



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y MINAS

PROSPECCIÓN GEOLÓGICA Y CARACTERIZACIÓN DE
ARCILLAS DE LA ZONA DE ARAPICOS PARA LA
FABRICACIÓN DE LADRILLOS ARTESANALES

TRABAJO DE TITULACIÓN
PROYECTO TÉCNICO PARA TITULACIÓN DE GRADO

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL TÍTULO DE INGENIERO EN GEOLOGÍA Y MINAS

WISUM YANKUAM ROBERT CHRISTIAN

MACAS- ECUADOR

2018

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

*Yo, **Wisum Yankuam Robert Christian**, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos y documentos que proviene de otra fuente están debidamente citados y referenciados.*

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

Macas, 9 de febrero del 2018.



..... Wisum Yankuam Robert Christian

Wisum Yankuam Robert Christian

C.I. 190060102-0

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE: que el trabajo de investigación técnica titulado **“PROSPECCIÓN GEOLÓGICA Y CARACTERIZACIÓN DE ARCILLAS DE LA ZONA DE ARAPICOS PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS ARTESANALES”** de responsabilidad del Sr. Egresado Wisum Yankuam Robert Christian, ha sido prolijamente revisado, quedando autorizada su presentación.

En la ciudad de Macas, a los 9 días del mes de febrero del 2018.



.....
Ing. Edgar Ramiro Pino Loza
DIRECTOR



.....
Ing. Iván Arturo Pino Loza
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

A mis padres Antonio Wisum y Estela Yankuam y hermanos, Nelly Mónica, Luis Miguel, Juan Pablo, Amarú Alejandro, José Luis, Antonio Luis y Claudia Silvana. Por darme el apoyo constante durante el estudio Universitario.

A mi esposa Diana Sofía Acosta e hija Esther Janaí Wisum Acosta por permitirme compartir momentos de felicidad y tristeza a su lado.

A mis Abuelitos Pablo Yankuam y Magdalena Tuits por enseñarme a valorar y no olvidar mis costumbres ancestrales durante mi estudio universitario.

AGRADECIMIENTO

A mis padres Antonio Wisum y Estela Yankuam, por su apoyo incondicional que me supieron brindar a lo largo de mi carrera universitaria, por permitirme cumplir este sueño y por estar siempre en los momentos más difíciles e importantes de mi vida.

Al director de mi trabajo de titulación, Ing. Edgar Ramiro Pino Loza y asesor Ing. Iván Arturo Pino Loza por la ayuda prestada durante el trabajo de titulación.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por brindarme y darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional con valores y principios para proveer un futuro mejor a mi familia y la sociedad. .

Doy Gracias al Gobierno Provincial de Morona Santiago por facilitarme y guiarme con los ensayos de laboratorio.

RESUMEN

Esta investigación plantea: Realizar la prospección geológica y caracterización de arcillas de la zona de Arapicos para la fabricación de ladrillos artesanales; con el fin de encontrar arcillas con características óptimas que permita mejorar la calidad de ladrillos, y así de reducir porcentajes de pérdida por fracturamiento y formular un proceso de fabricación basadas en una mezcla de 4 materias primas de la zona. Para lograr este objetivo se recolectó 6 muestras de arcillas, basados en los ensayos físicos y químicos se estableció el porcentaje idóneo por el contenido de sílice, hierro, aluminio y magnesio. Con este fin se preparó 5 mezclas de 6000gr que representa el 100% de la materia prima a fabricar, se correlacionó y se caracterizó los ladrillos una vez cocidos a temperatura del horno artesanal, adicionalmente se caracterizaron 3 ladrillos fabricados por el artesano y los resultados se cotejaron con los obtenidos en la investigación, con la mezcla de: 60% de arcilla M03 de la formación Tena, 20% de arcilla M04 residual de la formación Mera, 15%, sílice y 5% aserrín, los datos obtenidos revelan que la mezcla es óptima logrando una resistencia a compresión simple de 12.14Mpa, clasificando al ladrillo artesanal según la norma NEC 297 como de tipo C, con la mezcla de 4 materias primas se mejoraron un 96% en la calidad. Esta mejora se debe al enriquecimiento de sus minerales y su índice de plasticidad de las arcillas que evoluciona y sufre cambios en su estructura mineralógica cuando es sometida a altas temperaturas y que contribuye la formación de su matriz cementada más resistente que es propia de las arcillas utilizadas en la investigación.

Palabras clave: PROSPECCIÓN GEOLÓGICA - ARCILLAS - LADRILLOS ARTESANALES.

Por: Robert Wisum.

REVISADO
20 Feb 2019
J. R. Wisum

ABSTRACT

This research proposes: Performs the geological prospecting and characterization of clays from the area of Arapicos for the manufacture of handmade bricks; in order to find clays with optimal characteristics that allow to improve the quality of bricks, and thus reduce percentages of loss by fracturing and formulate a manufacturing process based on one in a mixture of 4 raw materials of the area. To achieve this objective, 6 samples of clays were collected, in the physical and chemical tests, the ideal percentage was established for the content of silica, iron, aluminum, and magnesium. To this end, 5 mixtures of 6000gr were prepared, representing 100% of the raw material to be manufactured, the bricks were correlated and characterized once cooked at the temperature of the artisanal oven. Additionally, 3 bricks manufactured by the artisan were characterized and the results were compared with those obtained in the investigation, with the mixture of 60% of clay M03 of the Tena formation, 20% of residual clay M04 of the Mera formation, 15% silica and 5% of sawdust, the data obtained reveal that the mix is optimally achieving a simple compressive strength of 12.14Mpa, classifying the artisan brick according to the NEC 297 standard as type C, with the mixture of 4 raw materials improved 96% in quality. This improvement is due to the enrichment of its minerals and its index of the plasticity of the evolving clays and undergoes changes in their mineralogical structure when subjected to high elevated temperatures and which contribute to the formation of its more resistant cemented matrix, which is typical of clays used in the investigation.

