a meteorización química con mucho drenaje.

Los yacimientos de caolín sedimentarios se pueden encontrar por ejemplo en:

**Arcillas refractory clay.** - Es el equivalente del “fire clay”, son muy ricas en alúmina, que para usarlas en cerámica o como refractarias hay que someterlas a un tratamiento térmico previo. Para su uso hay que evitar impurezas (hierro, titanio y alcalinos). Por lo general las arcillas sedimentarias al pre calcinarlas a altas temperaturas (chamotearlas) pueden convertirse en

refractarias, pero siempre que tengan bajos contenidos de hierro y necesariamente deben tener ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) las calcinadas y no calcinadas.

Aparte de ser áridos para refractarios son principalmente desengrasantes en los materiales cerámicos. (Díaz & Torrecillas, 2002, p. 469).

### **2.7. Impurezas en las arcillas cerámicas.**

La ambigüedad del concepto nos hace referir a la pureza como la ausencia de sustancias minerales o componentes no arcillosos impropios de una arcilla como sí lo son la caolinita, haloisita, illita etc. Los minerales de arcilla tienen composiciones y morfologías diversas, pero siempre sin perder su identidad mineralógica. Los minerales arcillosos pueden estar asociados con las impurezas en estado natural comúnmente. (García, 1985, p. 386).

Un caolín lavado ha sido sometido a dicho proceso para retirar o separar minerales no arcillosos primarios en forma de arena. Obtenemos entonces un concentrado que básicamente es de minerales secundarios. Generalmente se busca que una arcilla o caolín den un color blanco, para ello generalmente se usan métodos químicos para retirar elementos o compuestos coloreados como el óxido de hierro, de manganeso y otros elementos contaminantes, presentes en forma de granos o pueden formar películas que se adhieren a los granos de minerales que coexisten. (García, 1985, p. 386).

### **2.8. Compuestos que naturalmente forman a las arcillas:**

- a) Por existir variaciones cambia la morfología y estructura de las partículas.
- b) Compuestos hidratados de alúmina, sílice, óxido de hierro, manganeso y otros que alteran la forma.
- c) Por su densidad tanto los minerales pesados como livianos en granulometría muy fina.
- d) Los carbonatos que pueden formar nódulos evidentes en la cantera, con distribución no homogénea y pueden asociarse con las partículas más finas.
- e) Sales solubles.
- f) Materia orgánica y residuos carbonosos.

Para la cerámica se puede decir que la pureza es la exclusión o ausencia de dichas impurezas que degradan el resultado final esperado. Por lo tanto, no hay un concepto absoluto sobre pureza, más

bien tiene que ver con los componentes que se quieren para la elaboración de un cuerpo cerámico refractario, como ejemplo de esto, los feldespatos son fundentes y para refractarios son impurezas, la temperatura será menor para ablandamiento. No así para las porcelanas los feldespatos son componentes esenciales para formar pastas, pero las impurezas decoloración rojiza son rechazadas, como el hierro contenido en forma de un compuesto que tiñe de color amarillento o grisáceo, dañando la blancura deseada. En la elaboración de las arcillas los feldespatos siempre serán beneficiosos por ser inertes y si reaccionan son de gran aporte en propiedades, favorablemente convergen los óxidos para teñir de rojo a dichos productos que es lo que se desea, las impurezas aquí son las calizas con grano grueso, yeso y si existen sulfuros, ya que pueden aparecer defectos como caliche y eflorescencia. Concluyentemente las impurezas es algo relativo y si necesitamos especificaciones de un producto estas pueden aportar propiedades y mejorar características. Se debe manejar correctamente las proporciones en las mezclas para hacer un producto deseado. (García, 1985, p. 396).

## **2.9. Descripción de minerales presentes en material cerámico.**

### **2.9.1. Feldespato**

Constituyen el grupo mineral más abundante en la corteza terrestres presentes en más del 50% en las rocas. Pueden escasear en rocas ultra básicas y alcalinas, no así en rocas ígneas, filonianas y metamórficas. Como minerales accesorios se presentan en rocas arcillosas y carbonatadas.

Son Aluminosilicatos de Na, Ca, K y Ba. Se presentan en soluciones sólidas y pueden ser ordenadas o de diferente grado hasta desordenadas. El grado se mide en términos siguientes: albita ( $NaAlSi_3O_8$ ), nortita ( $KAl_2Si_2O_8$ ), ortoclasa ( $KAlSi_3O_8$ ), y Celsiana ( $BaAl_2Si_2O_8$ ), abreviadas respectivamente Ab, An, Or, Cn. Se puede sustituir entre el 25 y 50% de átomos de sílice por aluminio con adición de cationes alcalinos y alcalinotérreos. En el orden de la serie Ab – Or se llama feldespatos alcalinos y las serie Ab – An son las plagioclasas. (Sánchez & García, 1992, p. 441).

La industria cerámica y de vidrio emplean los feldespatos alcalinos de Na y K. El feldespato es usado porque, promueve la fusión durante el calcinado e imparte resistencia, dureza y durabilidad a los productos finales. Las aplicaciones principales del feldespato se deben a su aporte de alúmina ( $Al_2O_3$ ), y de óxidos alcalinos en vidrios y cerámicas. (Sánchez & García, 1992, p. 441).

En cerámica se emplea como fundente y para el control de la vitrificación por la acción de los óxidos alcalinos. Para las porcelanas se requiere un color "de quema" blanco, mínimo contenido de hierro, alto contenido de óxidos alcalinos con una relación ( $K_2O/Na_2O$ ), superior a 3. (Sánchez & García, 1992, p. 441).

### **2.9.2. Los feldespatos alcalinos.**

Tres factores son determinantes: a) química, b) simetría, c) orden Si/Al.

La composición química se determina fácilmente, así como también la simetría. La distribución de silicio y aluminio no es tan sencilla. La textura de los feldespatos alcalinos es de ex solución, porque a altas temperaturas, donde se puede dar la cristalización, estos se mantienen como soluciones sólidas completas, sin producir desmezclas como a bajas temperaturas ocurre. Para obtener una mezcla deseada se debe partir de la obtención feldespato sin impurezas, mediante tratamientos para separar minerales accesorios de los feldespatos; y se debe tener el cuarzo que se presenta generalmente con alto grado de pureza, luego en proporciones conocidas añadir las cantidades necesarias o a su vez seguir añadiendo cuarzo hasta alcanzar los resultados deseados en cerámica y vidrio. Su uso en cerámica es del 30%, para gres, loza, porcelana, vidrio, etc, es del 60%. (Sánchez & García, 1992, p. 441).

### **2.9.3. El cuarzo ( $SiO_2$ ).**

La sílice es el mineral más abundante en la corteza terrestre, tiene cristalografía perfecta y puede encontrarse puro. Cuando se cuece una cerámica, éste puede afectar en la estructura, porque a bajas temperaturas  $573^{\circ}C$  cambia el volumen dándose un nuevo ordenamiento de las moléculas formándose una nueva estructura cristalográfica. El gradiente de velocidad debe ser de aumento lento entre  $500$  y  $600^{\circ}C$  para evitar defectos en las pastas por rupturas.

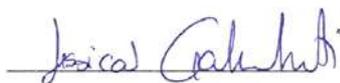
La sílice no es plástica, por lo tanto, el cuarzo disminuye la plasticidad y retracción de las masas, su contracción por secado y evita la deformación. Al mismo tiempo, ejerce un control sobre la porosidad, da más blancura y aumenta la velocidad de secado de las cerámicas. Si es áspero debe ser eliminado. (Bernal et al., 2003, p. 573).

## ABSTRACT

This thesis aimed to investigate on the purification of the kaolin that is discarded in the Ximena II Mine, located in Limón Indanza canton, Santa Susana de Chiviáza civil parish. The research began with the collection of kaolin samples based on three different characteristics and coloring, being the reddish with the highest iron content. The characterization of the samples was carried out; the particles were processed by crushing and grinding and then passed through a #200 sieve; the same amount of each sample was weighed and homogenized. Physical tests were carried out to determine: granulometry, liquid and plastic limit, plasticity index; obtaining the following results: based on granulometry tests, 90% of the particles passed through the #200 sieve; the liquid limit was 90.42%, the plastic limit 46.87% and the plasticity index 43.55%; therefore, it is a CH soil type (high plasticity clays with a liquid limit greater than 50% and very compressible). For the electrolytic treatment, a pilot plant was set up consisting of a container containing the sample to be treated; two rods, one was the electrolytic copper anode and the other the stainless steel cathode; a 16V and 2 amp power source. 500g of homogenized sample were weighed and dissolved in acid water of PH=5; once the electrolysis tests were completed, the treated samples were analyzed chemically and by means of physical-ceramic tests.

Chemically, there was a 1% reduction in iron oxide the greater the amount of acid water with respect to the dissolved solids. Afterward the physical-ceramic tests, following firing, there were changes such as the coloration which gave a cream-white tone, and the shrinkage was 20.40%.

**Keywords:** <CLAY>, <KAOLIN>, <FELDSPAR>, <ELECTROLYSIS>, <PURIFICATION>.



Lic. Jessica Galimberti Mg.

CI 175646848-2

1844-DBRA-UPT-2023

## INTRODUCCIÓN

El caolín, o arcilla de China, aunque relativamente escaso en la naturaleza, es de especial interés para el ceramista. Es indispensable para hacer porcelana blanca pura. Su escasez se manifiesta por el hecho de que la presencia de depósitos de caolín en Europa fue durante largo tiempo desconocida, hasta el siglo XVIII. En China las cerámicas hechas de arcillas blancas se producían por lo menos desde el comienzo de la dinastía Han, 200a.C., o incluso antes. La conducción de las temperaturas del horno hasta alrededor de 1200°C y la fabricación de cerámica vitrificada blanca utilizando caolín como principal arcilla data en China de tiempo tan remoto como por lo menos el 600d.C. Esto antecede a la fabricación de porcelana en Europa en más de 1000 años. En China, el caolín es más corriente y más plástico y trabajable que en cualquier otro lugar.

Los caolines son arcillas primarias y se han formado por la meteorización in situ del feldespato. Son de partículas de tamaño grueso y, por ello, no plásticos comparados con la mayoría de las arcillas sedimentarias. Los caolines están relativamente libres de impurezas tales como el hierro. Tal como se encuentran en los depósitos naturales, los caolines están corrientemente localizados en bolsas más que en lechos estratificados. La sustancia arcillosa está corrientemente mezclada con fragmentos de roca de feldespato y cuarzo. Antes de poder usar la arcilla estos fragmentos minerales deben removerse por algún método de purificación.

El caolín es una arcilla altamente refractaria y que tiene un punto de fusión por encima de 1800°C. En la práctica, rara vez se usa el caolín en sí mismo; se añaden a él otros materiales para aumentar su trabajabilidad y disminuir la temperatura del horno necesaria para lograr un producto duro y denso. Como podría esperarse, la contracción del caolín es baja debida a su estructura de grano gruesa, y tiene poca resistencia en seco.

## CAPÍTULO I

### 1 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Antecedentes.

La concesión minera Ximena II con código 100102.1 perteneciente a EXPLOSUR C.A, ubicada en la provincia de Morona Santiago cantón Limón Indanza en la parroquia Santa Susana de Chiviaza, viene realizando sus actividades de extracción de arcilla desde hace varios años atrás.

En esta área minera se extrae caolín de alta ley, desechando material con contenido de hierro, consecuencia de ello el material desechado no ha sido aprovechado en su totalidad, para lo cual se propone realizar un estudio mediante electrolisis que nos permitirá determinar si es posible elevará la ley del material desechado retirando el hierro en un cierto porcentaje.

#### 1.2. Planteamiento del problema.

En las operaciones de producción de la Concesión Minera Ximena II se genera un remanente con material aun de importancia industrial, constituido por una mezcla de óxidos de hierro, sílice, arcilla, materia orgánica y otros elementos; por ende, con el afán de dar un aprovechamiento industrial del mencionado residuo que contiene material útil mezclado con impurezas se pretende eliminar el hierro mediante procedimientos por: vía húmeda (electrólisis).

#### 1.3. Justificación.

La industria cerámica utiliza las arcillas para la fabricación de lozas, porcelanas, estucados, vidrio etc. Para la elaboración de dichos productos el grado de pureza varía, sin embargo, las arcillas blancas como el caolín son las más requeridas. El caolín que se extrae de la mina Ximena II pertenece a las arcillas blancas, pero contiene óxido de hierro en su estado natural lo cual desmejora su calidad.

La empresa cerámica está en constante prospección de yacimientos de arcillas de excelente calidad que satisfagan las demandas del mercado consumidor, por ello es la preocupación constante de mejorar las materias primas que se emplean y poder obtener productos con altos estándares de calidad.

Mediante la implementación de una planta de tratamiento para la purificación de las arcillas Caolín, la materia prima es sometida a procesos físicos y químicos como la electrólisis para elevar su calidad. Con estos procesos se consigue aprovechar material que está siendo desechado como remanente por su baja calidad y consecuentemente se convierte en un material útil de valor económico.

Al mejorar las características y las propiedades físicas y químicas del remanente, vamos a obtener una posibilidad de recuperar material con un notable beneficio económico. Actualmente las reservas de la mina se las eleva mezclando material de mejor calidad con uno de menor calidad y desechando el que más óxido contiene, la mezcla resultante no siempre satisface las expectativas de los cuerpos cerámicos luego de la cocción, por ello el tratamiento electrolítico va a garantizar elevar su calidad y obtener con mayor probabilidad el producto final deseado, convirtiéndose en la solución.

#### **1.4. Objetivos**

##### ***1.4.1. Objetivo general***

- Purificar el caolín que se desecha en la Concesión Minera Ximena II

##### ***1.4.2. Objetivos específicos***

- Caracterizar el material remanente de la mina.
- Retirar elementos contaminantes (Óxido de hierro) por electroquímica.
- Realizar un análisis del producto final obtenido.

#### **1.5. Planteamiento de la hipótesis**

“Permitirá el proceso de purificación retirar los elementos contaminantes y obtener un producto final con características óptimas del remanente de la mina Ximena II”

### 1.6. Ubicación del área de estudio.

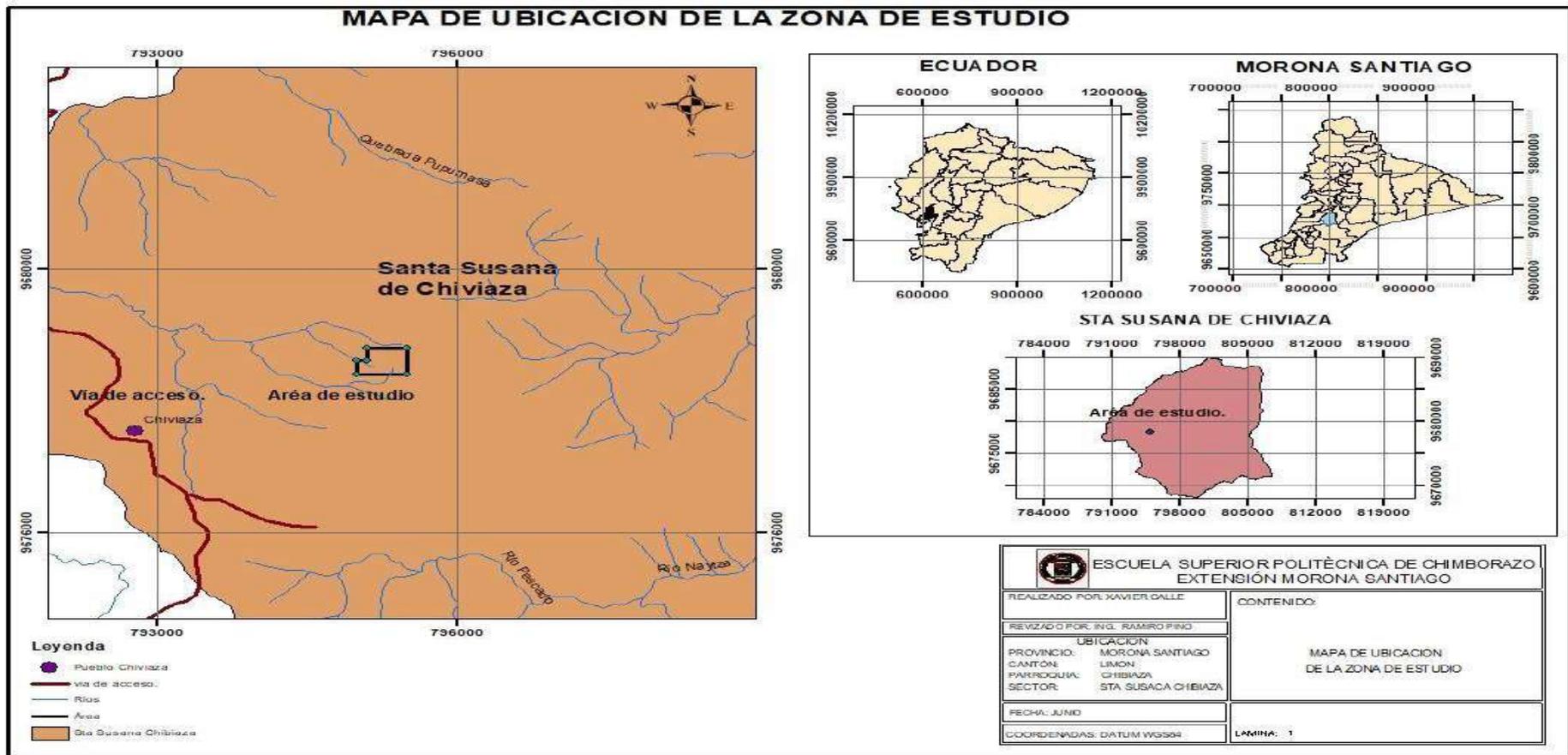
La mina Ximena II está ubicada en la provincia de Morona Santiago, en el cantón Limón Indanza, en el sector Susana de Chiviaza, a 120 Km. Al NO de la ciudad de Cuenca, y a 16 Km. Al Este de la población del Rosario, geográficamente se encuentra limitada por las coordenadas UTM que se indican a seguir:

**Tabla 1-1.** Puntos de Ubicación de la zona de estudio

<u>COORDENADAS</u>		
<u>VÉRTICE</u>	<u>WGS 84</u>	
	ESTE	NORTE
P.P.	795000	9678400
1	795000	9678600
2	795100	9678600
3	795100	9678800
4	795500	9678800
5	795500	9678400

**Fuente:** ARCOM

**Realizado por:** Calle, X, 2020.



**Ilustración 1-1.** Mapa de Ubicación de la zona de estudio.

Realizado por: Calle, X. 2020

### **1.7. Acceso**

El acceso a la Mina Ximena II se hace tomando como punto de partida la capital de la provincia de Morona Santiago la ciudad de Macas en sentido sur por la vía Troncal Amazónica hasta llegar al cantón Limón Indanza y pasamos la parroquia el Rosario hacia el sector Santa Susana de Chiviaza llegando así a la cantera de la mina Ximena II.

### **1.8. Clima y temperatura**

El clima de Limón Indanza está clasificado como tropical. La precipitación es significativa, con precipitaciones incluso durante el mes más seco. La temperatura media anual es 21.9 ° C. La precipitación media aproximada es de 2485 mm. (Plan de ordenamiento territorial del cantón Limón Indanza).

## CAPÍTULO II

### 2 REVISIÓN DE LA LITERATURA.

#### 2.1. Geología regional

Dentro del territorio de la zona sur del Ecuador, la concesión minera Ximena II forma parte de la cordillera Real de los Andes, lugar en el que denominan rocas metamórficas del paleozoico. Regionalmente se relaciona con las siguientes formaciones geológicas:

#### 2.2. Secuencia Triásico-Jurásico.

##### 2.2.1. *Formación Santiago*

Inicia en el Triásico y va hasta el Jurásico, donde se deposita una secuencia monótona intercalada de calizas y areniscas calcáreas con esquistos micáceos; de la misma manera lutitas negras intercaladas, arenoso – micáceos, lava y tobas; depositada en ambiente turbidítico de Rift. Conjunto lítico. (Paladines, 1989, p. 30).

##### 2.2.2. *Formación Chapiza*

Posterior y de ambiente continental está compuesta de: pizarras arcosas, areniscas, conglomerados y tobas de color rojizo. Esto se da ya en el jurásico. (Paladines, 1989, p. 19).

La transición entre el jurásico y el cretácico la marca el conjunto volcánico que es la **formación Misahuallí**, a la cual algunos geólogos la incluyen dentro del miembro superior de la formación Chapiza; está compuesta por una serie de lavas y piro clastos, y posee una petrografía y característica propia. (Paladines, 1989, p. 19).

#### 2.3. Periodo Cretácico

##### 2.3.1. *Formación hollín*

Es el comienzo de la secuencia cretácica por la deposición fluvio – marino de areniscas cuarzosas de coloración blanca y estratificación cruzada. (Paladines, 1989, p. 25).

El mismo ambiente continúa con la deposición de calizas fosilíferas entremezcladas con lutitas y areniscas dando origen a la **formación Napo** que se divide en tres niveles:

### *2.3.2. Napo inferior*

Sigue con una alternancia de Lutitas, areniscas y en menor cantidad de calizas. (Paladines, 1989, p. 25).

### *2.3.3. Napo Medio*

Calizas masivas y color gris claro. (Paladines, 1989, p. 25).

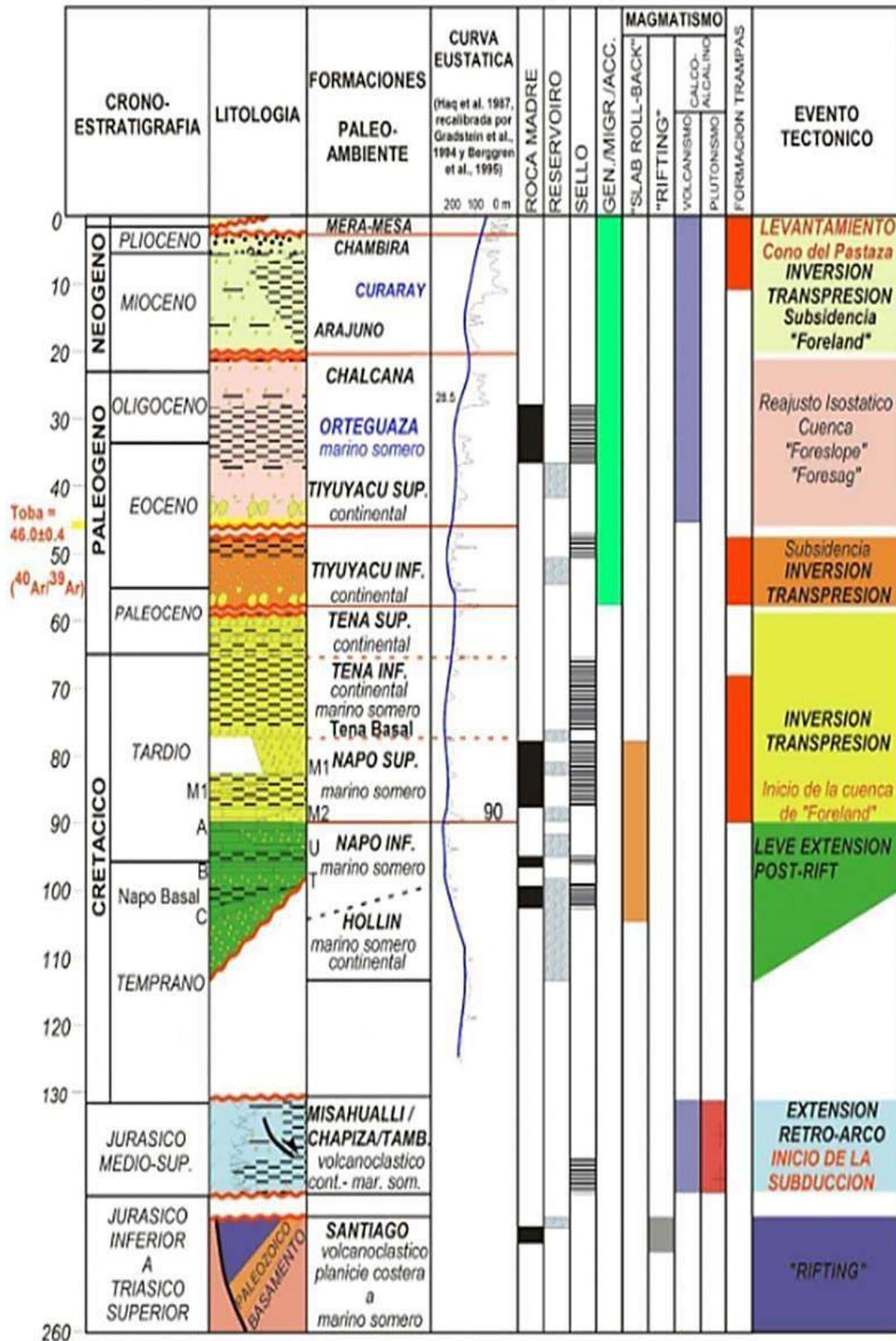
### *2.3.4. Napo Superior*

Lutitas duras grises - verdes, interestratificadas con calizas y areniscas.

Toda la secuencia de la formación Napo es interrumpida por cortes constantes de rocas ígneas de composición básica o intermedia. (Paladines, 1989, p. 25).

Siguiente etapa de sedimentación es conocida como la **formación Tena** compuesta por: sedimentos finos de característica arcillosa de color gris – verdoso.

Afloramientos en varios lugares muestran rocas volcánicas indiferenciadas. (Paladines, 1989, p. 26).



**Ilustración 2-1.** Columna estratigráfica, cuenca Oriente.

Fuente: Rivadeneira B., & Barragán, 2004, p. 18

## 2.4. Definición y tipos de clasificación de las arcillas

Refiriéndose a los significados como son: tamaño de partícula, mineralogía, petrografía, comportamiento físico, etc., las arcillas son el resultado de la descomposición de la roca madre original debido a la acción de agentes meteorizantes sobre la misma; se pueden encontrar en acumulación natural in situ, en estado consolidado o no, de tamaño fino menor a  $1\mu\text{m}$  de acuerdo a los químicos que estudian coloides, menor a  $2\mu\text{m}$  de acuerdo con los mineralogistas y estudiosos de suelos, y  $4\mu\text{m}$  de acuerdo a los sedimentólogos; constituidas por distintos minerales de arcilla como (Silicatos aluminicos hidratados, con iones principalmente de Mg, Fe, K y Na) y otros minerales que se pueden encontrar mezclados como los feldespatos, cuarzo, carbonatos etc. De manera peculiar pueden ser algunas arcillas plásticas en presencia de agua o endurecimiento sometidas al calor a altas temperaturas. (Díaz & Torrecillas, 2002, p. 459).

### 2.4.1. Tipos de clasificación.

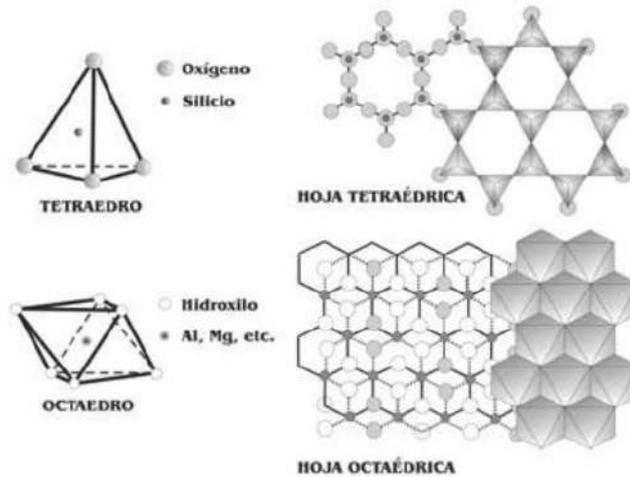
Desde un punto de vista petrográfico obedeciendo a varios parámetros como:

- a) Mineralogía. - Ricas en caolinita.
- b) Químico. - Alto contenido en alúmina
- c) Origen geológico. - Sedimentarias
- d) Propiedades físicas. - Plasticidad, reología, etc.
- e) Uso industrial. - Refractarias.
- f) Comportamiento geotécnico. - Ingeniería geológica.

Mineralógicamente hablando, las arcillas tienen minerales arcillosos (filosilicatos) y no arcillosos que en conjunto le dan sus características de plasticidad, de secado y cocción a las piezas elaboradas con esta materia prima. Los filosilicatos son silicatos de aluminio, hierro y magnesio hidratados con estructuras en capas como son las Palygorskitas y Sepiolitas. (Díaz & Torrecillas, 2002, p. 460).

Se los puede considerar por su armazón estructural como un polímero inorgánico formado por dos estructuras monómeras a los filosilicatos, una de ellas un tetraedro ( $\text{SiO}_4$ ) y la otra un octaedro que puede ser de Gibsita (hidróxido de aluminio) o de brucita (hidróxido de magnesio), si un conjunto de tetraedros comparte tres vértices formando una hoja continua, esta se llama hoja tetraédrica y si los octaedros están en contactos unos con otros formando una cara triangular entonces forman una hoja octaédrica. Cuando el catión octaédrico es de  $\text{Al}^{+3}$  o  $\text{Fe}^{+3}$  deben estar

llenas solo dos de tres hojas octaédricas llamándose hoja dioctaédrica, existiendo así el balance de carga dentro del retículo del mineral arcilloso. Si el catión es de  $Mg^{+2}$  o  $Fe^{+2}$  el balance de cargas está presente en todas las posiciones octaédricas denominándose hoja trioctaédrica. De acuerdo al apilamiento combinado de estas dos hojas se obtiene la estructura de la familia de los filosilicatos. (Díaz & Torrecillas, 2002, p. 460).



**Ilustración 2-2.** Hoja Tetraédrica Y Hoja Octaédrica.

Fuente: Díaz & Torrecillas, 2002, p. 461

**Tomando en cuenta el apilamiento podemos dividir en tres grupos:**

Los filosilicatos tipo 1:1. - Están constituidos por una hoja tetraédrica (TO) que puede ser de Gibsita (hidróxido de aluminio) o de Brucita (hidróxido de magnesio).

Del tipo 2:1. - Poseen una hoja octaédrica insertada entres dos hojas tetraédricas (TOT).

Y del tipo 2:1:1. - Con una hoja octaédrica adicional intercaladas entre dos capas (TOT).

Por interés del presente proyecto investigativo tomaremos en cuenta los diferentes grupos de arcillas; y en especial del caolín el cual es del tipo de capa 1:1, pertenece al subgrupo caolines (di octaédrico), los minerales que pertenecen a este grupo son la caolinita, dickita, nacrita, crisotilo, antigorita. (Díaz & Torrecillas, 2002, p. 461).

#### **2.4.2. Propiedades físicas de las arcillas**

**a) Plasticidad.** – Es la moldeabilidad de una arcilla al agregar una determinada cantidad de agua, debido a la atracción química de las partículas, la forma de grano, y la presencia de materia orgánica. (Arqhys, 2016, p. 1).

Hay arcillas plásticas y las antiplásticas; las primeras cumplen la condición de plasticidad y las antiplásticas son inertes, es decir que no reaccionan químicamente en presencia de cambios de temperatura, dan una estructura determinada a la pasta y vitrificación a altas temperaturas (fundentes). (Arqhys, 2016, p. 1).

**b) Merma.** – Es el encogimiento de la pasta debido a la pérdida de agua contenida en la misma, se la conoce por el nombre de merma de secado. (Arqhys, 2016, p. 1).

**c) Refractariedad.** – Se puede decir que todas las arcillas pueden llegar a ser refractarias, porque resisten aumentos de temperatura sin sufrir cambios, pero se diferencian por la temperatura de cocción propia de cada tipo. Su punto de fusión oscila entre 1600°C y 1750°C. (Arqhys, 2016, p. 1).

**d) Porosidad.** – Es distinto para cada tipo de arcilla, está relacionado con la compactación que tiene un cuerpo cerámico luego de la cocción. Mientras más baja la temperatura de cocción son más porosas y el índice de absorción será mayor. (Arqhys, 2016, p. 1).

**e) Color.** – El color varía de acuerdo al tipo de arcilla ya que el contenido de hierro y de carbonato de calcio dan su color luego de la cocción. (Arqhys, 2016, p. 1).

#### **2.5. Clasificación de las arcillas.**

Sabiendo que las arcillas pertenecen a un yacimiento mineral no metálico, se tomará en cuenta su cantidad, calidad y como se encuentra el yacimiento, para el uso cerámico que a estas pueda darse; siendo las **arcillas comunes** y los **caolines** de principal interés, quedando en segundo plano las **arcillas especiales**. (Díaz & Torrecillas, 2002, p. 462).

##### **2.5.1. Arcillas Comunes.**

Se dice a las arcillas que se las encuentra en gran cantidad en afloramientos y que no son muy exigentes desde lo químico – mineralógico, se las utiliza para la construcción y alfarería. Tienen una gran variedad de minerales de mica (illitas, muscovitas, etc.) pero en baja cantidad minerales de los caolines, cloritas, esmectitas y hormitas. En ellas pueden encontrarse sustancias desgrasantes como el cuarzo, carbonatos etc. y tamaño de grano muy variado, estas características

hacen que las propiedades físicas cerámicas cambien como la plasticidad sea baja y la vitrificación se produce a temperaturas menores a 1100°C. Los productos obtenidos de las arcillas comunes son: En la construcción: ladrillos huecos o caravistas, azulejos para pavimentos o revestimientos; en alfarería: cemento y agregados ligeros; el color característico es el rojo porque el contenido de hierro es de 2 – 2,5%. (Díaz & Torrecillas, 2002, p. 462).

### ***2.5.2. Arcillas Especiales.***

Sin mayor uso en cerámica. Son arcillas comerciales con mineralogía definida y propiedades físicas establecidas. Los minerales que se encuentran pertenecen a dos grupos como son: las esmectitas y hormitas. Los minerales que la componen tienen su génesis geológica ligada, sus propiedades físicas contienen y producto de ello destacan la reología, superficie específica y adsorción poderosa. (Díaz & Torrecillas, 2002, p. 462).

### **2.6. Grupo de los Caolines.**

Son arcillas cerámicas sobresalientes en variedad y uso industrial. Su mineral principal es la caolinita. Su fórmula ( $2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), el color que cuece es blanco o casi blanco y en estado natural tiene bajo contenido de hierro o casi no lo contiene. (Díaz & Torrecillas, 2002, p. 464).

#### ***2.6.1. Caolines primarios.***

Son yacimientos de caolín originados in situ por la descomposición de la roca madre rica en feldespato u otras sustancias minerales ricas en silicatos aluminicos. (Díaz & Torrecillas, 2002, p. 464).

#### **Los yacimientos de caolín primarios se dividen en:**

- Residuales.
- Hidrotermales.

##### ***2.6.1.1. Los yacimientos de caolín residuales.***

Se origina en la corteza de meteorización de rocas feldespáticas, granitos y metamórficas. Para que haya una meteorización más eficiente las rocas expuestas a gran cantidad de agua permanentemente y a mayor profundidad sufren un ataque más intenso sobre los cationes libres

como el Na, Ca, Mg, Fe y K, dejando un terreno rico en Al y Ti. En climas húmedos con precipitaciones abundantes de lluvia y temporadas de interrupción de las mismas provoca la acidificación de la corteza, por el ácido generado, el hierro se lixivia de los productos de la corteza meteorizada por los ácidos húmicos que surgen en presencia de una exuberante vegetación y clima caluroso.

Cuando los niveles de las aguas freáticas bajan paulatina y sincronizadamente por las rocas subyacentes alteradas, se forman potentes regiones de corteza alterada y en la base se forman yacimientos bauxíticos. El caolín blanco es producto de la alteración de las rocas graníticas que se utiliza para cerámicas porcelanas. (Díaz & Torrecillas, 2002, p. 465).

#### *2.6.1.2. Caolines hidrotermales.*

Son producto de la descomposición de rocas ácidas y metamórficas debido al contacto con fluidos calientes que circulan a través de fracturas geológicas en el suelo o a su vez por el contacto de rocas graníticas intrusivas que empiezan a enfriarse y estando en contacto con rocas supra yacentes. Cuando la roca de caja está constituida por micas y no hay biotitas, esto favorece la caolinización hidrotermal. (Díaz & Torrecillas, 2002, p. 465).

#### **2.6.2. Los caolines secundarios son:**

##### *2.6.2.1. Caolines Sedimentarios.*

Son los más abundantes que se los encuentra en la naturaleza debido a los distintos mecanismos de precipitación (autogénesis) o alteración por enterramiento diagénesis que transportan minerales a las cuencas de deposición, el material mineral depositado proviene de distintos lugares y distintos orígenes químicos. Se da un proceso de recristalización de las arcillas que crean litofacies. Los caolines sedimentarios están expuestos permanentemente a meteorización química con mucho drenaje.

Los yacimientos de caolín sedimentarios se pueden encontrar por ejemplo en:

**Arcillas refractory clay.** - Es el equivalente del “fire clay”, son muy ricas en alúmina, que para usarlas en cerámica o como refractarias hay que someterlas a un tratamiento térmico previo. Para su uso hay que evitar impurezas (hierro, titanio y alcalinos). Por lo general las arcillas sedimentarias al pre calcinarlas a altas temperaturas (chamotearlas) pueden convertirse en

refractarias, pero siempre que tengan bajos contenidos de hierro y necesariamente deben tener ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) las calcinadas y no calcinadas.