Keywords: GEOLOGICAL PROSPECTION - CLAYS - ARTISAN BRICKS



CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	II
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
CONTENIDO	VIII
INDICE DE TABLAS	XII
INDICE DE ILUSTRACIONES	XIII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	2
1 MARCO REFERENCIAL	2
1.1 Antecedentes	2
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Justificación	2
1.4 Objetivos	3
1.4.1 Objetivo general	3
1.4.2 Objetivos específicos	3
1.5 Planteamiento de la hipótesis	3
1.6 Determinación de Variables	3
1.7 Operación Metodológica	4
1.8 Generalidades	5
1.8.1 Ubicación Geográfica del Área de Estudio	5
1.8.2 Accesibilidad	6
1.8.3 Clima y temperatura	6
1.8.4 Flora y Fauna	7
1.8.5 Hidrografía	7
CAPÍTULO II	8
2 MARCO TEÓRICO	8
2.1 Geología Regional	8
2.1.1 Formación Napo Cretácico: (Albiano Inferior a Senoniano, Kh)	8
2.1.2 Formación Chapiza (Jurásico Medio – Cretácico inferior, Jch)	9
2.1.3 Grupo Zamora (Graniodiorita, GGd)	9
2.1.4 Formación Hollín (Cretáceo Temprano: Albiano-Aptiano, Kh)	9

2.1.5 Formación Tena (Cretácico Superior, KPCTH).....	9
2.1.6 Formación Mera (Cuaternario, PLQM).....	9
2.1.7 Unidad Upano (Jurásica a Cretácica inferior, Jsu).	10
2.1.8 Depósitos aluviales (Cuaternario, QA).....	10
2.2 Geología local de la Zona de Estudio.....	11
2.2.1 Formación Tena (Cretácico Superior, KPCTH).....	11
2.2.2 Formación Mera (Cuaternario, PLQM).....	11
2.2.3 Depósitos aluviales (cuaternario, QA).....	12
2.3 Modelo Geológico de la zona de estudio.....	12
2.3.1 Columna Estratigráfica de la zona de estudio.....	13
2.3.2 Columna Estratigráfica de la Formación Tena (Cretácico Superior, KPCTH).....	13
2.3.3 Columna estratigráfica de la Formación Mera (Cuaternario, PLQM).....	14
2.4 Sedimentología.....	15
2.4.1 Unidad arcillolita de la formación Tena.....	15
2.4.2 Unidad Volcanoclastos de la formación Mera.....	15
2.5 Tectónica.....	16
2.5.1 La Zona Subandina al Oeste.....	16
2.5.2 El Levantamiento Napo.....	16
2.5.3 La depresión Pastaza.....	16
2.5.4 Levantamiento Cutucú.....	17
2.5.5 La Cordillera del cóndor.....	17
2.5.6 Cordillera Oriental.....	17
2.5.7 El frente de Cabalgamiento Subandino O Falla Cutucú-Galeras.....	17
2.5.8 La Cuenca del Antepais o Cuenca de Trasarco al Este.....	19
2.6 Geomorfología Regional.....	20
2.6.1 Geomorfología de la zona de estudio.....	20
2.7 La arcilla.....	22
2.7.1 Tipos de arcillas y usos industriales.....	22
2.7.2 Minerales de la arcilla.....	32
2.7.3 Propiedades fisicomecánicas de las arcillas.....	34
2.8 Clasificación de las arcillas según el sistema AASHTO y USCS.....	37
2.8.1 Clasificación de las arcillas según el sistema AASHTO.....	37
2.8.2 Clasificación de las arcillas según el sistema USCS.....	37
2.9 Espectro Electromagnético y Rayos X.....	39
2.9.1 Espectroscopia de Fluorescencia de Rayos X.....	39
2.9.2 Difracción de Rayos X (XRD o DRX).....	40
2.10 El Ladrillo.....	40

2.10.1 Geometría de un Ladrillo	40
2.10.2 Clasificación de los ladrillos	41
CAPÍTULO III	43
3 MÉTODOS Y TÉCNICAS	43
3.1 Metodología.....	43
3.1.1 Primera fase	43
3.1.2 Segunda fase	43
3.1.3 Tercera fase.....	44
3.2 Trabajo de Campo	44
3.2.1 Muestreo aleatorio sistemático.....	44
3.2.2 Malla de Prospección de la zona de estudio	44
3.2.3 Selección del área de Muestreo.....	45
3.2.4 Etiqueta de la muestra.	45
3.2.5 Recolección de muestras	46
3.3 Ensayos de Laboratorio	48
3.3.1 Ensayos Químicos	48
3.3.2 Ensayos Físicos	50
3.4 Diseño Experimental	62
3.4.1 Importancia de la Investigación	62
3.4.2 Selección de la materia prima	62
3.4.3 Preparación de pastas	63
3.4.4 Dosificación de la materia prima	63
3.4.5 Mezclado	65
3.4.6 Amasado	65
3.4.7 Moldeado	66
3.4.8 Secado	66
3.4.9 Cocción.....	67
3.4.10 Variación de longitud del ladrillo artesanal	67
3.4.11 Diagrama de flujo de proceso de fábrica de ladrillo artesanal mejorado	68
3.4.12 Descripción del diagrama de flujo de proceso	70
CAPÍTULO IV	72
4 ANÁLISIS DE RESULTADOS	72
4.1 Resultados del Ensayo Químico	72
4.1.1 Ensayo de Fluorescencia de Rayos X (Elementos)	72
4.1.2 Ensayo de Fluorescencia de Rayos X (Óxidos)	73
4.1.3 Ensayo de Difracción de rayos X (Minerales)	75
4.2 Resultados del Ensayo Físico	77

4.2.1 Ensayo Granulométrico Mecánico (Norma AASHTO T88-00 ASTM D 422).	77
4.2.2 Ensayo de Humedad Natural (Norma AASHTO T 265 ASTM D 2216).	77
4.2.3 Ensayo de Límites Líquido y Plástico (Norma AASHTO T 89, T90 ASTM D 4318).....	77
4.2.4 Ensayo de Absorción de la materia prima	81
4.2.5 Ensayo de Absorción de ladrillo macizo	82
4.2.6 Resultado del ensayo de esfuerzo a compresión simple	82
4.3 Caracterización de las arcillas.....	83
4.3.1 Caracterización de las arcillas según el diagrama de Casa Grande	83
4.3.2 Caracterización física de las arcillas según SUCS y AASTHO	84
4.3.3 Caracterización química de las arcillas de arapicos	85
4.3.4 Caracterización mecánica del ladrillo artesanal de arapicos.	86
4.4 Propuesta del plan de proceso de fábrica de ladrillo Semi-Industrial	86
4.5 Diagrama de flujo de proceso de fábrica Semi-Industrial de ladrillos	87
CAPÍTULO V	88
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	88
5.1 Conclusiones.....	88
5.2 Recomendaciones.....	90
5.3 Bibliografía	91
ANEXOS	94
Ensayos Químicos(A)	94
Ensayos Físicos (B)	98
Mapas de la zona de estudio (C).....	109