Aparte de ser áridos para refractarios son principalmente desengrasantes en los materiales cerámicos. (Díaz & Torrecillas, 2002, p. 469).

### **2.7. Impurezas en las arcillas cerámicas.**

La ambigüedad del concepto nos hace referir a la pureza como la ausencia de sustancias minerales o componentes no arcillosos impropios de una arcilla como sí lo son la caolinita, haloisita, illita etc. Los minerales de arcilla tienen composiciones y morfologías diversas, pero siempre sin perder su identidad mineralógica. Los minerales arcillosos pueden estar asociados con las impurezas en estado natural comúnmente. (García, 1985, p. 386).

Un caolín lavado ha sido sometido a dicho proceso para retirar o separar minerales no arcillosos primarios en forma de arena. Obtenemos entonces un concentrado que básicamente es de minerales secundarios. Generalmente se busca que una arcilla o caolín den un color blanco, para ello generalmente se usan métodos químicos para retirar elementos o compuestos coloreados como el óxido de hierro, de manganeso y otros elementos contaminantes, presentes en forma de granos o pueden formar películas que se adhieren a los granos de minerales que coexisten. (García, 1985, p. 386).

### **2.8. Compuestos que naturalmente forman a las arcillas:**

- a) Por existir variaciones cambia la morfología y estructura de las partículas.
- b) Compuestos hidratados de alúmina, sílice, óxido de hierro, manganeso y otros que alteran la forma.
- c) Por su densidad tanto los minerales pesados como livianos en granulometría muy fina.
- d) Los carbonatos que pueden formar nódulos evidentes en la cantera, con distribución no homogénea y pueden asociarse con las partículas más finas.
- e) Sales solubles.
- f) Materia orgánica y residuos carbonosos.

Para la cerámica se puede decir que la pureza es la exclusión o ausencia de dichas impurezas que degradan el resultado final esperado. Por lo tanto, no hay un concepto absoluto sobre pureza, más

bien tiene que ver con los componentes que se quieren para la elaboración de un cuerpo cerámico refractario, como ejemplo de esto, los feldespatos son fundentes y para refractarios son impurezas, la temperatura será menor para ablandamiento. No así para las porcelanas los feldespatos son componentes esenciales para formar pastas, pero las impurezas decoloración rojiza son rechazadas, como el hierro contenido en forma de un compuesto que tiñe de color amarillento o grisáceo, dañando la blancura deseada. En la elaboración de las arcillas los feldespatos siempre serán beneficiosos por ser inertes y si reaccionan son de gran aporte en propiedades, favorablemente convergen los óxidos para teñir de rojo a dichos productos que es lo que se desea, las impurezas aquí son las calizas con grano grueso, yeso y si existen sulfuros, ya que pueden aparecer defectos como caliche y eflorescencia. Concluyentemente las impurezas es algo relativo y si necesitamos especificaciones de un producto estas pueden aportar propiedades y mejorar características. Se debe manejar correctamente las proporciones en las mezclas para hacer un producto deseado. (García, 1985, p. 396).

## **2.9. Descripción de minerales presentes en material cerámico.**

### **2.9.1. Feldespato**

Constituyen el grupo mineral más abundante en la corteza terrestres presentes en más del 50% en las rocas. Pueden escasear en rocas ultra básicas y alcalinas, no así en rocas ígneas, filonianas y metamórficas. Como minerales accesorios se presentan en rocas arcillosas y carbonatadas.

Son Aluminosilicatos de Na, Ca, K y Ba. Se presentan en soluciones sólidas y pueden ser ordenadas o de diferente grado hasta desordenadas. El grado se mide en términos siguientes: albita ( $NaAlSi_3O_8$ ), nortita ( $KAl_2Si_2O_8$ ), ortoclasa ( $KAlSi_3O_8$ ), y Celsiana ( $BaAl_2Si_2O_8$ ), abreviadas respectivamente Ab, An, Or, Cn. Se puede sustituir entre el 25 y 50% de átomos de sílice por aluminio con adición de cationes alcalinos y alcalinotérreos. En el orden de la serie Ab – Or se llama feldespatos alcalinos y las serie Ab – An son las plagioclasas. (Sánchez & García, 1992, p. 441).

La industria cerámica y de vidrio emplean los feldespatos alcalinos de Na y K. El feldespato es usado porque, promueve la fusión durante el calcinado e imparte resistencia, dureza y durabilidad a los productos finales. Las aplicaciones principales del feldespato se deben a su aporte de alúmina ( $Al_2O_3$ ), y de óxidos alcalinos en vidrios y cerámicas. (Sánchez & García, 1992, p. 441).

En cerámica se emplea como fundente y para el control de la vitrificación por la acción de los óxidos alcalinos. Para las porcelanas se requiere un color "de quema" blanco, mínimo contenido de hierro, alto contenido de óxidos alcalinos con una relación ( $K_2O/Na_2O$ ), superior a 3. (Sánchez & García, 1992, p. 441).

### **2.9.2. Los feldespatos alcalinos.**

Tres factores son determinantes: a) química, b) simetría, c) orden Si/Al.

La composición química se determina fácilmente, así como también la simetría. La distribución de silicio y aluminio no es tan sencilla. La textura de los feldespatos alcalinos es de ex solución, porque a altas temperaturas, donde se puede dar la cristalización, estos se mantienen como soluciones sólidas completas, sin producir desmezclas como a bajas temperaturas ocurre. Para obtener una mezcla deseada se debe partir de la obtención feldespato sin impurezas, mediante tratamientos para separar minerales accesorios de los feldespatos; y se debe tener el cuarzo que se presenta generalmente con alto grado de pureza, luego en proporciones conocidas añadir las cantidades necesarias o a su vez seguir añadiendo cuarzo hasta alcanzar los resultados deseados en cerámica y vidrio. Su uso en cerámica es del 30%, para gres, loza, porcelana, vidrio, etc, es del 60%. (Sánchez & García, 1992, p. 441).

### **2.9.3. El cuarzo ( $SiO_2$ ).**

La sílice es el mineral más abundante en la corteza terrestre, tiene cristalografía perfecta y puede encontrarse puro. Cuando se cuece una cerámica, éste puede afectar en la estructura, porque a bajas temperaturas  $573^{\circ}C$  cambia el volumen dándose un nuevo ordenamiento de las moléculas formándose una nueva estructura cristalográfica. El gradiente de velocidad debe ser de aumento lento entre  $500$  y  $600^{\circ}C$  para evitar defectos en las pastas por rupturas.

La sílice no es plástica, por lo tanto, el cuarzo disminuye la plasticidad y retracción de las masas, su contracción por secado y evita la deformación. Al mismo tiempo, ejerce un control sobre la porosidad, da más blancura y aumenta la velocidad de secado de las cerámicas. Si es áspero debe ser eliminado. (Bernal et al., 2003, p. 573).

#### **2.9.4. Hierro (Fe).**

El hierro puede formar algunos minerales como hematita, goethita, magnetita y pirita. Es el principal colorante de las cerámicas. La presencia de este elemento en las materias primas para cerámicas puede distinguir cuatro grupos basados en la composición química y uso industrial:

- A. Arcillas con alto contenido de alúmina y casi libres de hierro. Productos de más alta calidad como porcelana fina, azulejos etc.
- B. Arcillas con alta presencia de alúmina y considerable contenido de hierro. Productos de mediano valor.
- C. Arcillas con bajo contenido de alúmina y alta concentración de hierro. Fabricación de alfarería y aisladores.
- D. Pobre concentración de alúmina y alta concentración de compuestos de hierro. Se utiliza en la pesada industria ladrillera. (Monzonis & Villar, 1988, p. 202).

#### **2.9.5. Los óxidos de hierro.**

En general para las cerámicas blancas debe ser menor al 1%. Aporta resistencia mecánica. Da arcillas más bastas y heterogéneas. Da coloración rojiza o gris. (Ramírez, 2019, p. 2).

Si la arcilla en estado natural es blanca o de color muy claro, puede suponerse que tiene poco hierro y se cocerá a un color claro. Tales arcillas que se cuecen a blanco son corrientemente arcillas primarias o residuales y será más probable que se presenten en bolsas en lugar de en estratos. Las arcillas blancas son casi siempre del tipo no plástico y con frecuencia se encuentran entremezcladas con cantidades considerables de arena y otros fragmentos minerales. Por tanto, mientras menor sea el porcentaje de hierro en las arcillas será mejor la materia prima. (Ramírez, 2019, p. 2).

#### **2.9.6. Hematita (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).**

De cristalografía laminar, romboédrica, color variado como negro, rojo intenso y gris acero, de brillo metálico, es estable en un medio oxidante y no es magnético. (Bernal et al., 2003, p. 574).

### **2.9.7. Magnetita ( $Fe_3O_4$ ).**

Se caracteriza por ser una roca magnética, de cristales cúbicos de color negro amarillento, su estado es casi puro. Cuando la temperatura es elevada se pierde el magnetismo y si bajan nuevamente recupera, puede convertirse en hematita si el medio es oxidante. (Bernal et al., 2003, p. 574).

### **2.9.8. Pirita ( $FeS_2$ ).**

Se encuentra como cristales o granos redondeados. Su color puede ser amarillo latón y su brillo es metálico. Puede presentarse como marcasita que es otro sulfuro férrico. Es muy inestable; cuando la temperatura incrementa el azufre se remueve en parte y se vuelve magnética. En un medio de oxidación el azufre se libera. (Bernal et al., 2003, p. 574).

### **2.9.9. Aluminio ( $Al$ ).**

El aluminio cuando se presenta en una relación mayor al 5.5 con respecto al óxido de hierro da una coloración blanca que se necesita para el porcelanato; también aporta a la cerámica:

- Alta dureza
- Aislante eléctrico
- Bajo coeficiente de dilatación
- Excelente resistencia a la corrosión
- Bajo coeficiente de fricción
- Resistencia a altas temperaturas
- Alta conductividad térmica
- Alta resistencia mecánica. (Carbosystem, 2018, p. 1).

## **2.10. Explotación y tratamiento del caolín.**

Los métodos de explotación son a cielo abierto, resultan económicos; por la forma y ubicación de los yacimientos son los adecuados. Un yacimiento explotable es aquel con suficiente reserva de sustancia plástica, contenida en el material mineral, luego esta sustancia se la puede blanquear sometiéndola a enriquecimiento o mayor concentración. El tamaño de grano debe ser menor a  $2\mu m$  y superior a  $1400^\circ C$  el color sea blanco.

Durante la explotación se extrae sustancia mineral que debe ser ubicada en el tiempo geológico que se formó y el tipo de depósito al que pertenece, pudiendo establecerse el posible uso y tratamiento mineralógico que debe pasar para mejorar.

## **2.11. Métodos para tratamiento del caolín**

Empieza el tratamiento a partir de los procesos mecánicos como son:

- a) **Extracción.** – La explotación del caolín se lo realiza a cielo, con un contenido de humedad entre un 10% a un 18% y de la mina es transportado en volquetas hasta la planta de procesamiento. (SE, 2014, p. 11).
- b) **Trituración.** - Una vez obtenida la materia prima, se procede a reducir el tamaño de la roca empleando una quebradora de quijada; como resultado se obtendrá material con tamaño menor de partículas y homogéneo. (SE, 2014, p. 11).
- c) **Secado.** - el caolín triturado se deposita en una tolva de alimentación de secadores de tipo rotativo y a contra corriente. Logrando así eliminar la humedad. (SE, 2014, p. 11).
- d) **Molienda.** - Se utiliza un molino de rodillos de 200 y 325 mallas en donde se pulveriza el caolín seco para luego ser clasificado. (SE, 2014, p. 11).
- e) **Clasificación.** - aquí se separan las partículas de tamaño deseado y las que sean superiores se reciclan para molerlas nuevamente. (SE, 2014, p. 11).
- f) **Colector.** - Mediante sistema neumático y compresor centrífugo el caolín se transporta a un coleccionador de caolín, en donde se toma una muestra para evaluar la calidad del mismo y en caso de no cumplir se vuelve a realizar el proceso. (SE, 2014, p. 11).
- g) **Micronización.** – Dependiendo de la industria exigente de tamaños de partículas superiores a 325 mallas siendo 400 mallas el requerimiento se pasa por molinos micronizadores para dicha pulverización. (SE, 2014, p. 11).
- h) **Envase y embarque.** – El producto micronizado se envasa para su posterior embarcación. (SE, 2014, p. 11).

## **2.12. Método por vía seca.**

Consta de tres etapas:

### **2.12.1. Secado de la sustancia mineral.**

Es la pérdida de agua y humedad que se encuentran contenidas en el caolín en verde. Este proceso se lo realiza bajo condiciones que impidan el contacto con agua. (Bartolomé, 1997, p. 13).

### ***2.12.2. Triturado y Molienda.***

En el proceso de conminución del material extraído de la mina que contiene guijarros, grava, arena gruesa, arena fina y finalmente arcilla, se procede a la trituración de fragmentos de rocas para condicionar su tamaño para que pase por los tamices, la molienda es el fracturamiento de pedazos de roca para reducir su tamaño. Luego viene la molienda hasta conseguir que el tamaño de partículas pase por el tamiz #200. (Ramírez, 2019, p. 4)

### ***2.12.3. Clasificación por aire.***

A velocidad de 1m/s se inyecta aire sobre el caolín molido o pulverizado. A esta velocidad se consigue que el caolín se separe de los contaminantes en especial el hierro por la diferencia en el peso específico. (Bartolomé, 1997, p. 13).

### ***2.12.4. Vía húmeda.***

Es el tratamiento más eficaz para conseguir un caolín más puro, mayor finura en el grano, homogeneidad y color más blanco en varias industrias, se obtiene por ejemplo caolín para estucado del papel. (Bartolomé, 1997, p. 13).

### ***2.12.5. Electrólisis.***

Es un proceso en el que se aplica potencial eléctrico entre dos electrodos (ánodo y cátodo) para producir un cambio en el medio que se lo realiza; se da un óxido – reducción. Para dicho proceso se debe tomar en cuenta que su funcionamiento depende del potencial eléctrico aplicado de acuerdo a la sustancia a tratar, el material de los electrodos que deben cumplir su función sin alterarse, y el tiempo al que se somete. Puede suceder que la sustancia no presente cambios con la variación del tiempo o sean lentos. (Flores et al., 2009, p. 214)

#### ***2.12.5.1. Celda de electrólisis***

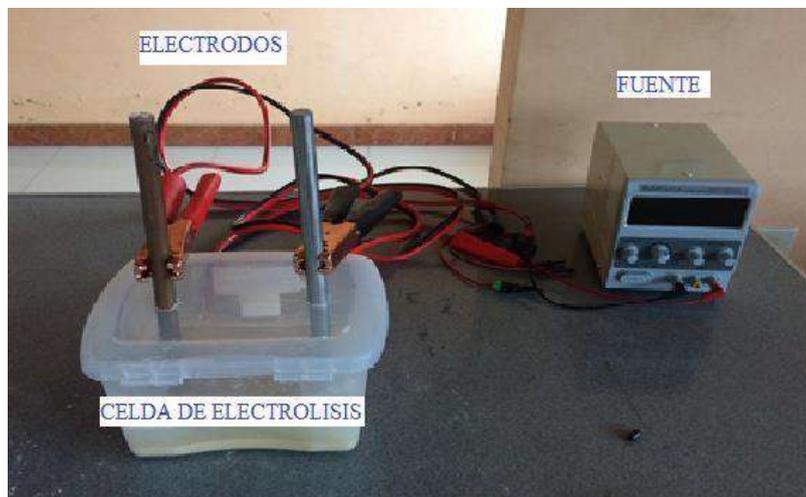
Es el dispositivo en donde se descomponen sustancias ionizadas utilizando corriente eléctrica. También llamada celda galvánica o voltaica. Donde se ponen en contacto los electrodos con la sustancia ionizada. (ver **Ilustración 2-3**).

Tienen dos electrodos:

- a) **Ánodo.** - Es el electrodo donde se produce la oxidación.
- b) **Cátodo.** - Es el electrodo donde se produce la reducción. (Flores et al., 2009, p. 214)

#### 2.12.5.2. Electrodo

Para esta investigación se utilizó dos electrodos de material distinto, para el ánodo se utilizó cobre electrolítico y para el cátodo acero inoxidable, ya que estos materiales son buenos conductores y difícilmente contaminan la solución. (Flores et al., 2009, p. 215)



**Ilustración 2-3.** Celda de Electrólisis

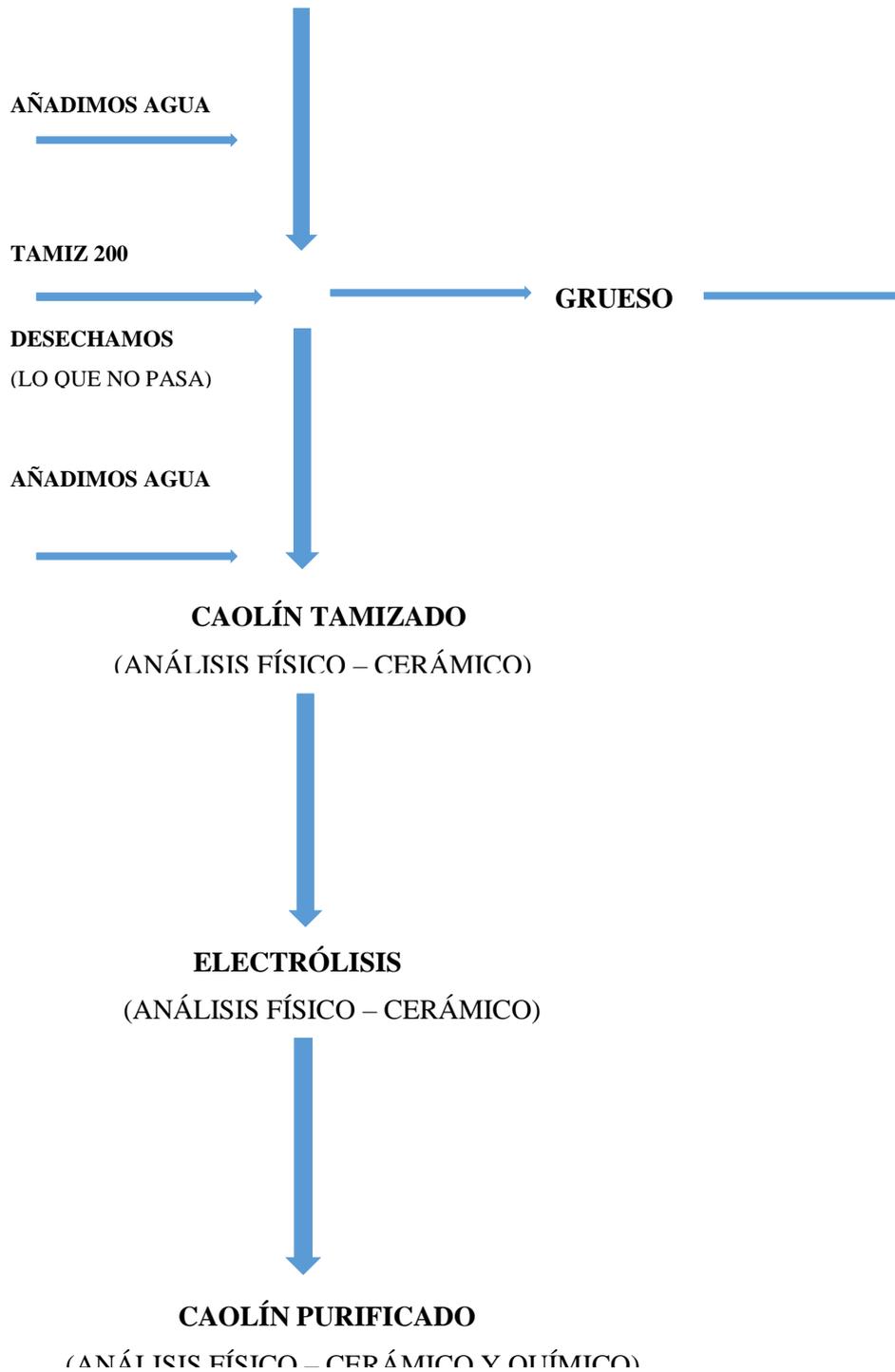
Realizado por: Calle, X, 2020.

#### 2.12.5.3. Dispersión de minerales.

Las partículas del mineral deben mezclarse con un disolvente, generalmente agua, agitando la muestra para que se separen del estado conglomerado, permitiendo que el agua cubra el máximo de su superficie, para romper el contacto entre las moléculas, se usan sustancias llamadas dispersantes que cambian el pH para que sea menor, favoreciendo la dispersión de las moléculas. Se debe usar agua des ionizada debido a que los iones impiden o presentan resistencia al paso de la corriente como es el cloro en el agua. (Flores et al., 2009, p. 214).

**DIAGRAMA GENERAL DE TRATAMIENTO DEL CAOLÍN  
POR VÍA HÚMEDA**

**MUESTRA DE CAOLÍN DE MINA XIMENA II  
(ANÁLISIS CERÁMICO)**



**Ilustración 2-4.** Diagrama de flujo de tratamiento de caolín vía húmeda - Electrólisis

Realizado por: Calle, X, 2020.

Para eliminar materia orgánica el caolín se expone a temperaturas entre los 650 y 700°C, se deshidroxila la red del mineral y se consigue blanquear, a 1000°C se consigue mayor blancura, sin embargo, a esta temperatura o mayor aparece la mullita la cual incrementa la abrasividad no siendo factible para la fabricación de papel. Para evitar esto se utiliza entonces métodos químicos oxidantes como el ozono, peróxido de hidrogeno, etc., para eliminar la materia orgánica. Contaminantes como el óxido de hierro se los solubiliza con ácido sulfúrico **pH=3** y reduce con **hiposulfito sódico**. Para minerales ferro y para magnéticos se utiliza magnetismo para retirarlos del caolín cuando estos no responden a tratamiento químico. (Bartolomé, 1997, p. 13).

La flotación selectiva es otro método, que con él emplean de colectores orgánicos se retira cuarzo, feldspatos y anatasa. Las partículas como es el caso del titanio no se retiran por flotación, se debe combinar la coagulación selectiva de anatasa con magnetita añadida y aplicar entonces magnetismo. (Bartolomé, 1997, p. 13).

### ***2.12.6. Propiedades físico – químicas para su uso***

#### *2.12.6.1. Forma y tamaño de las partículas.*

La forma del grano y la distribución de las partículas de caolín que cubren una superficie controlan la blancura, opacidad y brillo de la misma. Por ejemplo, un papel hecho de caolín o si su superficie ha sido cubierta del mismo, cambia sus características ópticas, mecánicas y de impresión por la granulometría usada. El brillo aumenta notoriamente cuando el tamaño de partícula es menor a 2  $\mu\text{m}$ , se descubrió que menor a este tamaño las formas de agruparse las partículas cambian a placas individuales o agregados anisométricos de estas placas, y por encima de 2  $\mu\text{m}$  es claro el apilamiento de una placa sobre otra con fuerte enlazamiento. Los apilamientos están unidos por fuerzas que hicieron que no se desprendieran durante los procesos como la meteorización en la naturaleza por tanto tiempo y por ello los métodos dispersantes utilizados por el hombre deben ser eficaces para separar estas placas y conseguir purificar el caolín. Se los llama métodos de deslaminación que pueden ser físicos o químicos. (Bartolomé, 1997, p. 14).

Los métodos de extrusión son los más comunes utilizados. Los tamaños de partículas entre 2  $\mu\text{m}$  y 40  $\mu\text{m}$  se utiliza para cargas, pudiendo seguir siendo deslaminizados. La forma y tamaño controlan la viscosidad, suspensión acuosa y resistencia mecánica de las pastas. (Bartolomé, 1997, p. 14).

### 2.12.6.2. Blancura y brillo.

Para medir estas propiedades ópticas se utiliza el coeficiente de absorción (k) y el de dispersión (s). Si se elimina el hierro de las láminas de caolinita, o la micas y turmalinas, cambia el coeficiente de absorción apreciándose visualmente un caolín más blanco. Un índice muy elevado de blancura puede ser manchado por algún resto de contaminante colorante como el hierro o titanio que se disuelven en la fase vítrea dando manchas en ciertas partes del producto. Las temperaturas a 1180, 1280 y 1430°C dan el color. (Bartolomé, 1997, p. 14).

La porcelana blanca es la que más emplea el caolín y hacia ella va enfocada la blancura, la misma que se la trata cuando alcanza la fase vítrea. (Bartolomé, 1997, p. 14).

El brillo se cuantifica por un denominado brillo ISO que es aceptable desde 75. El brillo GE es mayor en 1 a 2 unidades al anterior y se lo utiliza en Estados Unidos. (Bartolomé, 1997, p. 14).

### 2.12.6.3. Reología.

En medio acuoso alcalino se realiza la dispersión del caolín adicionando poli fosfatos. Sus características están determinadas por la superficie específica del material, el tamaño y el empaque de los mismos, sin embargo es muy complicado determinar la correlación. La viscosidad está determinada por la dispersión de sólidos en concentraciones constantes de las partículas de caolín, que para caolines deslaminizados es del 67% y para ultra finos es del 70 al 71%. (Bartolomé, 1997, p. 14).

La velocidad, también modifica la viscosidad de la barbotina, por eso si el gradiente de velocidad es inversamente proporcional a la viscosidad, se determina la pseudoplasticidad, aparte el gradiente creciente es un dilatante (aumento de la viscosidad con la velocidad). Existe un tiempo en el cual se puede dar la tixotropía (a velocidad constante se produce cizalla y un equilibrio; y en reposo alcanza la viscosidad inicial al condensarse las partículas). Otro fenómeno es la sedimentación diferenciada de los componentes. (Bartolomé, 1997, p. 14).

El peso específico de una barbotina debe ser elevado, fluida, alto contenido de sólidos, y homogeneidad estable durante su trabajo. El comportamiento durante el trabajo puede ser de dos tipos:

- **Newtoniano.** – La viscosidad no depende del gradiente de velocidad.

- **Tixotrópico.** – Aunque sea leve ayuda al llenado de los moldes, drena con facilidad el agua cuando se está formando la pared, al vaciar este es fluido terminada la operación. (Bartolomé, 1997, p. 14).

#### ***2.12.7. Defectos.***

En las piezas coladas ocurren si hay dilatación (aumento de viscosidad por creciente gradiente) o tixotropía (no hay agitación). (Bartolomé, 1997, p. 14).

#### ***2.12.8. Irregularidades.***

Dependen del flujo de la barbotina, estas irregularidades se ven luego de la cocción. Puede ocurrir en productos de porcelana en ausencia de translucidez por aguas y cuerdas porque no se mezcló bien en el moldeo. (Bartolomé, 1997, p. 14).

#### ***2.12.9. Cocción.***

Fase final cuando se ve el resultado tras la quema, para saber si es o no apto el caolín para cerámica. (Bartolomé, 1997, p. 14).

Los defloculantes también producen los defectos en las piezas cerámicas, a pesar que pueden ser excelentes dispersantes, pueden hacer que las sales se muevan más y aparezca el autovidriado. (Bartolomé, 1997, p. 14).

Cuando la viscosidad es baja y soporta una velocidad de cizalla alta, es la ideal porque es cubriente y se hace fluida durante el bombeo ideal para el estucado de papel. (Bartolomé, 1997, p. 15).

No debe haber contenido de sales solubles ni esmectitas, estas dañan la mezcla en el proceso por ello a las sales se las puede remover en la preparación y para las esmectitas se adiciona el ion dihidroxoaluminio. Por ello la reología influye para alcanzar los parámetros de técnicos, su comportamiento es muy cambiante, aunque se conozca la concentración de sólidos para una determinada viscosidad. (Bartolomé, 1997, p. 15).

### **2.12.10. Plasticidad.**

Es un estado físico. Su medición no está regida por ninguna fórmula exacta debido a la naturaleza propia de cada arcilla, a pesar que hay métodos empíricos que tratan de cuantificarla, pero no es una regla general. El plasticímetro es un instrumento utilizado para medirla de acuerdo a la deformación por torsión, compresión o flexión etc. (Bartolomé, 1997, p. 15).

La plasticidad es directamente proporcional a la granulometría y distribución de las partículas mientras más finas sean en su paquete, de igual manera la resistencia mecánica. (Bartolomé, 1997, p. 15).

La plasticidad se puede calcular por la relación entre estas dos propiedades que nos darán el módulo de rotura en seco de probetas extrusionadas. Siempre las fracciones menores a  $2\mu\text{m}$  relaciona y determina el resultado, pero con una excepción que también este porcentaje de fracción de partículas por su distribución granulométrica da un grado de empaquetamiento y agregación decisivo. Si la composición mineralógica y granulometría son semejantes de partículas menores a  $0,5\mu\text{m}$ , la plasticidad es la indicada. (Bartolomé, 1997, p. 15).

### **2.12.11. Refractariedad y deformación.**

Son comportamientos que presenta el caolín en la cocción, estos deben ser prestados atención con sus respectivos cálculos, pero siempre repitiendo el proceso en varios ensayos, uno de ellos y más sencillo es determinar la porosidad abierta que es un valor que nos indica como se está desarrollando las fases vítreas, en la cual disminuye la cantidad de poros y el volumen de los mismos. (Bartolomé, 1997, p. 15).

Los minerales fundentes presentes en el caolín son los que determinan la cantidad de poros durante el proceso de cocción, también se sabe que la forma y tamaño de partículas, mientras más finas, actúan mejor sobre el vidrio, reduciendo la porosidad, después de la vitrificación en porcelana dura; resultado de esta vitrificación es una deformación piro plástica durante la cocción que debe ser cuantificada, producto del reblandamiento. (Bartolomé, 1997, p. 15).

Entonces para saber que formas se puede obtener y que composición cerámica de un caolín, es imprescindible tomar en cuenta la viscosidad, la granulometría y desarrollo en la fase vítrea, ya que estas propiedades dan una característica plástica para elaborar una pieza cerámica dura. (Bartolomé, 1997, p. 15).

## 2.13. Aplicaciones Del Caolín

El caolín lavado tiene un uso múltiple porque las propiedades que posee como son la blancura y brillo, la refractariedad, inercia frente a ataques químicos, gran superficie específica, no es tóxico, altamente cubriente, su capacidad de absorción y adherente etc. Es tomado en cuenta a nivel mundial por su presencia, y distribución geológica en todo el mundo con yacimientos potentes. Por lo tanto, se convierte en una sustancia no metálica de mayor importancia, consumo e interés industrial. Europa y Estados Unidos aparte de ser los mayores productores, también son los mayores consumidores de caolín. (Bartolomé, 1997, p. 15).

Tomando en cuenta a Estados Unidos, aquí se diferencian dos grupos de acuerdo al tratamiento que da cada uno al caolín para darle valor agregado, el primero trata al caolín mediante **vía húmeda** en un 85% de la producción total. Todas las empresas que están dentro de este grupo emplean procesos distintos hasta mejorar y purificar como son: enriquecimiento – sedimentación, clasificación, tratamiento químico, calcinación, deslaminización, atomización etc. El principal uso que se le da es la de carga y cubriente en la industria papelera, en menor cantidad y no menos importantes son los usos en pinturas, plásticos y cauchos. La venta de caolín hidratado (sin calcinación) es en forma atomizada y deshidratados (calcinada) en polvo y suspensiones de contenido en sólidos entre el 50 y 55%. (Bartolomé, 1997, p. 15).

Dentro del segundo grupo de productores están las industrias cerámicas y caucho. Estas industrias obtienen el caolín por **tratamiento en seco**. Para realizar este proceso se debe pasar en orden las siguientes etapas: secado, molienda, clasificación por aire y empaclado. En estado bruto el caolín se presenta contaminado el cual se lo somete a clasificación por aire eliminando moscovita y cuarzo y en menor cantidad piritita, hematite y siderita. (Bartolomé, 1997, p. 15).

### 2.13.1. Industria Cerámica.

Tiene como demanda de sus productos diferentes sectores como: sanitario, azulejos, porcelana eléctrica e industrial, cerámicas de mesa, etc. Previo a la elaboración de un producto cerámico, la materia prima es de composición química y propiedades físicas distintas muchas veces, para ello se emplean distintos métodos de procesado y conformado, por ejemplo: el colado, conformado plástico y el prensado de polvos. La materia prima en bruto como el caolín y las arenas caoliníferas son empleadas por esta industria, como se ha dicho en función del tipo de producto a elaborarse. El término medio de un caolín representa: en porcelana 60%, en un 25% (gres, lozas de mesa y sanitaria) y en menor porcentaje en porcelana eléctrica o azulejos de pasta blanca. Por la

utilización cerámica, hay una mayor demanda de cerámica blanca, por esa razón, las piezas que pasan por el último proceso que es la cocción a altas temperaturas deben quedar de color blanco, alta resistencia mecánica antes y después del último proceso. Aparte del caolín, las cerámicas contienen casi en su mayoría hall clays. En la elaboración de la materia prima se debe conseguir consistencia química en la composición, por ello el caolín y hall clay lo proporcionan; esto significa que mantienen las características de cocido y vitrificación del cuerpo y, por tanto, al final el brillo es el deseado. (Bartolomé, 1997, p. 16).

#### **2.14. Clasificación de suelos.**

Las clasificaciones de suelos se fundamentan en la granulometría, luego de varias investigaciones en laboratorio se introdujo en la clasificación el criterio de plasticidad.

Para este trabajo investigativo se ha utilizado el Sistema de Clasificación Unificado de Suelos (SUCS), sobre el cual trataremos. (Juárez & Rico, 2005, p. 152).

##### **2.14.1. Granulometría.**

Es la distribución de los diferentes tamaños de las partículas de un suelo, la cual se expresa en forma porcentual en relación con el peso total de la muestra seca. (García et al., 2009, p. 2).

#### **2.15. Sistemas de clasificación de suelos basados en criterios de granulometría.**

Límites establecidos para el tamaño de partículas que constituyen un suelo, exaltan un criterio para clasificar descriptivamente el mismo. En la modernidad los tamizados por mallas muy finas ayudan a entender mejor que criterio utilizar, incluso para partículas extremadamente finas hay técnicas de análisis de suspensiones. (Juárez & Rico, 2005, p. 98).

**2.15.1. Varias clasificaciones granulométricas:**

**Tabla 2-1.** Clasificación Internacional granulométrica

<b>Tamaño en <u>mm</u></b>				
<b><u>2.0</u></b>	<b><u>0.2</u></b>	<b><u>0.02</u></b>	<b><u>0.002</u></b>	<b><u>0.0002</u></b>
<b>Arena gruesa</b>	<b>Arena fina</b>	<b>Limo</b>	<b>arcillas</b>	<b>Ultra arcillas coloides</b>

Fuente: (Juárez & Rico, 2005, p. 98)

Realizado por: Calle, X, 2020.

**2.15.2. Clasificación M.I.T.**

Propuesta por G. Gilboy y adoptada por el Massachusetts Institute of Technology. (Juárez & Rico, 2005, p. 98).

**Tabla 2-2.** Clasificación M.I.T.

<b>Tamaño en mm</b>								
<b><u>2.0</u></b>	<b><u>0.6</u></b>	<b><u>0.2</u></b>	<b><u>0.06</u></b>	<b><u>0.02</u></b>	<b><u>0.006</u></b>	<b><u>0.002</u></b>	<b><u>0.0006</u></b>	<b><u>0.0002</u></b>
<b>Gruesa</b>	<b>Media</b>	<b>Fina</b>	<b>Grueso</b>	<b>Medio</b>	<b>Fino</b>	<b>Gruesa</b>	<b>Media</b>	<b>Fina (coloides)</b>
<b>ARENA</b>			<b>LIMO</b>			<b>ARCILLA</b>		

Fuente: (Juárez & Rico, 2005, p. 98)

Realizado por: Calle, X, 2020.

**2.15.3. Clasificación según SUCS**

Las bases de su fundamento se apoyan en la clasificación de Arthur Casagrande durante la segunda guerra mundial en 1942, se usó principalmente por el ejército en la construcción de aeropuertos y carreteras. (Calero et al., 2016, p. 24). Ver Anexo 1.

Se utiliza para ensayos de geotecnia en base a criterios de granulometría, determina el tipo de suelo designando un símbolo de dos letras: la primera toma en cuenta como principal componente la tierra, y la segunda nos indica las características plásticas vistas en la construcción de la curva granulométrica. (Borselli, 2017, P. 7).

**Tabla 2-3.** Clasificación en base a criterios de granulometría.

MATERIAL	CARACTERÍSTICAS	TAMAÑO mm
Piedra	-----	Mayor de 70 mm
Grava	Gruesa	30 a 70
	Media	5 a 30
	Fina	2 a 5
Arena	Gruesa	1 a 2
	Media	0.2 a 1
	Fina	0.1 a 0.2
Polvo	Grueso	0.05 a 0.1
	Fino	0.02 a 0.05
Limo	Grueso	0.006 a 0.02
	Fino	0.002 a 0.006
Arcilla	Gruesa	0.0006 a 0.002
	Fina	0.0002 a 0.0006
Ultra arcilla	-----	0.00002 a 0.0002

**Fuente:** (Juárez & Rico, 2005, p. 99)

**Realizado por:** Calle, X, 2020.

**Nota:** Abajo de 0.00002mm las partículas constituyen disoluciones verdaderas y ya no se depositan.

**Tabla 2-4.** Simbología Utilizada por el SUCS Como Identificación.

<u>SÍMBOLO</u>	<u>DESCRIPCIÓN</u>
G	Grava
S	Arena
M	Limo
C	Arcilla
O	Limoso o arcillas orgánicas
Pt	Turba y altamente orgánicos
H	Alta Plasticidad
L	Baja Plasticidad
W	Bien Gradados
P	Mal Gradados
CU	Coeficiente de Uniformidad
CC	Coeficiente de Curvatura
IP	Índice de Plasticidad

Fuente: (Juárez & Rico, 2005, p. 152)

Realizado por: Calle, X, 2020.