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Operación Metodológica de Variables	4
Tabla 1-2 Ubicación de la zona de estudio en Coordenadas UTM WGS 84.....	5
Tabla 3-1 Etiqueta de la Muestra	45
Tabla 3-2 Ensayo de fluorescencia de rayos X.....	49
Tabla 3-3 Ensayo de difracción de rayos X.....	50
Tabla 3-4 Ensayo de esfuerzo a compresión simple	60
Tabla 3-5 Ensayo de absorción del ladrillo macizo	62
Tabla 3-6 Contenido de elemento químico en porcentaje de las muestras utilizadas	63
Tabla 3-7 Dosificación de la materia prima que conforman la pasta cerámica	64
Tabla 3-8 Variación de longitud del ladrillo artesanal de arapicos	67
Tabla 4-1 Resumen de los resultados de ensayos Granulométricos y límites	78
Tabla 4-2 Resultado de la clasificación de suelos según SUCS y AASTHO	84
Tabla 4-3 Caracterización mineralógica de arcillas de arapicos	85
Tabla 4-4 Clasificación de ladrillos de arapicos según normas NEC	86

INDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1-1 Ubicación Geográfica de la zona de estudio	6
Figura 1-2 Mapa hidrográfico de la zona de estudio.....	7
Figura 2-1 Mapa Geológico regional	10
Figura 2-2 Modelo Geológico del depósito de arcillas de Arapicos	12
Figura 2-3 Columna estratigráfica de la formación Tena.....	13
Figura 2-4 Columna estratigráfica de la Formación Mera	14
Figura 2-5 División Tectónica del Oriente Ecuatoriano	18
Figura 2-6 Mapa Geomorfológico de la zona de estudio	21
Figura 2-7 Geomorfología de la zona de estudio vista en 3D	22
Figura 2-8 Valores mínimos para la resistencia de las unidades f'_{cu}	36
Figura 2-9 Partes de un ladrillo macizo compuesto por (Aristas y Caras)	41
Figura 3-1 Mapa de malla de Muestreo	45
Figura 3-2 Recolección de la muestra 1 y 2 Suelo residual de la Formación Mera.....	46
Figura 3-3 Recolección de la muestra 2 y 3 Arcilla roja de la Formación Tena	46
Figura 3-4 Recolección de la muestra 4 Arcilla limosa de la Formación Mera.....	47
Figura 3-5 Recolección de la muestra 5 y 6 Arcilla roja y negra de la Formación Tena	47
Figura 3-6 Procesos para determinar la granulometría de la arcilla.....	51
Figura 3-7 Proceso para determinar la humedad natural de la arcilla	52
Figura 3-8 Proceso de desarrollo de los límites Líquidos y Plásticos de la arcilla	53
Figura 3-9 Proceso de desarrollo de la capacidad de absorción de la arcilla roja.....	57
Figura 3-10 Proceso de desarrollo del esfuerzo a compresión simple del ladrillo.....	59
Figura 3-11 Proceso de mezcla de las muestra M03, M04, M06 y aserrín	61
Figura 3-12 Proceso de selección de las muestra M03, M04, M06 y aserrín.....	64
Figura 3-13 Proceso de mezcla de las muestra M03, M04, M06 y aserrín	65
Figura 3-14 Proceso de amasado con la dosificación correcta	65
Figura 3-15 Proceso de moldeado con la dosificación correcta	66
Figura 3-16 Proceso de moldeado con la dosificación correcta	66
Figura 3-17 Control de medición de longitud de ladrillo antes de cosido y cosido	68
Figura 3-18 Diagrama de flujo de proceso de fabricación artesanal mejorado	69
Figura 4-1 Resultados de Fluorescencia de rayos X muestra 1 Caolín	72
Figura 4-2 Resultados de Fluorescencia de rayos X muestra 1 Arcilla.....	73
Figura 4-3 Resultados de Fluorescencia de rayos X muestra 1 Caolín	74
Figura 4-4 Resultados de Fluorescencia de rayos X muestra 1 Arcilla.....	74
Figura 4-5 Resumen de los resultados del análisis de Difracción de rayos X	75

Figura 4-6 Difractograma rayos X muestra 1 Arcilla	76
Figura 4-7 Grafica de Límite Líquido de la muestra M01	78
Figura 4-8 Grafica de Límite Líquido de la muestra M02	79
Figura 4-9 Grafica de Límite Líquido de la muestra M03	79
Figura 4-10 Grafica de Límite Líquido de la muestra M04 Roja	80
Figura 4-11 Grafica de Límite Líquido de la muestra M04 Crema	80
Figura 4-12 Grafica de Límite Líquido de la muestra M05	81
Figura 4-13 Resumen de ensayo de Absorción de las materias primas	81
Figura 4-14 Resultados de absorción del ladrillo macizo	82
Figura 4-15 Resultados de esfuerzo de compresión simple de ladrillo macizo	82
Figura 4-16 Diagrama de casa grande aplicados a los ensayos de la muestras	83
Figura 4-17 Diagrama de flujo de proceso de fábrica semi-industrial de ladrillo.....	87

INTRODUCCIÓN

El presente estudio es realizado por la necesidad de contar con información técnica detallada de las arcillas en la zona de Arapicos, este objetivo se alcanzó por medio de prospección geológica y caracterización, fisicoquímica y fisicomecánica de las arcillas. La variación de las propiedades y características, físicas, químicas y mecánicas de las arcillas, contribuyen a la generación de dificultades en el proceso de fabricación de ladrillos. Una vez determinado las propiedades y características de las arcillas se pueden mejorar la calidad del producto. Lo que nos permite maximizar la rentabilidad económica. La determinación de la composición química y mineralógica de las arcillas nos permite predecir la aplicación y las propiedades de los materiales cerámicos a obtener ya que es una de las características más empleadas para definir la mezcla utilizada para la preparación de pastas cerámicas en la fabricación de ladrillos y mamposterías pues influye directamente en las propiedades mecánicas y físicas de los productos cerámicos obtenidos. A fin de contar con la información técnica y científica de las arcillas, se realizó prospección geológica para localizar anomalías minerales, donde se efectuó calicatas, descripción litológica del afloramiento y recolectar muestras, que fueron analizadas en laboratorio para caracterizar y clasificarlas de acuerdo a sus propiedades y determinar su uso óptimo en la fábrica de los ladrillo, mientras que los datos estructurales tomados en el campo sirvieron para realizar el modelo geológico del yacimiento.

CAPÍTULO I

1 MARCO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes

La falta de estudio y asesoramiento técnico profesional del uso de la arcilla en el proceso de preparación de la pasta cerámica para la fabricación de ladrillos, hace que no tengamos un producto de calidad y presente deficiencia en la estructura del bloque presentando fisuras en su contorno exterior e interior por estas condiciones existen un porcentaje considerable de pérdida del producto final elaborado.

Este problema se logra superar realizando el estudio técnico, que nos proporciona la información necesaria para optimizar la preparación de la pasta en los procesos de fabricación. Reduciendo de esta manera el porcentaje de pérdidas por fracturamiento.

1.2 Planteamiento del problema

Un alto porcentaje de los ladrillos elaborados artesanalmente presentan fisuras en su contorno externo e interno, razón por la cual presentan baja Resistencia a esfuerzos mecánicos a la que son sometidos en la construcción de infra estructuras. Esto se debe a la falta de estudios y análisis técnico de la arcilla utilizada en la fabricación, creando la necesidad de contar con información técnica que permita conocer su mejor desempeño y trabajabilidad en el momento de la elaboración de la pasta cerámica, de esta manera minimizamos las pérdidas por fisuramiento de los bloque fabricados.

1.3 Justificación

Con la finalidad de reducir las pérdidas en el proceso de fabricación de ladrillos artesanales es necesario conocer las propiedades Físicas, Químicas y Mecánicas de las arcillas del yacimiento que nos probé de materia prima a la fábrica artesanal, por esta razón se propone realizar el trabajo de titulación denominado **“PROSPECCIÓN GEOLÓGICA Y CARACTERIZACIÓN DE ARCILLAS DE LA ZONA DE ARAPICOS PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS ARTESANALES”**.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general.

Realizar la prospección geológica y caracterización de arcillas de la zona de arapicos para la fabricación de ladrillos artesanales.

1.4.2 Objetivos específicos.

- a) Desarrollar la prospección geológica de la zona de estudio.
- b) Realizar una caracterización fisicoquímica y fisicomecánicas de las arcillas a partir de ensayos de difracción de Rayos X, Límite de Atterberg, Absorción y Compresión Simple.
- c) Fabricar ladrillos artesanales utilizando la materia prima de la zona de estudio.

1.5 Planteamiento de la hipótesis.

La prospección geológica y caracterización, fisicoquímica y fisicomecánica de las propiedades que componen las arcillas de la zona de estudio, permitirá mejorar su resistencia a compresión simple y definir el método adecuado de preparación de la pastas cerámica para la fabricación de ladrillo artesanal.

1.6 Determinación de Variables

- a) Independiente

Prospección Geológica y Caracterización.

- b) Dependiente

Fabricación de ladrillos artesanales.

1.7 Operación Metodológica

Tabla 1-1 Operación Metodológica de Variables

Variable Independiente	Concepto	Indicadores	Dimensiones	Instrumentos
Prospección Geológica y Caracterización.	<p>La Prospección es la etapa en la que se buscan minerales aprovechables en una zona determinada. Las técnicas que se usan son las basadas en estudios geológicos, o bien mediante técnicas basadas en geofísica, geoquímica, etc.</p> <p>Caracterización: Consiste en definir las propiedades Físicas, Químicas y Mecánicas de los suelos y rocas de una zona de estudio, definiendo su naturaleza litológica.</p>	<p>Formaciones geológicas.</p> <p>Tipo de Suelo.</p> <p>Técnicas de observación</p> <p>Toma de datos en campo.</p> <p>Propiedades Físicas, Químicas y Mecánicas de los suelos.</p>	<p>Adimensional</p> <p>g/TM</p> <p>cm</p> <p>m</p> <p>Km</p> <p>Kg</p> <p>Gr</p>	<p>Mapa topográfico.</p> <p>Mapa geológico regional a escala 1:50000.</p> <p>Brújula de geólogo.</p> <p>Ficha de campo.</p> <p>Pala de mano.</p> <p>Funda plástica.</p> <p>Balanza de mano.</p> <p>Ácido clorhídrico</p> <p>Martillo de geólogo.</p> <p>Fluxómetro.</p> <p>Lápiz.</p> <p>Borrador de queso.</p> <p>Brújula de Geólogo.</p>
Variable Dependiente	Concepto	Indicadores	Dimensiones	Instrumentos
Fabricación de ladrillos artesanales.	<p>Consiste en los procesos de fabricación de un ladrillo cumpliendo, todos las etapas de fábrica, desde la extracción hasta la cocción dado como terminado a un material de construcción, normalmente cerámico y con forma ortoédrica.</p>	<p>Composición química y mineralógica de las arcillas.</p> <p>Capacidad de Absorción de la arcilla.</p> <p>Granulometría y plasticidad.</p> <p>Humedad Natural de la arcilla.</p>	<p>Adimensional</p> <p>cm</p> <p>cm²</p> <p>g/m³</p> <p>g/TM</p>	<p>Laboratorio:</p> <p>Tamiz # 40.</p> <p>Horno de Temperatura 110°C.</p> <p>Balanza electrónica.</p> <p>Planta de procesamiento:</p> <p>Molino primario.</p> <p>Molino secundario.</p> <p>Sinfín de alta precisión.</p> <p>Molde de la pieza.</p> <p>Cortadora de piezas.</p> <p>Horno de cocción.</p> <p>Flexómetro.</p>

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

1.8 Generalidades

1.8.1 Ubicación Geográfica del Área de Estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en las estribaciones de la Cordillera Real en la provincia de Morona Santiago, cantón Morona, parroquia Rio Blanco. Se encuentra a 6.63Km siguiendo la vía de primer orden Macas-Sucúa, a 950 m.m.s. Sus límites son: al Norte la parroquia Rio Blanco y Cantón Morona, al Sur la parroquia Marianita y Cantón Sucúa, al Este el Rio Upano, y al Oeste la Provincia de Chimborazo (ver anexo B).

Las coordenadas U.T.M. de la zona de estudio se encuentra circunscrito por los vértices que están referenciados al DATUM WGS-84 de la zona geográfica 17 y son las siguientes (ver anexo B):

Tabla 1-2 Ubicación de la zona de estudio en Coordenadas UTM WGS 84

VÉRTICES	ESTE	NORTE	LADO	DIST(m)
P1	814000	9740500	P1-P2	2999.88
P2	817000	9740500	P2-P3	3500.06
P3	817000	9737000	P3-P4	1499.63
P4	815500	9737000	P4-P5	1000.02
P5	815500	9736000	P5-P6	1500.35
P6	817000	9736000	P6-P7	1499.45
P7	817000	9734500	P7-P8	3000.00
P8	814000	9734500	P8-P1	5999.89