#### 2.15.3.1. Suelo granular grueso.

Si más del 50% del material es retenido por el tamiz #200, están las Gravas (**G**) y las Arenas (**S**), si en el tamiz #4 se retiene más del 50% de la fracción es una Grava (**G**) y caso contrario si pasa más del 50% es una Arena (**S**). (Crespo, 2004, P. 88).

Las gravas se dividen en cuatro grupos: GW (bien graduado), GP (pobrementemente o mal graduado), GM (grava limosa), GC (grava arcillosa), y del mismo para las arenas son cuatro grupos: SW (bien graduado), SP (pobrementemente o mal graduado), SM (grava limosa), SC (grava arcillosa). (Crespo, 2004, P. 92).

#### 2.15.3.2. Suelo granular fino.

El sistema unificado de suelos los agrupa en tres grupos con limos y arcillas con límite líquido menor al 50%, en tres grupos con limos y arcillas con límite líquido mayor al 50%. Y un grupo para suelos finos altamente orgánicos. Si el límite líquido es menor al 50% es de baja compresibilidad y se añade el sufijo L (Low compresibility) a los sufijos M, C y O, quedando de

la siguiente manera ML (limo inorgánico de baja compresibilidad), CL (arcilla inorgánica de baja compresibilidad), OL (limos orgánicos de baja compresibilidad).

Cuando se tiene que el límite líquido es mayor al 50% se agrega el sufijo H (High compresibility) a los prefijos M, C, y O, quedando de la siguiente manera MH (limos orgánicos de alta compresibilidad), CH (arcillas inorgánicas de alta compresibilidad), y OH (arcillas orgánicas de alta compresibilidad). Los suelos altamente orgánicos como las turbas se designan por Pt. (Crespo, 2004, P. 92).

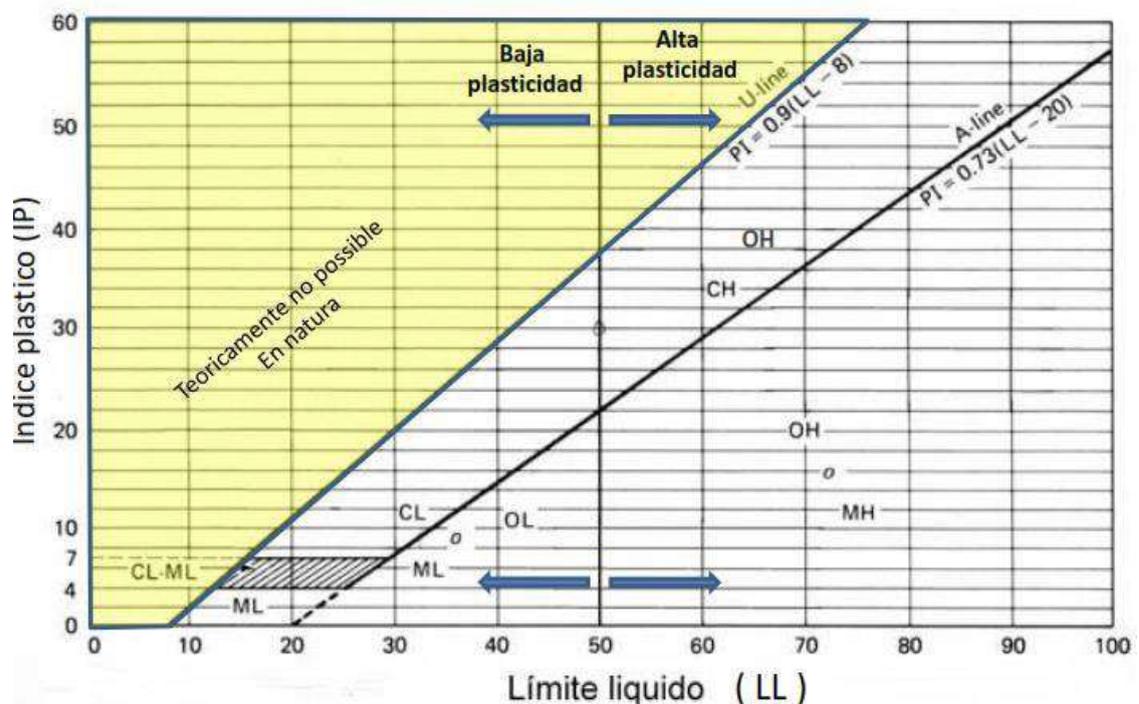
**Tabla 2-5.** Clasificación SUCS (Separación en Competente Fina y Gruesa).

Fracción fina				Fracción gruesa			
Arcilla		Limo	Arena		Grava		Bloques
	0.002		0.075		4.75		75
←							
Más finas				Más gruesas			

Fuente: (Borselli, 2017, p. 6)

Realizado por: Calle, X, 2020.

Los suelos finos son determinantes en la carta de plasticidad de Arthur Casagrande. Como se muestra en la Ilustración 2-6.



**Ilustración 2-5.** Carta de Plasticidad de Casagrande

Fuente: Borselli, 2017, p. 10

#### **2.15.4. Plasticidad.**

Es la propiedad física que presentan los suelos de poder deformarse hasta un cierto límite, sin romperse. Nos sirve para conocer el comportamiento de los suelos en épocas distintas. Las arcillas tienen un comportamiento variado dependiendo la naturaleza y mineralogía. Para conocer un suelo es necesario hacer uso de los límites de Atterberg quien separo los cuatro estados de los suelos coherentes. (Crespo, 2004, P. 69).

Los límites son: límite líquido (LL), límite plástico (LP), y el límite de contracción (LC), el cual se determina siempre empleando una malla #40. La diferencia entre los valores del límite líquido y el límite plástico nos da el índice de plasticidad. Los límites líquido y plástico dependen de la cantidad y calidad de la arcilla, mientras que el índice de plasticidad solo de la cantidad de arcilla. Si no se puede determinar el límite de plasticidad se dice que el suelo es no plástico (N.P.).

El índice plástico nos indica el rango de humedad durante el cual un suelo cohesionado tiene propiedades de un material plástico. (Crespo, 2004, P. 69).

#### **2.15.5. Límite líquido.**

Se define como el contenido de humedad expresado porcentualmente con respecto al peso seco de la muestra con el cual la muestra pasa de estado líquido a plástico. Partiendo de esta definición los suelos plásticos tienen una resistencia al esfuerzo cortante, aunque sea mínima pero definida según Atterberg de 25g/cm<sup>3</sup>. Cuando un suelo alcanza este límite la cohesión del mismo es nula. (Crespo, 2004, P. 70).

#### **2.15.6. Límite plástico.**

Se define como el porcentaje de humedad con respecto al peso de la muestra secada al horno, en el cual los suelos cohesivos cambian de estado semisólido a plástico. Para determinar este límite se utiliza material mezclado con agua que sobró del límite líquido. Se elimina humedad haciendo una mezcla plástica para poder moldear. Esta masa en forma de bola se rodilla sobre vidrio hasta formar filamentos. Si se ha alcanzado los 3.17mm se vuelve a mezclar toda la masa para volver a rodillar y formar filamentos hasta que se rompen al alcanzar los 3.17mm, estos pedacitos de filamentos se los pesa y luego se lo mete a secar al horno, luego de secados al horno se los vuelve a pesar y se determina el límite plástico de la siguiente manera:

$$LP = \frac{(Ph - Ps)}{Ps} \times 100 = \frac{Pw}{Ps} \times 100$$

**Ecuación 1-1.** Límite Plástico.

**Donde:**

**LP** = límite plástico en %

**Ph** = peso de los trocitos de filamentos húmedos en gramos.

**Ps** = peso de los trocitos de filamentos secos en gramos.

**Pw** = peso del agua contenida en los filamentos pesados en gramos. (Crespo, 2004, P. 76).

#### **2.15.7. Índice plástico.**

Es la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico. Indica el rango en cual un suelo se mantiene plástico. Entonces con el índice de plasticidad podemos decir las especificaciones del suelo para algo específico. (Crespo, 2004, P. 78).

Nota: En la parroquia Santa Susana de Chiviaza en donde se encuentra la concesión minera Ximena II, afloran la formación Hollín, Chapiza, Santiago y la formación Napo.

## **CAPITULO III**

### **3 MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Metodología**

Para realizar el presente estudio y cumplir todos los objetivos planteados, se estableció la siguiente metodología.

#### **Capítulo I**

Se inició con la recopilación de toda la información existente de la zona de estudio a nivel local como regional, información bibliográfica, datos en ARCOM, Subsecretaría de Minas y toda la información que nos pueda proporcionar el titular minero, para de esta manera conocer a detalle todas las actividades que se han realizado y la información que maneja el área minera a estudiar. También la terminología que será usada para el desarrollo del presente trabajo.

#### **Capítulo II**

Una vez analizada toda la información existente, se procedió hacer la descripción técnica ya establecida por distintos autores, sobre que son arcillas, su clasificación, forma, tipos de explotación y sus usos. De igual forma la descripción y que ensayos de laboratorio que van hacer usados para obtener los datos que nos ayudara a comprobar si lo realizado servirá para purificar el caolín que se desecha en la Concesión Minera Ximena II.

#### **Capítulo III**

Realizo un trabajo netamente de campo, que inicio con la comprobación de toda la información que se pudo obtener sobre el área de interés, una vez realizado la comprobación, procedió con un levantamiento de campo; se hizo la descripción de la geología local del terreno, recolectar muestras y realizar un maestreo manual con el fin de homogenizar la muestra final del material remante de mina para llevarlas al laboratorio para su respectivo análisis. Esto nos ayudar a completar los objetivos planteados y comprobar la hipótesis planteada.

## **Capítulo IV**

Con los resultados de campo y laboratorio obtenidos, se realizó la comprobación del objetivo principal planteado que es purificar el caolín que se desecha en la Mina Concesión Minera Ximena II. Con toda la información obtenida se determinaron conclusiones y recomendaciones del proyecto de investigación de acuerdo a los objetivos planteados.

## **Capítulo V**

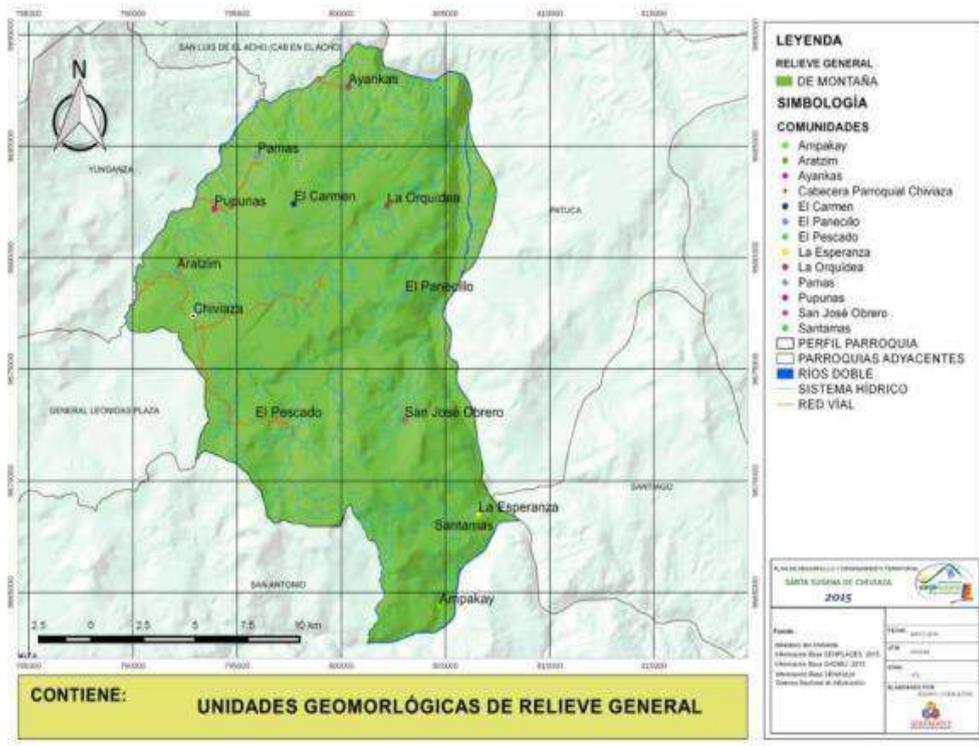
Conclusiones y recomendaciones.

### **3.2. Caracterización.**

#### **3.2.1. Geomorfología.**

La concesión minera Ximena II se ubica en la zona sub andina del Ecuador, en las estribaciones de las cordilleras: Cutucú que se proyecta al norte con dirección a Colombia; y, del Cóndor, que se proyecta al sur en dirección del Perú, originando anticlinales marcados por las formaciones Napo y Santiago constituidas de compuestos calcáreos.

Las elevaciones dentro del área minera Ximena varían de alturas comprendidas entre 1200 y 1400 m.s.n.m., que condicionan valles angostos atravesados por quebradas que se desbordan en época de invierno, el agua de éstas satura el suelo formando zonas pantanosas. Se puede observar que la superficie del donde se encuentra la mina tiene una pendiente de 1.5%, por lo tanto, se puede decir que es un terreno plano.



**Ilustración 3-1.** Unidades Geomorfológicas de Relieve General

Fuente: (PDOTSantaSusana de Chiviaza, 2015, p. 4)

### 3.2.2. Geología local

El área concesionada está ubicada en la región oriental, dentro de una zona sedimentaria de carácter marina, en la cual afloran rocas metamórficas y rocas cretáceas indiferenciadas pertenecientes al Grupo Limón. Entre las rocas metamórficas podemos citar: esquistos cristalinos, gneis, migmatitas, cuarcitas, etc. formadas debido a un intenso metamorfismo regional. Igualmente se encuentran rocas volcánicas de color plomas, que van desde rocas frescas hasta alteradas, esto se puede observar en el sector de Chiviaza.



**Ilustración 3-2.** Rocas volcánicas con alteración por Metamorfismo.

Realizado por: Calle, X, 2020.

La geología local del área Ximena II, muestra una capa de vegetación de escasos centímetros de espesor de naturaleza montañosa con gran tala de árboles.

En las áreas donde se ha realizado excavaciones, se observa cambios en la arcilla tales como su coloración y calidad.

La coloración varía de tonalidades como: blanco claro, beige, amarillo rojizo, gris claro, gris verdoso hasta turquesa.

La calidad no es la misma en todos los sitios, en algunos se encuentra arcilla blanca plástica de grano fino, en otros sitios hay arcilla blanca plástica mezclada con limo y arena y en muchos lugares intercalada con areniscas cuarzosas pertenecientes a la Formación Hollín, donde se evidencia cantos de arenisca cuarzosa en menor proporción; estas arcillas de color blanco – cremas son de interés para la industria cerámica.



**Ilustración 3-3.** Arenisca cuarzosa alterada.

**Realizado por:** Calle, X, 2020.

Con los datos litológicos obtenidos en las exploraciones, se puede reconstruir un perfil con una columna estratigráfica con tres estratos principales bien definidos como se indica en la siguiente tabla:

**Tabla 3-1.** Descripción de la Geología del yacimiento de la mina Ximena II.

<p><b>UBICACIÓN:</b> Parroquia Santa Susana de Chiviaza</p> <p><b>FECHA:</b> 20 de septiembre de 2016</p> <p><b>DATUM:</b> WGS84</p>		<p><b>COORDENADAS:</b> N 9678180 E 797038</p> <p><b>CÓD. XIMENA:</b> 2416.1</p> <p><b>PROFUNDIDAD POZO:</b> 8 m.</p>			
DESCRIPCIÓN DE LA GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO DE LA MINA XIMENA II					
PROFUNDIDAD (m.)	DESCRIPCIÓN DE LA LITOLOGÍA	SUCS	CÓD.	IMAGEN	
0,10 a 0,15m.	Un lente arcilloso ferruginoso delgado al que lo llamaremos Litología A; de 0,10 a 0.15 m., de coloración roja amarillenta, la misma es retirada ya que no posee características cerámicas deseadas.	CH	LA		
4 m.	Un estrato arcilloso de color gris verdoso al que lo llamaremos <b>Litología B</b> , de grano fino muy plástico con una potencia media de 4,00 m. esto aumenta considerablemente las reservas.	CH	LB		
2,20 m.	Un estrato de material arcilloso color blanco a beige al que lo llamaremos <b>Litología C</b> , de grano fino a medio, semiplástico con una potencia media de 2.20 m.	CH	LC		

Realizado por: Calle, X, 2020.

### 3.2.3. Lugar del muestreo

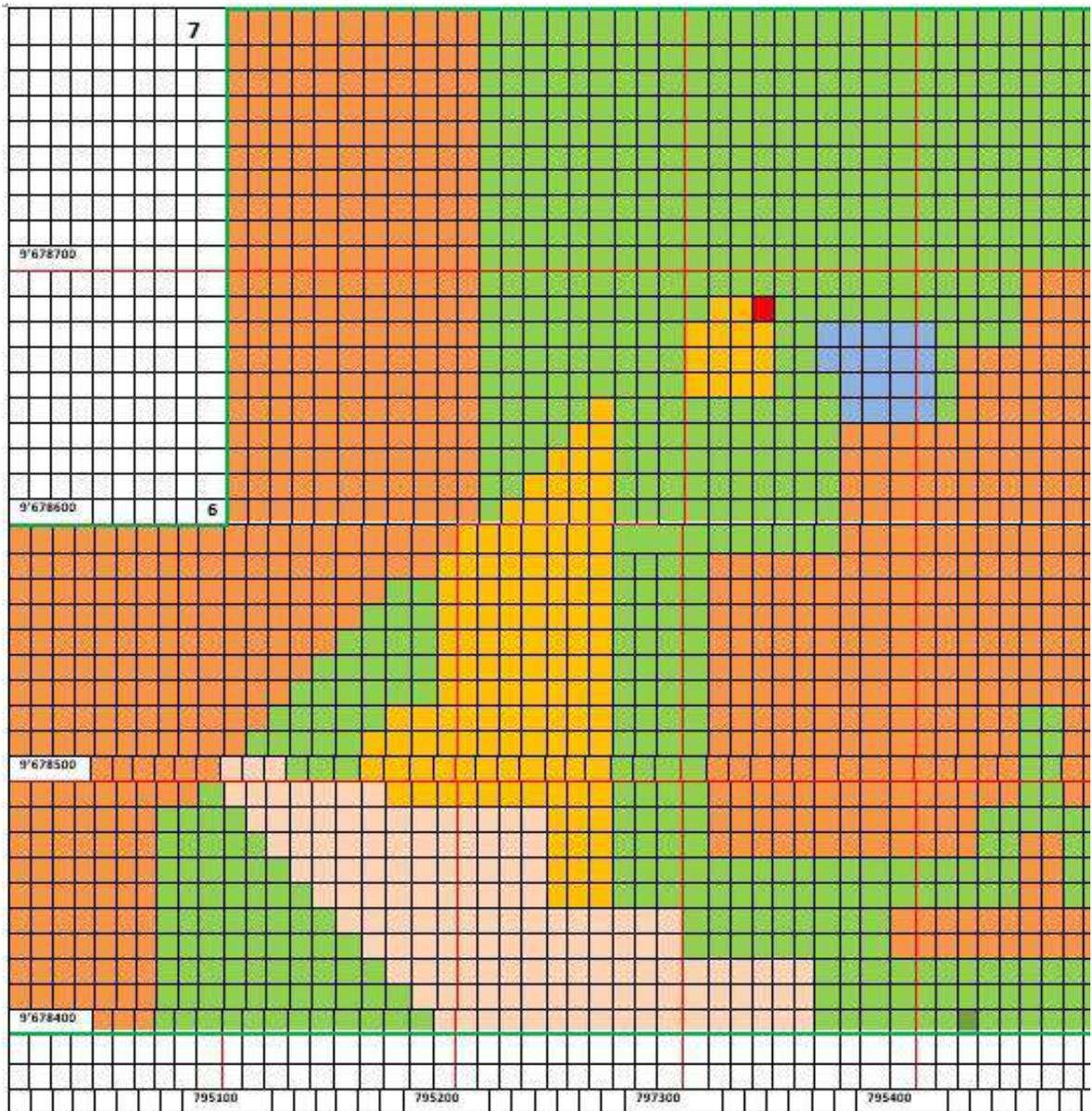
Las muestras se tomaron en tres puntos y cada uno de ellos corresponde a tres pilos de material caolinítico de distinto tipo que pertenecen a cada uno de los estratos llamamos **Litología A, Litología B y Litología C**, que se encuentran en una secuencia que va desde la capa exterior o más superficial a la interior en el orden anterior mencionado de las litologías; estos pilos de material fueron acumulados en un proceso de explotación en la cantera de la mina y separados conforme a su tipo de acuerdo a las características cerámicas deseadas.



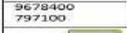
**Ilustración 3-4.** Pilos LA, LB, Lc, de los tres tipos de materiales caoliníticos.

**Realizado por:** Calle, X, 2020.

El área de explotación se conoce como área N°1 de la mina Ximena II, esta área tiene culminada la investigación y es en donde se realizó el estudio.



**SIMBOLOGÍA:**

-  - Arcilla plástica blanca sin explotar
-  - Arcilla plástica blanca contaminada con óxido de hierro
-  - Arcilla roja mala
  
-  - Áreas explotadas y remediadas
-  - Huevo sin remediar
-  - Campamento
  
-  - Vía de acceso
-  - Coordenadas UTM.
-  - Área investigada con pozos

**Ilustración 3-5.** Área N° 1, lugar de estudio de la mina Ximena II.

**Fuente:** Ortiz & Mena, 2019

Los materiales utilizados para la toma de muestra fueron:

- Libreta de campo y esfero.
- Una pala.
- Un pico.
- Una bolsa para cada muestra.
- Martillo de geólogo.
- GPS.

#### ***3.2.4. Detalle de la toma de muestras***

Para la toma de muestras se realizó de forma aleatoria, en donde se seleccionaron puntos donde se acumula materiales extraídos; estos materiales extraídos de arcilla caolinítica son utilizados para mezclarlos y obtener una mezcla cerámica. Los pasos que se siguió fueron los siguientes:

- En la cantera se hizo el debido reconocimiento y localización de los lugares a muestrear.
- Se tomó los puntos georreferenciados.
- Se realizó la geología local.
- Las muestras fueron recolectadas con la ayuda de una pala.
- La cantidad de las muestras extraídas fueron homogéneas y en la misma proporción.

**Tabla 3-2.** Toma de muestras

<b>UBICACIÓN:</b> Parroquia Santa Susana de Chiviaza <b>FECHA:</b> 20 de septiembre de 2016 <b>DATUM:</b> WGS84 <b>COORDENADAS:</b> N 9678180 E 797038		<b>CÓD. XIMENA:</b> 2416.1 <b>PROFUNDIDAD POZO:</b> 8 m. <b># DE MUESTRAS:</b> 3		
<b>DESCRIPCIÓN DE LAS MUESTRAS RECOLECTADAS</b>				
<b>CÓD. MUESTRA</b>	<b>CANT. (Kg)</b>	<b>COLOR</b>	<b>TEXTURA</b>	<b>IMAGEN</b>
<b>LA</b>	6Kg	Rojo amarillento.	Grano fino a medio y de matriz arcillosa con presencia de arena fina hasta grava fina y guijarros. La arena y grava fina son de cuarzo. Presencia de materia orgánica (raíces vegetales).	
<b>LB</b>	6Kg	Gris verdoso.	Grano fino muy plástico y de matriz arcillosa con presencia de materia orgánica (raíces vegetales).	
<b>LC</b>	6Kg	Blanco a beige con tonalidad rojiza.	Grano fino muy plástico y de matriz arcillosa. Mínima presencia de materia orgánica.	

Realizado por: Calle, X, 2020.

**Tabla 3-3.** Georreferenciación de los puntos de muestreo.

<u>VERTICE</u>	COORDENADAS			
	<u>PSAD 56</u>		<u>WGS 84</u>	
	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE
LA	797297	9678554	797038	9678180
LB	797272	9678610	797013	9678236
LC	797013	9678236	796989	9678191

Realizado por: Calle, X, 2020.

### **3.3. Pruebas físicas**

Las muestras que tomadas en el campo fueron analizadas en los laboratorios del GAD PROVINCIAL DE MORONA SNTIAGO, realizando ensayos para determinar las propiedades físicas del material de la mina Ximena II como es la granulometría y plasticidad.

#### **3.3.1. Granulometría**

Según la Noma INEN 685 Mecánica de suelos terminología, define a la granulometría, como la proporción de material de cada tamaño de partículas presentes en un determinado suelo.

#### **3.3.2. Ensayo Granulométrico**

El instrumental que se debe usar para este ensayo es: una Balanza. Con una precisión de 0.01(g), recipiente, horno, tamices serie fina: N°4, 8, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100 y 200, tamizadora.



**Ilustración 3-6.** Instrumentos para el ensayo Granulométrico.

Realizado por: Calle, X, 2020.

Una vez obtenidas las muestras de campo se procede a secarlas en temperatura ambiente por cinco días con el objetivo de no alterara sus propiedades físicas. A continuación, se describirá el procedimiento del ensayo:

1. Se tritura la muestra ya seca a temperatura ambiente.



**Ilustración 3-7.** Trituración de la muestra.

Realizado por: Calle, X, 2020.

2. Se muele la muestra.



**Ilustración 3-8.** Molido de la muestra.

Realizado por: Calle, X, 2020.

3. Se pesa 500g como muestra del material molido.



**Ilustración 3-9.** Pesado de la muestra molida.

Realizado por: Calle, X, 2020.

4. Se coloca la muestra de 500g en la serie fina de tamices armados N°4, 8, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100 y 200 para tamizarla.



**Ilustración 3-10.** Armado de la serie de tamices.

**Realizado por:** Calle, X, 2020.

5. Se toma la muestra retenida en el Tamiz N°200 y se procede a lavarla cuidadosamente con agua del grifo, hasta observar que el agua sale del tamiz es clara. Se debe tener mucho cuidado y prestar atención, para no dañar el tamiz ni perder la muestra durante el proceso.



**Ilustración 3-11.** Lavado de la Muestra.

**Realizado por:** Calle, X, 2020.

6. Se retira cuidadosamente el material retenido en el tamiz #200, con ayuda de agua, vertiéndolo en el recipiente. Se debe tener especial cuidado de no dejar partículas de suelos en la malla o paredes del tamiz.



**Ilustración 3-12.** Retirado de la muestra retenida en el tamiz.

Realizado por: Calle, X, 2020.

7. Dejar que la muestra tamizada se precipite para evacuar el agua con mucho cuidado y evitar perder parte de la muestra.

8. Colocar la muestra en el horno calibrado 110 °C hasta que este nos indique que la muestra ya está seca; para este ensayo fue de aproximadamente 5 horas.



**Ilustración 3-13.** Colocación de la muestra en el horno.

Realizado por: Calle, X, 2020.

**9.** Sacamos la muestra del horno



**Ilustración 3-14.** Secado de la muestra a 110°C.

**Realizado por:** Calle, X, 2020.

**10.** Registrar los pesos acumulados retenidos en cada uno de los tamices.



**Ilustración 3-15.** Registro de pesos retenidos en cada tamiz.

**Realizado por:** Calle, X, 2020.

**11.** Finalmente realizar el cálculo de los datos obtenidos y construcción de la curva % que pasa por los tamices vs abertura en mm de los tamices. (Ver **Ilustración 3-20**).

### **3.4. Plasticidad para determinar límites líquidos y plásticos**

Se denomina plasticidad a la propiedad que tiene ciertas sustancias de dejarse deformar, bajo la acción de determinadas fuerzas, conservando la deformación aun después que estas han dejado de actuar. Se atribuye la plasticidad a la presencia de sustancias coloidales en las arcillas.

La plasticidad no es una propiedad permanente de las arcillas sino circunstancial y dependiente de su contenido de agua.

La técnica experimental de la determinación de los límites está basada en los trabajos realizados por Atterberg, completados posteriormente por Casagrande. Con esta técnica se pudo determinar los límites líquidos y plásticos, los mismos que se utilizan para determinar el índice de plasticidad.

#### ***3.4.1. Metodología para el análisis de la plasticidad***

Hay diferentes métodos para calcular el grado de plasticidad de un material arcilloso, a partir de técnicas muy sencillas, como son las pruebas de campo, hasta las más exactas como las de laboratorio. En este caso se empleó el método de “Casagrande”.

#### ***3.4.2. Instrumentos y materiales:***

- 1.** Tamiz N° 40
- 2.** Recipiente de porcelana blanca.
- 3.** Espátula.
- 4.** Tarro pequeño para pesar muestra.
- 5.** Copa de Casagrande.
- 6.** Ranurador para Copa de Casagrande.
- 7.** Balanza de precisión.
- 8.** Horno.
- 9.** Muestra de arcilla tamizada.



**Ilustración 3-16.** Instrumentos y materiales para determinar plasticidad, LL y LP.

Realizado por: Calle, X, 2019.

### 3.5. Límites De Atterberg.

**Contenido de Humedad.** - razón entre peso del agua y peso del suelo seco de una muestra.

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

**Ecuación 3-1.** *Contenido de Humedad*

Donde:

**W**= Contenido de humedad.

**W<sub>w</sub>**= Peso agua.

**W<sub>s</sub>**= Peso suelo seco.

Nota: Para este ensayo los datos obtenidos del contenido de humedad se los encuentra en (Ver **Ilustración 3-20**)

**Límite líquido.** Es la cantidad de agua que contiene una sustancia en el punto de transición entre el estado líquido y el estado plástico y se la determina en el laboratorio por medio de la copa de Casagrande.

#### 3.5.1. Procedimiento para determinar el Límite Líquido:

1. Se tomó 100g de la muestra que pasó la malla #40.
2. Se puso la muestra en el recipiente de porcelana blanca y se agregó agua en cantidades de 15 a 20 ml, se mezcló con la espátula hasta que la muestra tenga consistencia amasable.



**Ilustración 3-17.** Agregado de agua de 15 a 20 ml.

**Realizado por:** Calle, X, 2019.

3. Secar y limpiar la cápsula para cada ensayo o repetición.
4. Se colocó 70 g de la muestra masada del paso 2 en la cápsula, se alisó la superficie a una altura de 1cm con la espátula. Sin burbujas de aire.
5. Usando el acanalador se hizo un corte en el eje de simetría para separar en dos partes iguales la masa de la cápsula.



**Ilustración 3-18.** Ranura en el eje de simetría de la cápsula de Casagrande.

**Realizado por:** Calle, X, 2019.

Luego se giró la manivela a una velocidad de dos revoluciones por segundo hasta que el corte hecho se cierre en 2cm aproximadamente. Se anotó solo si esto sucede antes de los 40 golpes, caso contrario se agregó agua a la masa en cantidades de 1 a 3 ml hasta conseguir que el número de golpes sea menor de 40.

6. Se revolvió el suelo de la cápsula y se repitió la operación 4 y 5. Hasta conseguir tres puntos o cantidades de golpes.
7. Se tomó las muestras, se registró el peso húmedo y se las metió al horno a 110 °C durante 15h.
8. Se sacó del horno y se volvió a pesar las muestras secas y se registró el peso de cada una de ellas. Con los resultados de los pesos y número de golpes se construye una curva semi logarítmica de % Humedad vs # de golpes. (Ver **Ilustración 3-20**)

**Límite plástico.** - Es la frontera convencional entre los estados plásticos y semi sólido, es decir la cantidad de agua en el instante en que pierde la plasticidad, esta humedad se determina en laboratorio en unos cilindros del material.

### ***3.5.2. Procedimiento para determinar el Límite Plástico:***

1. Se tomó una masa de muestra de 2g aproximadamente del ensayo para LL.
2. Se hizo una bolita de 1 cm<sup>3</sup>.
3. Se hizo élices sobre la superficie plana de un molde de vidrio imantado.
4. Se realizó el ensayo enrollando la muestra hasta que quede una barra de 3mm de espesor y presente fisuras.



**Ilustración 3-19.** Barras de 3mm de diámetro.

**Realizado por:** Calle, X, 2020.

- Se vuelve hacer una bolita la barra y se repite el paso 4.
5. Se debe repetir el paso 4 y 5 por dos o tres veces y luego sacar un promedio de peso húmedo.
  6. Terminamos el ensayo, se pesa la muestra y se seca en el horno.

7. La muestra seca se pesa y se realiza los respectivos cálculos que con eso se concluye el ensayo.  
(Ver **Ilustración 3-20**)

### ***3.5.3. Índice de plasticidad***

Es la diferencia entre los valores del límite plástico y líquido. (Ver **Ilustración 3-20.**)

LABORATORIO DE SUELOS						ENSAYADO POR: XAVIER CALLE PALOMEQUE																																													
PROYECTO: PURIFICACIÓN DEL CAOLÍN QUE SE DESECHA EN LA MINA XIMENA II						FECHA DE TOMA: Enero -08 - 2018																																													
SECTOR : SANTA SUZANA DE CHIVIAZA			MUESTIN° 1			ESTRATOS: 3			FECHA DE ENSAYO: Abril - 16 - 2018																																										
PROFUNDIDAD: 3 MESTROS			COLOR: ROJIZO			ENSAYOS DE CLASIFICACION																																													
TAMIZ	PESO RET.		%		%	N°	N°	FESO		FESO	%	%																																							
	PARCIAL	ACUMULADO	RETENIDO	QUE PASA				HUMEDO	SECO				TARRO	DE HUMEDAD	PROMEDIO																																				
N°4	4,75	0,00	0,00	0,00		27	32	47,78	38,62	28,02	86,42																																								
N°8	2,36	0,57	0,57	0,13	99,87	28	25	48,37	38,92	28,46	90,34																																								
N°10	2	0,28	0,85	0,19	99,81	29	18	48,55	37,89	26,61	94,50																																								
N°20	0,85	3,34	4,19	0,93	99,07																																														
N°30	0,6	3,46	7,65	1,70	98,30																																														
N°40	0,43	6,25	13,19	2,93	97,07							90,42																																							
N°60	0,25	9,81	23,71	5,27	94,73																																														
N°80	0,18	6,45	30,16	6,70	93,30																																														
N°100	0,15	3,16	33,32	7,40	92,60																																														
N°200	0,07	11,66	44,98	10,00	90,00																																														
< N°200			405,02	90																																															
TOTAL			450,00																																																
PESO ANTES DE LAVAR: 450g			ARENA			10 %																																													
PESO DESPUES DE LAVAR: 44,98g			FINOS			90 %																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN S.U.C.S</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">% Que pasa por la malla N°200</td> <td colspan="2">90%</td> </tr> <tr> <td>Límite Líquido</td> <td>LL=</td> <td colspan="2">90,42%</td> </tr> <tr> <td>Límite Plástico</td> <td>LP=</td> <td colspan="2">46,87%</td> </tr> <tr> <td>Índice de Plasticidad</td> <td>IP=</td> <td colspan="2">43,55%</td> </tr> <tr> <td>Tipo de suelo según su granulometría:</td> <td colspan="3">Suelo fino Alta plasticidad</td> </tr> <tr> <td>Tipo de simbología:</td> <td colspan="3">Simbología normal</td> </tr> <tr> <td>Tipo de suelo:</td> <td colspan="3">CH, MH, OH</td> </tr> <tr> <td>Suelo</td> <td>MH, CH</td> <td>Indicar tipo de suelo:</td> <td>Inorgánico</td> </tr> <tr> <td>Características del suelo</td> <td>CH</td> <td colspan="2">Son arcillas de alta plasticidad con limite líquido mayor al 50% y muy compresibles</td> </tr> </tbody> </table>												CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN S.U.C.S				% Que pasa por la malla N°200		90%		Límite Líquido	LL=	90,42%		Límite Plástico	LP=	46,87%		Índice de Plasticidad	IP=	43,55%		Tipo de suelo según su granulometría:	Suelo fino Alta plasticidad			Tipo de simbología:	Simbología normal			Tipo de suelo:	CH, MH, OH			Suelo	MH, CH	Indicar tipo de suelo:	Inorgánico	Características del suelo	CH	Son arcillas de alta plasticidad con limite líquido mayor al 50% y muy compresibles	
CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN S.U.C.S																																																			
% Que pasa por la malla N°200		90%																																																	
Límite Líquido	LL=	90,42%																																																	
Límite Plástico	LP=	46,87%																																																	
Índice de Plasticidad	IP=	43,55%																																																	
Tipo de suelo según su granulometría:	Suelo fino Alta plasticidad																																																		
Tipo de simbología:	Simbología normal																																																		
Tipo de suelo:	CH, MH, OH																																																		
Suelo	MH, CH	Indicar tipo de suelo:	Inorgánico																																																
Características del suelo	CH	Son arcillas de alta plasticidad con limite líquido mayor al 50% y muy compresibles																																																	

**Ilustración 3-20.** Hoja de registro de datos laboratorio.

Realizado por: Calle, X, 2019.

### **3.6. Tratamiento Electrolítico**

#### ***3.6.1. Desarrollo del proceso para la primera prueba de electrólisis***

Esta primera prueba se la realizo en dos partes:

Mezcla de las tres muestras a, b, c de la mina Ximena II en partes iguales, luego se agregó agua destilada, se calibró la fuente de poder tanto el voltaje y el amperaje, los electrodos una vez introducidos a la solución se conectaron mediante cables a la fuente y se dio inicio al proceso.