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

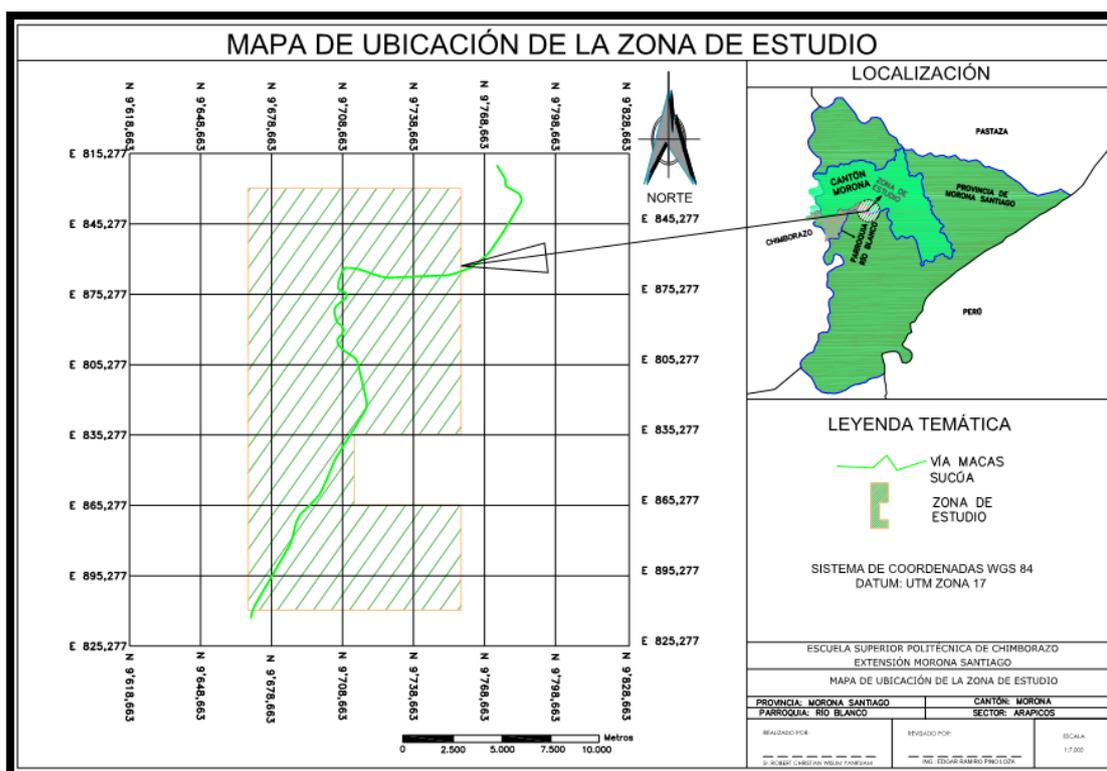


Figura 1-1 Ubicación Geográfica de la zona de estudio

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

1.8.2 Accesibilidad

Para acceder a la zona de estudio se sigue la vía de primer orden Macas - Sucúa, partiendo desde la ciudad de Macas hacia el Suroeste, en un recorrido de 10 minutos aproximadamente pasando la Parroquia: Rio Blanco, hasta llegar al sector Arapicos, lugar donde se encuentra la zona de estudio.

1.8.3 Clima y temperatura.

Las planicies y valles de exuberante vegetación determinan suelos climáticos diferentes, con temperaturas variables, entre los 18 y 22 grados centígrados. Los rangos de precipitación son continuos que van entre 271,1 a 156,5 mm, los meses de mayor precipitación, según los datos mensuales hasta el año 1985, dados por la FAE, son los meses de, enero y abril (156,5 - 271,1 mm) con una precipitación anual de un aproximado de 2273,8mm. La humedad relativa va desde el 22.07% en enero a marzo y un 68% en agosto (GAD Parroquial, 2010).

1.8.4 Flora y Fauna

La zona de estudio en general corresponde a un área intervenida un 75% y un 20% que corresponde a una exuberante y variada vegetación, donde los productos más importantes son: el maíz, frejol seco, yuca, papa china, plátano, naranjas y algunas frutas. En la densa selva brotan maderas finas en peligro de extinción, ya que existe especies como: cedro, laurel, canelón y arallan en las orillas del río Upano que están siendo explotados (Sierra, 1999).

1.8.5 Hidrografía

El sistema hidrográfico está conformada por el Río Upano que nace desde la provincia de Chimborazo y recorre longitudinalmente el área de estudio, como ríos tributarios al norte esta Río Blanco y al sur el Río Arapicos (ver anexo B).