##### *3.6.1.1. Primer ensayo.*

En la primera fase de experimentación, se partió con una muestra de 500g. disueltos en 1000ml de agua destilada y la utilización de dos electrodos de cobre electrolítico y acero inoxidable respectivamente, con una separación aproximada de 0,2cm. y una potencia de 9,6V. La muestra homogenizada se colocó en un recipiente al que se le llamará celda electrolítica y en ella se introduce los electrodos, que van conectados a una fuente de poder. Se pudo observar que la fuente no marcaba paso de corriente, estando los electrodos muy separados dentro del recipiente; pero cuando se le acercó a una distancia aproximada de 0,2 cm, dio lectura. Al tener esta separación muy pequeña produjo cortocircuito, induciendo que la prueba no sea continua, para ello se tuvo que agitar la muestra continuamente, repetir la prueban por esta razón para observar un cambio en la muestra de 2h38min45s; observándose que el ánodo estaba recubierto por una sustancia de color rojizo, que se presume es hierro. De este ensayo, se determinó que era necesario encontrar un medio que permita una mayor separación de los electrodos para que la corriente fluyera continuamente.

##### *3.6.1.2. Segundo ensayo.*

Con los mismos parámetros de masa, densidad y electrodos se procedió a realizar este segundo ensayo. Al ver que no hubo buena conductividad de corriente en la solución, se agregó agua ácida (sustancia dispersante), este proceso nos ayudó a mejorar el flujo de corriente en toda la celda electrolítica. En este ensayo se observó que el flujo de corriente mejoró notablemente, incluso a distancias en donde anteriormente no se tenía resultados. Se optó por separar los electrodos a 12cm., distancia que permitió tener un flujo de corriente continua; más alejados los electrodos, el amperaje disminuía, más cercanos el amperaje igualaba al inducido por la fuente provocando cortocircuito. Con estos parámetros, con agitación de la muestra y con un tiempo 1:42:51,

visualmente se observó cambios en la coloración de la muestra; pasado este tiempo, se puede ver que hay una coloración verdosa alrededor del electrodo cúprico en la solución, el amperaje se mantuvo cercano a cero, dándose por terminada la prueba, antes de obtener estos resultados negativos. Ver siguiente tabla:

**Tabla 3-4.** Primera prueba de electrólisis

<b>Parámetros</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Observaciones</b>
Peso(gr)	500	De caolín	Mezclas en partes iguales de las tres muestras.
Volumen(cc)	875	Agua destilada	Se utiliza en la primera parte de la prueba.
	125	Agua acida	Ácido sulfúrico se agrega a la mezcla inicial para la segunda parte de la prueba
Longitud(cm)	30	Electrodo de Cobre	Ánodo cobre electrolítico.
	30	Acero Inoxidable	Cátodo de acero inoxidable
<b>Primer ensayo</b>			
Separación(cm)	0,2	De los electrodos	Entre el ánodo y cátodo para la primera parte.
Tiempo (h: min: s)	2:38:45	Tiempo de la primera parte de la prueba	Primera parte de la prueba.
Voltaje (V)	9.6	Es el potencial	Calibrado en la fuente para la primera parte
Amperaje(A)	2	Corriente continua	Es el máximo al que se somete la primera parte.
	0.62	Corriente continua	Lectura inicial de la fuente para la primera parte.

<b>Segundo ensayo</b>			
Separación(cm)	12	De los electrodos	Entre el ánodo y cátodo para la segunda parte.
Tiempo (h: min: s)	1:42:51	Tiempo de la segunda parte de la prueba	Segunda parte del proceso.
	4h21min36s	Tiempo total de la prueba	La suma del tiempo de la primera y segunda parte
Voltaje (V)	8.1	Es el potencial	Calibrado para la segunda parte
Amperaje(A)	2	Corriente continua	Es el máximo al que se somete la segunda parte.
	0.07	Corriente continua	Lectura inicial de la fuente para la segunda parte

Realizado por: Calle, X, 2020.

### 3.6.2. *Desarrollo del proceso para la segunda prueba de electrólisis e2.*

Para este ensayo se mantienen la misma cantidad de muestra, la misma celda electrolítica y se varía la potencia. Se puede observar que el amperaje disminuye si se deja de mover la solución y se sedimenta, para ello hay que agitarla constantemente.

Al incrementar la cantidad de agua acida pudimos ver qué, incrementó el flujo de la corriente, es decir se mejoró la conductividad. Al final del proceso se pudo ver que hay desprendimiento de cobre al igual que el segundo ensayo de la primera prueba, lo cual supone que ya no hay más iones que fluyan de la solución, así mismo se dio por terminada la prueba. Ver siguiente tabla:

**Tabla 3-5.** Segunda prueba de electrólisis E2.

Parámetros	Cantidad	Descripción	Observaciones
Peso(gr)	500	De caolín	Mezclas en partes iguales de las tres muestras.
Volumen(cc)	750	Agua destilada	Se utiliza prueba para la solución.
	250	Agua acida	Ácido sulfúrico se agrega junto al agua destilada.
Longitud(cm)	30	Electrodo de Cobre	Ánodo de cobre electrolítico.
	30	Acero Inoxidable	Cátodo de acero inoxidable.
Separación(cm)	12	De los electrodos	Entre el ánodo y cátodo.
Tiempo (h: min: s)	3:03:09	Duración	De la prueba.
Voltaje(V)	6	Es el potencial	Calibrado en la fuente
Amperaje(A)	2	Corriente continua	Es el máximo al que se somete esta prueba.
	0,06	Corriente continua	Es la lectura inicial de la fuente

Realizado por: Calle, X, 2020.

### 3.6.3. Desarrollo del proceso para la tercera prueba de electrólisis e3

Al igual que en las dos pruebas anteriores se inicia estableciendo los parámetros como se indica en la tabla. Se puede observar que con respecto a la segunda prueba los electrodos están más juntos y el agua acida se incrementa dando como resultado una mejor conductividad de la solución. Se puede ver que se forman burbujas como una efervescencia y al final el cobre del ánodo es liberado en mayor cantidad y en el cátodo se produce una liberación de material de color negro; por lo tanto, se da por terminada la prueba.

**Tabla 3-6.** Tercera prueba de electrólisis E3.

Parámetros	Cantidad	Descripción	Observaciones
Peso(g)	500	De caolín remanente	Mezclas en partes iguales de las tres muestras.
Volumen(cc)	500	Agua destilada	Se utiliza prueba para la solución.
	500	Agua acida	Ácido sulfúrico se agrega junto al agua destilada.
Longitud(cm)	30	Electrodo de Cobre	Ánodo de cobre electrolítico.
	30	Acero Inoxidable	Cátodo de acero inoxidable.
Separación(cm)	12	De los electrodos	Entre el ánodo y el cátodo

Tiempo (h: min: s)	3:03:09	Duración	De la prueba.
Voltaje(V)	14.1	Es el potencial	Calibrado en la fuente
Amperaje(A)	2	Corriente continua	Es el máximo al que se somete esta prueba.
	0,97	Corriente continua	Es la lectura inicial de la fuente

Realizado por: Calle, X, 2020.

### 3.7. Pruebas cerámicas

#### 3.7.1. Ensayos de contracción de secado

Cuánto se contrae es una de las principales características en todas las arcillas. La contracción lineal se determina para este ensayo para las muestras del caolín sin tratamiento y para las muestras tratadas mediante electrólisis.

1. De una masa de cada muestra bien amasada, consistente para poder modelar, se hace barretas de las siguientes dimensiones: 14cm de largo, 4cm de ancho y aproximadamente 1cm de espesor.



**Ilustración 3-21.** Longitud de la muestra de 14cm.

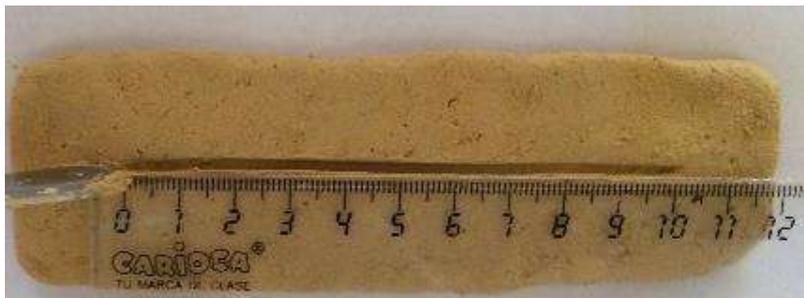
Realizado por: Calle, X, 2020.



**Ilustración 3-22.** Ancho de la muestra de 4cm.

**Realizado por:** Calle, X, 2020.

2. En una cara de cada barreta se hace una raya aguda de 10cm de longitud.



**Ilustración 3-23.** Longitud de la raya en una cara de la muestra.

**Realizado por:** Calle, X, 2020.

3. Dejar secar las barretas con volteo frecuente para que no haya deformación.



**Ilustración 3-24.** Muestra seca.

**Realizado por:** Calle, X, 2020.



**Ilustración 3-25.** Muestras E1, E2, E3 secas.

**Realizado por:** Calle, X, 2020.

5. Determinar la contracción de secado mediante la siguiente formula:

$$\%Cl_s = \frac{\text{longitud en plástico} - \text{longitud en seco}}{\text{longitud en plástico}} \times 100$$

**Ecuación 3-2.** Porcentaje de contracción lineal de secado

Longitud de la raya de las barras secas es de 9,1cm.



**Ilustración 3-26.** Longitud de una barreta seca.

**Realizado por:** Calle, X, 2020.

$$\%Cl_s = \frac{10\text{cm} - 9.1\text{cm}}{10\text{cm}} \times 100 = 9 \%$$

### 3.7.2. Ensayo de la contracción de cocción

Las muestras se cuecen a diferentes temperaturas debido al calentamiento progresivo del horno. A medida que el gradiente de temperatura sube la arcilla se aprieta constantemente.



**Ilustración 3-27.** Horno electrónico para cocción de cerámica.

**Realizado por:** Calle, X, 2020.

1. Cocer las muestras secas hechas en el ensayo anterior.



**Ilustración 3-28.** Barretas cocidas.

**Realizado por:** Calle, X, 2020.

2. Medir la longitud de la raya en la barreta cocida

- La longitud de la barreta cocida sin tratamiento(st) es de 8.7cm



**Ilustración 3-29.** Longitud de barreta cocida sin tratamiento.

**Realizado por:** Calle, X, 2020.

- La longitud de la muestra e1 cocida es de 8.2cm



**Ilustración 3-30.** Longitud de barreta E1 cocida.

**Realizado por:** Calle, X, 2020.

- La longitud de la muestra e2 cocida es de 7.8cm



**Ilustración 3-31.** Longitud de barreta E2 cocida.

**Realizado por:** Calle, X, 2020.

- La longitud de la muestra e3 cocida es de 7.5cm



**Ilustración 3-32.** Longitud de barreta E3 cocida.

**Realizado por:** Calle, X, 2020.

3. Calcular la contracción de cocción por la siguiente fórmula

$$\%Clc = \frac{\textit{longitud en seco} - \textit{longitud cocida}}{\textit{longitud en seco}} \times 100$$

**Ecuación 3-3.** Contracción lineal por cocción.

Para la muestra **st**:

$$\%Clc = \frac{9.1cm - 8.7cm}{10cm} \times 100 = \mathbf{4\%}$$

Para la muestra **e1**:

$$\%Clc = \frac{9.1cm - 8.1cm}{10cm} \times 100 = \mathbf{10\%}$$

Para la muestra **e2**:

$$\%Clc = \frac{9.1cm - 7.8cm}{10cm} \times 100 = \mathbf{13\%}$$

Para la muestra **e3**:

$$\%Clc = \frac{9.1cm - 7.5cm}{10cm} \times 100 = \mathbf{16\%}$$

**3.7.3. La contracción total puede calcularse como sigue:**

$$\%Clt = \frac{\text{longitud en plástico} - \text{longitud en seco}}{\text{longitud en plástico}} \times 100$$

**Ecuación 3-4.** Porcentaje de contracción lineal total.

Para la muestra **st**:

$$\%Clc = \frac{10cm - 8.7cm}{10cm} \times 100 = \mathbf{13\%}$$

Para la muestra **e1**:

$$\%Clc = \frac{10cm - 8.1cm}{10cm} \times 100 = \mathbf{19\%}$$

Para la muestra **e2**:

$$\%Clc = \frac{10cm - 7.8cm}{10cm} \times 100 = \mathbf{22\%}$$

Para la muestra **e3**:

$$\%Clc = \frac{10cm - 7.5cm}{10cm} \times 100 = \mathbf{25\%}$$

### 3.8. Cálculo en Porcentaje de Reducción del Hierro

Fórmula:

$$\%RedFe = \frac{\%FinalFe}{\%InicialFe} \times 100$$

**Ecuación 3-5.** Porcentaje de reducción de hierro

Donde:

$\%RedFe$  = Porcentaje de Reducción del Hierro.

$\%FinalFe$  = Porcentaje Final del Hierro.

$\%InicialFe$  = Porcentaje Inicial del Hierro.

Cálculo tras el ensayo e1:

$$\%RedFe = \frac{1,87}{1,98} \times 100 = 5,6$$

Cálculo tras el ensayo e1:

$$\%RedFe = \frac{1,89}{1,98} \times 100 = 4,6$$

Cálculo tras el ensayo e1:

$$\%RedFe = \frac{1,88}{1,98} \times 100 = 5,1$$

## CAPITULO IV

### 4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Resultados químicos tras los ensayos e1, e2, e3.

Resultados de los Análisis Químicos de las Muestras de Caolín Sometidas a Potencial de Celda en Intervalo de 8,1 a 14.1 Voltios.

**Tabla 4-1.** Tabla de resultados de los análisis químicos.

<u>PRUEBA</u>	<u>%INICIAL</u> <u>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></u>	<u>VOLTAJE</u> <u>(V)</u>	<u>AMPERAJE</u> <u>ENTRADA</u> <u>(A)</u>	<u>AMPERAJE</u> <u>LECTURA</u> <u>(A)</u>	<u>TIEMPO</u> <u>(h:min:s)</u>	<u>%FINAL</u> <u>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></u>	<u>%</u> <u>REDUCCIÓN</u> <u>(%REDFe)</u>
e1	1,98	9,6	2A	0,06	4:21:36	1,87	5,6
e2	1,98	8,1	2A	0,07	1:42:51	1,89	4,6
e3	1,98	14,1	2A	0'97	3:03:09	1,88	5,1

Realizado por: Calle, X, 2020.

#### 4.2. Resultados de análisis físicos-cerámicos

Temperatura de quema: 1.185°C con variación de 3°C. Temperatura de cocción de caolín para pruebas cerámicas.

Ciclo de quema: 24 horas

Absorción en porcentaje: 13,00 %, es la pérdida de humedad tras la cocción.

Contracción Lineal en porcentaje:

**Tabla 4-2.** Tabla de Resultados de Contracción Lineal

<b>Muestra</b>	<b>Contracción plástico – seco (%)</b>	<b>Contracción seco - cocido(%)</b>	<b>Contracción plástico - cocido(%)</b>
<b>st</b>	9	4	13
<b>e1</b>	9	10	19
<b>e2</b>	9	13	22
<b>e3</b>	9	16	25

Realizado por: Calle, X, 2020.

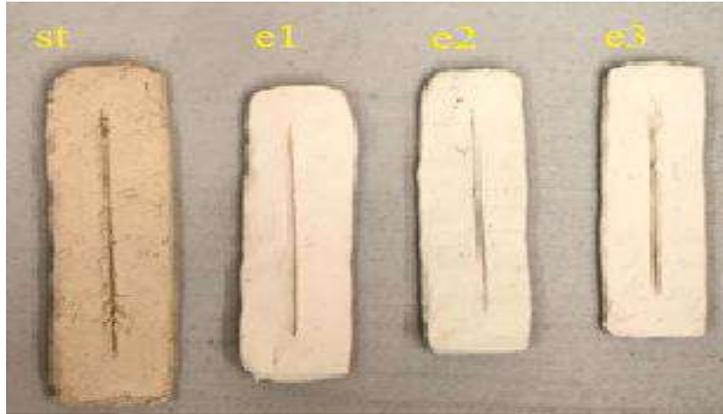
**Color tras la quema:**

st rojizo

e1 crema – blanco

e2 crema – rojizo

e3 crema-blanco



**Ilustración 4-1.** Coloración tras la quema ST, E1, E2, E3.

Realizado por: Calle, X, 2020.

**4.3. Comprobación de la hipótesis.**

**4.3.1. Hipótesis**

“Permitirá el proceso de purificación retirar los elementos contaminantes y obtener un producto final con características óptimas del remanente de la mina Ximena II”.

**4.3.2. Comprobación**

Una vez realizado el levantamiento de campo, toma de datos, análisis de laboratorio de todas las muestras recolectadas, queda de esta manera demostrado que se ha podido reducir el hierro y mejorar la calidad del material en verde; por lo tanto, la hipótesis planteada queda comprobada.

## CAPITULO V

### 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

- Con finos de tamiz No. 200, estas arcillas tienen las siguientes características de: alta plasticidad con límite líquido del 90.42%, límite plástico de 46.87% e índice de plasticidad de 43.55%; clasificándolas como CH, que son arcillas con un límite líquido mayor al 50%.
- Los resultados obtenidos mediante análisis químico hechos por ALS Labs. Ecuador, de las muestras de caolín revelan: para la muestra primaria (sin tratamiento), la presencia de impurezas principalmente de óxido de hierro  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; en la muestra primaria sin tratar y tamizada **labct** una concentración de un 1,98%; pero los análisis químicos hechos a las muestras sometidas a los tres ensayos e1, e2, e3 revelaron que la principal impureza el óxido de hierro se reduce en: 5,6; 4,6 y 5,1% respectivamente comparadas con la muestra sin tratamiento y tamizada **labct**.
- En los ensayos realizados las lecturas en la fuente de poder indicaron que mientras más voltaje se aplique de 8,1 a 14,1 V, es mayor la corriente que circula en la celda electrolítica, y el tiempo al que se somete el proceso es directamente proporcional, siendo la solución de pH ácido para una mejor dispersión de las partículas y mejor la circulación de la corriente; de esta manera se puede remover dichas impurezas eficientemente.
- Los resultados de los análisis físicos – cerámicos tras la cocción muestran cambios visibles en la coloración, evidenciando el color rojizo en la muestra st; blanco - crema en los ensayos e1, e2, e3; una notable contracción lineal y apoyado por los análisis químicos. Quedando de esta manera demostrado que se ha podido reducir la concentración de impurezas y mejorar la calidad del material.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Investigar y promover el estudio y uso de las arcillas como una alternativa en minería, mediante convenios entre la universidad y empresas afines.
- Realizar un estudio a mayor detalle utilizando equipos de laboratorio de alta precisión que nos permitan obtener resultados más eficientes, alcanzado así un producto final más puro, de esta manera optimizaremos el proceso de recuperación de caolín de manera técnica.
- La solución húmeda de la celda electrolítica debe ser ácida con un PH 3 para mejorar el paso de la corriente proveniente de un voltaje que mientras mayor sea, será mayor el valor y el flujo de la misma; retirando eficientemente el hierro presente, con tiempos establecidos para determinados valores de voltaje.
- Para los ensayos cerámicos, las muestras deben ser calentadas progresivamente mediante hornos electrónicos para evitar que el cambio de fase con los gradientes de temperatura alteren el producto final.