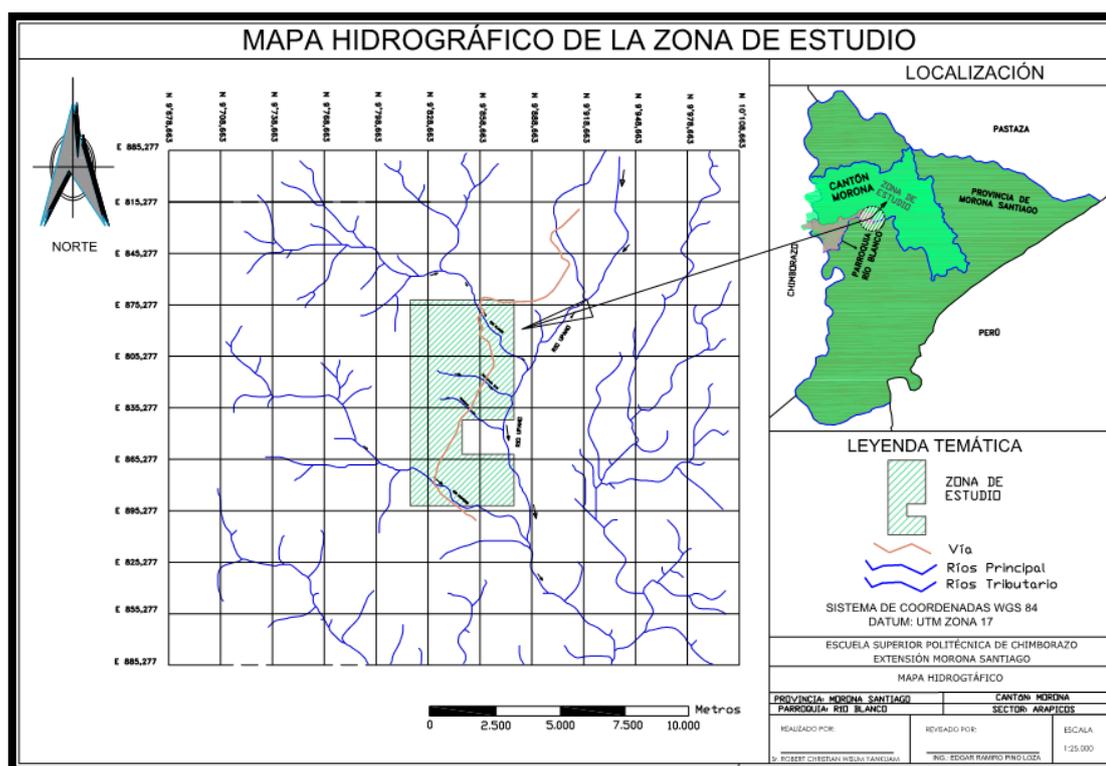


Figura 1-2 Mapa hidrográfico de la zona de estudio

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Geología Regional

La cuenca oriental ecuatoriana, se localiza al Este de la cordillera Real de los Andes y corresponde a una sucesión de cuencas que se desarrollan desde Venezuela hasta Bolivia entre la cordillera de los Andes y el cratón Guayano-Brasileño (*Faucher & Savoyat, 1975*). La Cuenca Oriente se desarrolla como resultado de esfuerzos transpresivos presentes a partir del Cretácico Terminal, los que provocan la emersión de la Cordillera Real y la formación de la cuenca de ante-país de transarco propiamente dicha (*Rivadeneira & Ramirez, 1986*). (Ver anexo B).

2.1.1 Formación Napo Cretácico: (Albiano Inferior a Senoniano, Kh).

Es una de las formaciones más ampliamente distribuida en la parte del Oriente Ecuatoriano consiste en una sucesión de lutitas negras, calizas grises a negras y areniscas carbonatadas. Se dispone concordantemente sobre la formación hollín. Algunos autores dividen esta formación en: Napo Basal, Napo Inferior, Napo Media y Napo Superior. Su espesor varía desde menos de 200m a más de 700m (*Baldock, 1982*).

Napo Inferior: Comprende areniscas, lutitas, margas y pocas calizas, la edad es Albiano tardío (*Baldock, 1982*).

Napo Medio: Consiste en calizas grises de masivas a muy estratificadas, las que en el Norte del Ecuador están subdivididas en dos horizontes separados por una unidad de areniscas y lutitas (*Baldock, 1982*).

Napo superior: Es una secuencia de argilitas negras duras, lutitas verdosas y grises con intercalaciones de calizas y areniscas (*Baldock, 1982*).

2.1.2 Formación Chapiza (Jurásico Medio – Cretácico inferior, Jch).

Comprende una sucesión de sedimentos clásticos de baja inclinación, no metamorfoseados, de tipo continental, cubiertos por el miembro volcánico Misahualli. La secuencia sedimentaria de Chapiza comprende unos 2500 m de lutitas rojas, rosadas y grises y areniscas con finos horizontes de anhidrita, dolomita y yeso (*Litherland, 1994*).

2.1.3 Grupo Zamora (Graniodiorita, GGd)

Las rocas metamórficas del sur de la cordillera real son conocidas como grupo Zamora, el que es una secuencia potente e indiferenciada de esquistos moscovíticos-biotíticos, aunque hacia el Este se conocen paragneises y gneises graníticos metasomáticos. Metamórficos de grado más bajo (filitas, cuarcitas) (*Baldock, 1982*).

2.1.4 Formación Hollín (Cretáceo Temprano: Albiano-Aptiano, Kh).

Está compuesta por areniscas epicontinentales de cuarzo de color blanco y posee un espesor de 80 a 240 metros que incluye lutitas fracturadas. Las rocas de la Formación Hollín afloran extensamente en la zona subandina, particularmente estando expuestas en algunas partes del levantamiento Napo. A la Formación Hollín se le ha asignado una edad sobre bases Palinológicas, los datos indican que la base es del Aptiano y la secuencia avanza hasta el Albiano temprano (*Baldock, 1982*).

2.1.5 Formación Tena (Cretácico Superior, KPCTH).

Son capas rojas de arcillas en aparente concordancia con la Formación Napo, por los sedimentos que son finos y delgados hacia el Este. La litología de la Formación Tena es predominantemente lutitas, con numerosas intercalaciones de areniscas y escasos conglomerados particularmente en los 200 metros inferiores y en los 150 metros superiores. Margas y calizas arenáceas aparecen en menor cantidad (*Baldock, 1982*).

2.1.6 Formación Mera (Cuaternario, PLQM)

Esta formada por terrazas más jóvenes, dispuestas por depósitos compuestos por abanicos de piedemonte del Cuaternario areniscas tobáceas y arcillas. Hacia el Este los Sedimentos de las Terrazas disminuyen en espesor, tamaño del Grano y altitud (*Baldock, 1982*).

2.1.7 Unidad Upano (Jurásica a Cretácica inferior, Jsu).

Esta unidad se encuentra conformada por meta-andesitas, meta-grauvacas y esquistos polícticos y grafiticos. Se trata de una subdivisión lito-tectónica de piedras verdes andesítico recientemente definida y rocas meta-sedimentarias asociadas que forma un cinturón casi continuo de hasta 15 km de ancho a lo largo de la vertiente oriental de la cordillera. Las secciones accesibles incluyen la nueva carretera Guamote-Macas a lo largo del Río Upano, de la que se nombra la unidad, y al oeste de Baeza a lo largo de la carretera Papallacta-Baeza. Los contactos con otras unidades son generalmente tectónicos, aunque aquellos con la unidad de Cuyuja son transicionales (*Litherland*, 1994).

2.1.8 Depósitos aluviales (Cuaternario, QA).

Se encuentran en los cauces de los drenajes principales. Corresponden a depósitos de bloques, cantos, gravas, arenas y limos provenientes de los materiales preexistentes en las laderas de los ríos, esteros y quebradas que drenan la zona (*Asanza*, 2012).

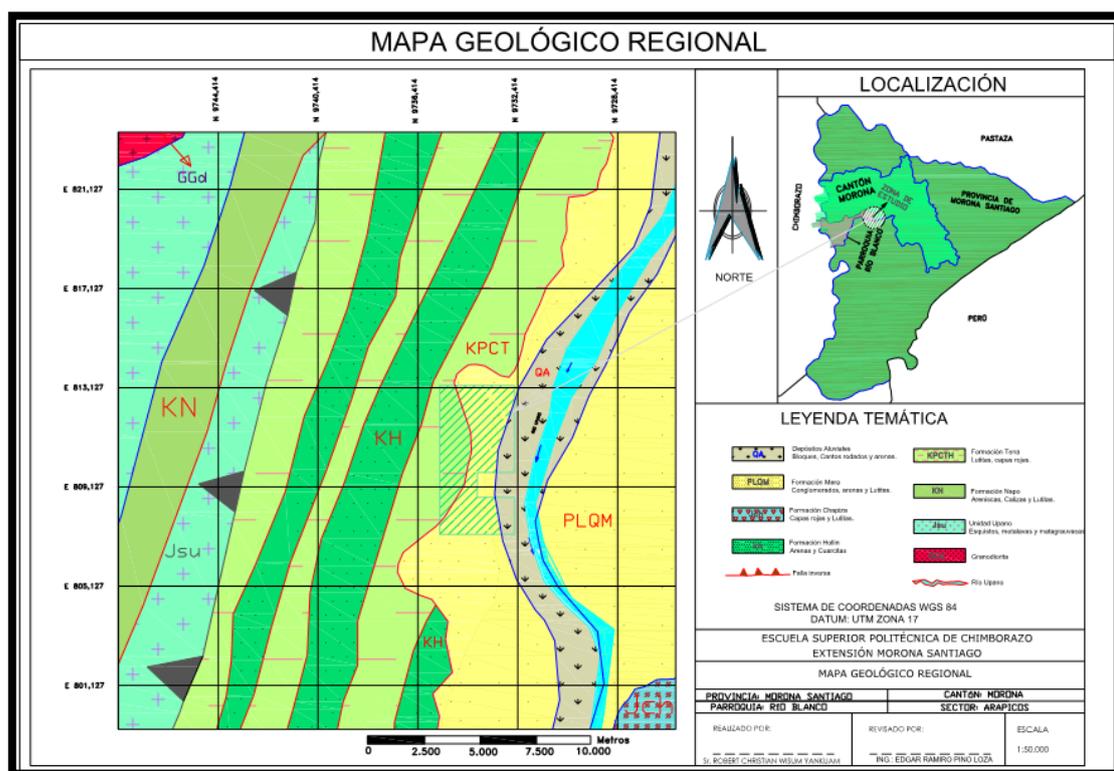


Figura 2-1 Mapa Geológico regional

Fuente: (IGM, 2017).

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

2.2 Geología local de la Zona de Estudio

Para definir la geología local se ha realizado una descripción litológica minuciosa de los afloramientos presentes en los cortes de talud de la vía como de las cuencas de los ríos que cruzan la zona de estudio, identificando así tres unidades litológicas que son descritas a continuación:

2.2.1 Formación Tena (Cretácico Superior, KPCTH).

En la zona de estudio aflora esta formación en la comunidad Paus a 657m partiendo desde la abscisa 7+605.20m con dirección noreste, su litología está constituida por arcillolitas Rojas con intercalaciones de capas métricas a decimétricas de materia orgánica de color Café-Gris, limo de grano fino de color café-oscuro, limolita arcillosa de grano grueso de color café-claro, areniscas de grano fino con granos de cuarzo lechoso, capas de arcillolita de color roja, con bioturbaciones de arcilla limosa de color verde, con clastos de limo y arcilla, lutitas negras, todas las capas se encuentran dispuestas de forma horizontal.

2.2.2 Formación Mera (Cuaternario, PLQM)

Esta formación aflora junto al margen izquierdo y derecho de la vía Macas Sucúa entre las abscisas 9+678.89m hasta 11+480.20m. Está compuesta por terrazas aluviales más recientes, los clastos se encuentran dispersos en una matriz arcillosa debido al depósito de flujo masivo generado mediante el transporte en masa por un flujo altamente viscoso de alta densidad por el contenido de hierro que posee la arcilla, con una mezcla caótica y turbulenta desordenada con capas decimétricas de clastos de cuarzo lechoso en forma de lentes, con presencia de lutita arenosa que representa un depósito de abanico, con presencia de pequeñas capas centimétricas de clasto de cuarzo lechoso, hacia el Este los sedimentos de las terrazas disminuyen en espesor, tamaño del grano y potencia. La parte superior está compuesta por volcanoclastos del Sangay dispuestos en una matriz arcillosa de color gris-rojiza de la formación Tena, los clastos se encuentran dispersos de forma desordenada, los tamaños varían entre 10-25cm. Existen clastos angulosos de tamaño entre 5-10cm. Que predominan en un 70% y poseen una potencia de 20 m.

2.2.3 Depósitos aluviales (cuaternario, QA).

Se puede observar estos depósitos a lo largo del Río Upano en el margen derecho la del río hasta los 50m del cauce, y son depósitos de bloques, cantos rodados y arenas con presencia de rocas volcánicas subredondeadas, angulosas de tamaño decimétricas a centimétricas dispuestos en una matriz cementada de limo arcilloso de color café-gris con poca presencia de arcilla de color rojo. El afloramiento tiene una altura aproximada de 17m. Su génesis y sedimentología se debe al material arrastrado y depositado de las erupciones del volcán Sangay por el río Upano en el cuaternario reciente.

2.3 Modelo Geológico de la zona de estudio.

Para desarrollar el modelo geológico de la zona se realizó un estudio a detalle de campo, tomando datos estructurales y litológicos, a continuación se detalla los datos de contactos: $N29^{\circ}E/35SE$, $S23^{\circ}W/16SW$; $N37^{\circ}E/22SE$, $N13^{\circ}W/38NE$; $N23^{\circ}E/18SE$, $N39^{\circ}W/62NE$. El modelo geológico detalla la forma del depósito de las arcillas presentes en el lugar de acuerdo a sus unidades geológicas y su distribución la misma esta descrita en la geología local. Para mayor detalle de su análisis del depósito de las arcillas se realizó tres cortes geológicos cada una se encuentra distante a una distancia de 5.505 a 2.249 mil metros aproximadamente (ver anexo B).