## REFERENCIAS

**ARQHYS.** *Propiedades de la arcilla* [en línea]. Panamá: Arqhys Decoración, 2016. [Consulta: 14 de julio de 2018]. Disponible en: <https://www.arqhys.com/arcilla-propiedades.html>.

**BABY, P.; et al.** *La cuenca oriente: geología y petróleo* [en línea]. Quito: Editores Científicos, 2004. [Consulta: 10 de marzo de 2019]. Disponible en: [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/doc34-08/010036207.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/doc34-08/010036207.pdf)

**BERNAL, I.; et al.** *Análisis próximo de arcillas para cerámica* [en línea]. Bogotá: Rev. Acad. Col., 2003. [Consulta: 09 de abril de 2019]. Disponible en: [https://www.accefyn.com/revista/Vol\\_27/105/7-ANALISIS.pdf](https://www.accefyn.com/revista/Vol_27/105/7-ANALISIS.pdf)

**BORSELLI, L.** *Geotecnia I* [En línea]. San Luis Potosí – México: Lorenzo Borselli, 2017. [Consulta: 10 de abril de 2019]. Disponible en: <https://www.lorenzo-borselli.eu/>.

**CALERO, V.; et al.** Determinación del comportamiento y retracción de suelos que tienen plasticidad, en algunos puntos de la carretera longitudinal del norte, en el tramo comprendido entre Metapan (Dpto. Santa Ana) y Sensuntepeque (dpto. Cabañas) [en línea]. (Trabajo de graduación) (Pregrado) Universidad de El Salvador, San Salvador, Salvador. 2016 p. 24. [Consulta: 30 de abril de 2019]. Disponible en: <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/9861/>

**CARBOSYSTEM.** *Alúmina – Óxido de Aluminio* [en línea]. Madrid-España: Carbones y Sistemas, S.L.L., 2018. [Consulta: 18 de junio de 2019]. Disponible en: <https://carbosystem.com/alumina-ceramica-oxido-aluminio/>.

**CRESPO, C.** *Mecánica de suelos y cimentaciones* [en línea]. México: Limusa, 2004. [Consulta: 10 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://stehven.files.wordpress.com/2015/06/mecanica-desuelos-y-cimentaciones-crespo-villalaz.pdf>

**DÍAZ, L. & 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. pp. 459-469 [Consulta: 10 de junio de 2019]. ISSN 0366-3175. Disponible en: <https://digital.csic.es/handle/10261/4676>

**BARTOLOMÉ, J.** “El Caolín: Composición, Estructura, Génesis y Aplicaciones”. Boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio [en línea], 1997, p. 14 [Consulta: 10 de junio de 2019]. ISSN 0366-3175. Disponible en: <http://boletines.secv.es/upload/111222333.199736007.pdf>

**FLORES, J.; et al.** *Purificación del caolín por electrólisis* [en línea]. México: Academia, 2009. [Consulta: 14 de julio de 2019]. Disponible en: [https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icbi/LI\\_RecCorr/maria\\_veloz/IM8E.pdf](https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icbi/LI_RecCorr/maria_veloz/IM8E.pdf)

**GARCÍA, A.** “Origen y composición de las arcillas cerámicas”. Boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio [en línea], 1985, pp. 386-396 [Consulta: 10 de junio de 2019]. ISSN 0366-3175. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8063221>

**GARCÍA, A.; et al.** *Determinación de la granulometría de un árido* [en línea]. Alicante – España: RUA, 2009. [Consulta: 10 de julio de 2019]. Disponible en: [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/10998/3/Pr%C3%A1ctica%20N%C2%BA%203%20Granulometria%20I\\_.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/10998/3/Pr%C3%A1ctica%20N%C2%BA%203%20Granulometria%20I_.pdf)

**JUÁREZ, E. & RICO, A.** *Fundamentos de la mecánica de suelos* [en línea]. México: LIMUSA, 2005. [Consulta: 20 de julio de 2019]. Disponible en: <https://veteranos1927.files.wordpress.com/2014/05/mecanica-de-suelos-tomo-1-juarez-badillo.pdf>

**GUILLEM, C. & GUILLEM, V.** “Materias primas cerámicas. Yacimientos de arcillas y caolines”. Boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio [en línea], 1988, p. 6 [Consulta: 10 de junio de 2019]. ISSN 0366-3175. Disponible en: <http://boletines.secv.es/upload/198827201.pdf>

**ORTIZ CEVALLOS, Fabian; & MENA, Fausto** *Evaluación de reservas mina Ximena II*. Cuenca - Ecuador: s.n, 2019. p. s.n.

**PALADINES, Agustín.** *Zonificación geotectónica y metalogenia del Ecuador*. Quito - Ecuador: Mañana Editores, 1989. pp. 19-34

**SANTA SUSANA DE CHIVIAZA.** *PDOT Santa Susana de Chiviaza* [En línea]. Limón Indanza-Ecuador: GAD parroquial SSCH, 2015. [Consulta: 10 de junio de 2019]. Disponible en: <https://app.sni.gob.ec/sni->

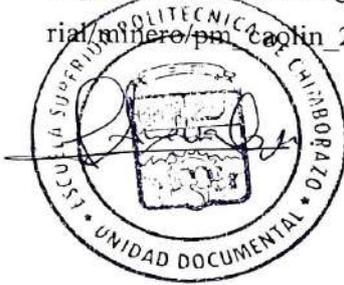
link/sni/PORTAL\_SNI/data\_sigad\_plus/sigadplusordenanzapart/1460016880001\_Resolucion%20del%20SPC-Santa%20Susana%20de%20Chiviaza%2011-2-2015\_31-10-2015\_02-59-59.pdf

**PUIG, C.** Als Lab. Ecuador. Quito : s.n., 2018.

**RAMÍREZ, H.** *Pastas Cerámicas de Alfarería* [En línea]. España: Scribd, 2019 [Consulta: 10 de junio de 2019]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/396626758/Pastas-Ceramicas-de-Alfareria>.

**SÁNCHEZ, L. & GARCÍA, J.** *Feldespatos: mineralogía, yacimientos y aplicaciones* [En línea]. España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1992. [Consulta: 20 de julio de 2019]. Disponible en: <https://digital.csic.es/handle/10261/89974>

**SE,** *Perfil de mercado del Caolín* [En línea]. Mexico: Dirección general de desarrollo minero, 2014. [Consulta: 25 de agosto de 2019]. Disponible en: [https://www.economia.gob.mx/files/comunidad\\_negocios/industria\\_comercio/informacionSectorial/minero/pm\\_caolin\\_2014.pdf](https://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/minero/pm_caolin_2014.pdf)



## **GLOSARIO**

**A** Amperios

**Ab** Albita

**Al** Aluminio

**Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.2SiO<sub>2</sub>** Caolín deshidratado

**Al<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>** Alúmina

**An** Anortita

**Ba** Bario

**BaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>** Celsiana

**C** Arcilla

**Ca** Calcio

**Cc** Coeficiente de curvatura **cc**

Centímetros cúbicos

**CH** Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad o Arcillas de alta plasticida

**CL** Arcilla inorgánica de baja compresibilidad

**Cm** centímetros **cm<sup>2</sup>** Centímetros cuadrados **cps**

Centipoise

**Cu** Coeficiente de uniformidad

**e** Euler

**e1** Primera prueba de electrólisis

**e2** Segunda prueba de electrólisis

**e3** tercera prueba de electrólisis

**FAO** Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación.

**Fe** Hierro

**Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** Hematita

**FeS<sub>2</sub>** Pirita

**G** Grava

**g** Gramos

**GADMS** Gobierno Autónomo Descentralizado de Morona Santiago

**GC** Grava arcillosa

**GM** Grava limosa

**GP** Pobrementa o mal graduado

**GW** Bien graduado

**H** Alta plasticidad o Alta compresibilidad (Hight compresibility)

**h** Horas

**HFe<sub>3</sub>O<sub>2</sub>** Goethita

**INEN** Instituto Ecuatoriano de Normalización  
**IP** Índice de plasticidad  
**ISO** Organización Internacional de Normalización  
**K** Potasio **k** Coeficiente de absorción  
**KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>** Ortoclasa  
**KAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>** Anortita  
**K<sub>2</sub>O** Óxido de Potasio  
**Kg** Kilogramo  
**L** Baja plasticidad o Baja compresibilidad  
**LA** Litología a  
**LABCst** litologías abc sin tamizar  
**LABCt** litologías abc tamizadas  
**LB** Litología b  
**Lc** Límite de contracción  
**LC** Litología c  
**LL** Límite líquido  
**LP** Límite plástico  
**M** Limo  
**Mg** Magnesio  
**MH** Limos orgánicos de alta compresibilidad  
**MHz** Mega Hertz **min** Minutos  
**ML** Limo inorgánico de baja compresibilidad  
**mm** Milímetros **Mn** Manganeseo  
**msnm** Metros sobre el nivel del mar  
**Na** Sodio  
**NaAlO<sub>3</sub>SiO<sub>3</sub>** Albita  
**Na<sub>2</sub>O** Óxido de Sodio  
**N.P** No plástico  
**O** Limoso o arcilla orgánica  
**OH** Arcillas orgánicas de alta compresibilidad  
**OL** Limo orgánico de baja compresibilidad  
**Or** Ortoclasa  
**P** Mal graduado  
**Ph** Peso húmedo  
**pH** Potencial Hidrógeno  
**Ps** Peso seco

**Pt** Turba y altamente orgánico  
**Pw** Peso agua  
**rpm** Revoluciones por minuto  
**S** Arena  
**s** Segundos  
**SC** Grava arcillosa  
**SM** Grava limosa  
**SP** Pobremente o mal graduado  
**Si** Silicio  
**SiO<sub>2</sub>** Cuarzo  
**st** Muestra sin tamizar  
**SUCS** Sistema Unificado de Clasificación de Suelos  
**SW** Bien Graduado  
**Ti** Titanio  
**µm** Micrómetros  
**V** Voltios  
**W** Contenido de humedad.  
**Ww** Peso agua.  
**Ws** Peso suelo seco.  
**W** Bien graduado  
**2SiO<sub>2</sub>. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. 2H<sub>2</sub>O** Caolinita  
**%Clc** Porcentaje de contracción lineal muestra cocida  
**%Cl<sub>s</sub>** Porcentaje de contracción lineal muestra seca  
**%Cl<sub>t</sub>** Porcentaje de contracción lineal total  
**%FinalFe** Porcentaje Final del Hierro.  
**%InicialFe** Porcentaje Inicial del Hierro.  
**%RedFe** Porcentaje de Reducción del Hierro

ANEXOS

Anexo A. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos ASTM d 2487 (Borselli, 2017)

Criterios para la asignación de símbolos de grupo y nombre de grupo con el uso de ensayos de laboratorio		Clasificación de suelos				
		Símbolo de grupo	Nombre del grupo			
<b>GRUESOS</b> Suelos de partículas gruesas mas del 50% es retenido en la malla No. 200	<b>Gravas</b> Mas del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla No. 4	Gravas limpias Menos del 5% pasa la malla No. 200	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$	GW	Grava bien graduada	
			$Cu < 4$ y $1 > Cc > 3$	GP	Grava mal graduada	
		Gravas con finos Mas del 12% pasa la malla No. 200	$IP < 4$ o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM	Grava limosa	
			$IP > 7$ o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC	Grava arcillosa	
	<b>Arenas</b> El 50% o mas de la fracción gruesa pasa la malla No. 4	Arenas limpias Menos del 5% pasa la malla No. 200		$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	SW	Arena bien graduada
				$Cu < 6$ y $1 > Cc > 3$	SP	Arena mal graduada
		Arenas con finos Mas del 12% pasa la malla No. 200		$IP < 4$ o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM	Arena limosa
				$IP > 7$ o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC	Arena arcillosa
	<b>Suelos de partículas gruesas mas del 50% es retenido en la malla No. 200</b>	Arenas limpias y con finos Entre el 5 y 12% pasa malla No.200		Cumple los criterios para GW y GM	GW-GM	Grava bien graduada con limo
				Cumple los criterios para GW y GC	GW-GC	Grava bien graduada con arcilla
				Cumple los criterios para GP y GM	GP-GM	Grava mal graduada con limo
				Cumple los criterios para GP y GC	GP-GC	Grava mal graduada con arcilla
	<b>FINOS</b> Suelos de partículas finas El 50% o mas pasa la malla No. 200	Limos y arcillas Limite Liquido menor que 50	Inorgánicos	$IP > 7$ y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CL	Arcilla de baja plasticidad
				$IP < 4$ y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	ML	Limo de baja plasticidad
		Orgánicos	Limite liquido - secado al horno	$< 0.75$	OL	Arcilla orgánica
			limite liquido - no secado			Limo orgánico
Limos y arcillas Limite Liquido mayor que 50		Inorgánicos	$IP > 7$ y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CH	Arcilla de alta plasticidad	
			$IP < 4$ y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	MH	Limo de alta plasticidad	
		Orgánicos	Limite liquido - secado al horno	$< 0.75$	OH	Arcilla orgánica
			limite liquido - no secado			Limo orgánica
<b>Suelos altamente orgánicos</b>		Principalmente materia orgánica de color oscuro			PT	Turba

**Anexo B.** Análisis Químico de muestras sin tamizar y muestras tamizadas realizados por Als Labs. Ecuador (Puig & Asociados, 2018)

<b>ANÁLISIS QUÍMICO DE MUESTRAS SIN TAMIZAR</b>																
	WEI-21	ME-XRF26	ME-XRF26	ME-XRF26	ME-XRF26	ME-XRF26	ME-XRF26	ME-XRF26	ME-XRF26	ME-XRF26	ME-XRF26	ME-XRF26	ME-XRF26	ME-XRF26	ME-XRF26	ME-XRF26
MUESTRA	Recvd Wt.	Al2O3	BaO	CaO	Cr2O3	Fe2O3	K2O	MgO	MnO	Na2O	P2O5	SO3	SiO2	SrO	TiO2	Total
DESCRIPCIÓN	kg	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
la	0,44	34,86	0,01	<0.01	0,03	2,64	0,25	0,26	<0.01	0,04	0,02	0,02	46,71	<0.01	1,53	100,25
lb	0,88	35,23	0,02	0,01	0,01	1,43	0,3	0,25	0,01	0,05	0,04	0,02	48,26	0,01	1,16	100,5
lc	0,61	29,69	0,01	0,01	0,01	1,74	0,33	0,23	0,01	0,04	0,02	0,01	54,82	<0.01	1,27	99,5
<b>labct</b>	<b>1,93</b>	<b>33,26</b>	<b>1,33</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>1,94</b>	<b>0,29</b>	<b>0,25</b>	<b>0,01</b>	<b>0,04</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>	<b>49,93</b>	<b>&lt;0.01</b>	<b>1,32</b>	<b>100</b>
<b>ANÁLISIS QUÍMICO DE MUESTRAS TAMIZADAS</b>																
lat	0,18	36,16	0,02	0,01	0,01	2,63	0,35	0,3	<0.01	0,05	0,02	0,02	45,89	<0.01	1,51	100,95
lbt	0,67	29,48	0,02	0,01	0,01	1,64	0,4	0,22	0,01	0,06	0,03	0,01	55,01	<0.01	1,29	100,5
lct	0,15	31,75	0,02	0,02	<0.01	1,66	0,45	0,24	0,01	0,07	0,03	0,01	51,68	<0.01	1,17	100,25
<b>labct</b>	<b>1</b>	<b>32,5</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>1,98</b>	<b>0,4</b>	<b>0,25</b>	<b>0,01</b>	<b>0,05</b>	<b>0,03</b>	<b>0,01</b>	<b>50,86</b>	<b>&lt;0.01</b>	<b>1,32</b>	<b>100</b>

**Anexo C.** Análisis químico de muestras tratadas realizados por Als Labs. Ecuador (*Puig & Asociados, 2018*)

ANÁLISIS QUÍMICO DE MUESTRAS TRATADAS																
	WEI-21	ME-XRF26														
MUESTRA	Recvd Wt.	Al2O3	BaO	CaO	Cr2O3	Fe2O3	K2O	MgO	MnO	Na2O	P2O5	SO3	SiO2	SrO	TiO2	Total
DESCRIPCIÓN	kg	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
<b>labce1</b>	0,1	33,49	0,02	0,01	0,01	1,87	0,37	0,26	<0.01	0,05	0,03	0,02	49,09	<0.01	1,26	100,65
<b>labce2</b>	0,23	33,51	0,01	0,02	0,01	1,89	0,37	0,26	<0.01	0,05	0,03	0,28	48,61	<0.01	1,25	99,76
<b>labce3</b>	0,16	33,04	0,02	0,02	0,01	1,88	0,37	0,26	<0.01	0,05	0,03	0,49	48,62	<0.01	1,26	99,79

**Anexo D.** Comparación entre análisis químico de muestras sin tamizar y muestras tamizadas realizados por (Puig & Asociados, 2018)

COMPARACIÓN ENTRE ANÁLISIS QUÍMICO DE MUESTRAS SIN TAMIZAR (labct) Y MUESTRAS TAMIZADAS (labct)																
	WEI-21	ME-XRF26														
MUESTRA	Recvd Wt.	Al2O3	BaO	CaO	Cr2O3	Fe2O3	K2O	MgO	MnO	Na2O	P2O5	SO3	SiO2	SrO	TiO2	Total
DESCRIPCIÓN	kg	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
labct	1,93	33,26	1,33	0,01	0,02	1,94	0,29	0,25	0,01	0,04	0,03	0,02	49,93	<0,01	1,32	100
labct	1	32,5	0,02	0,01	0,01	1,98	0,4	0,25	0,01	0,05	0,03	0,01	50,86	<0,01	1,32	100

Elaborado por: Xavier Calle Palomeque



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO SEDE MORONA SANTIAGO**



**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL  
APRENDIZAJE**

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS**  
**REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

**Fecha de entrega:** 11/ 01 / 2024

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Xavier Israel Calle Palomeque
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Recursos Naturales
<b>Carrera:</b> Geología y Minas
<b>Título a optar:</b> Ingeniero en Geología y Minas
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b>  Ing. Fernanda Arévalo M.