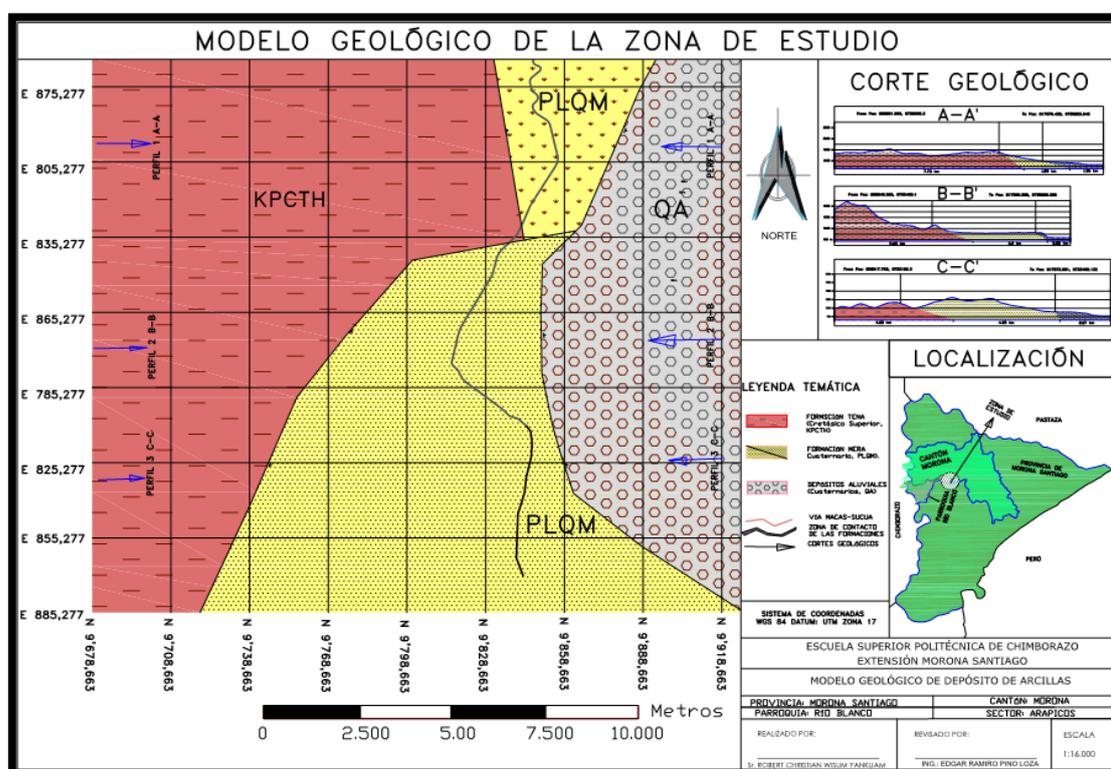


Figura 2-2 Modelo Geológico del depósito de arcillas de Arapicos

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

2.3.1 Columna Estratigráfica de la zona de estudio

La columna estratigráfica se detalla a continuación, es el resultado de la interpretación y observación litológica en el campo.

2.3.2 Columna Estratigráfica de la Formación Tena (Cretácico Superior, KPCTH).

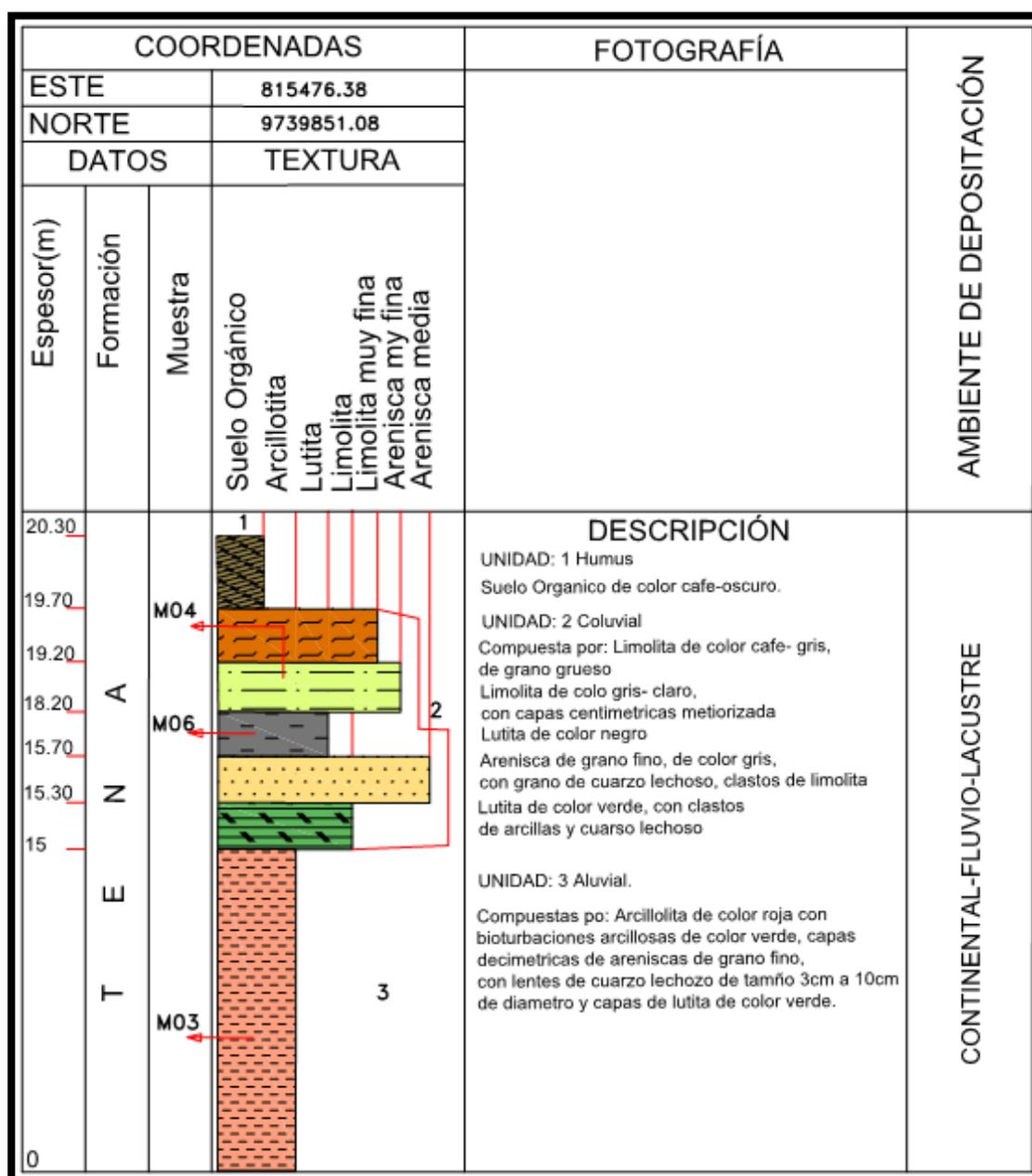


Figura 2-3 Columna estratigráfica de la formación Tena

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

2.3.3 Columna estratigráfica de la Formación Mera (Cuaternario, PLQM)

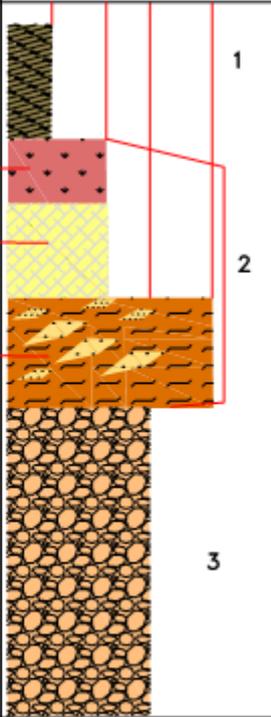
COORDENADAS			FOTOGRAFÍA	AMBIENTE DE DEPOSITACIÓN	
ESTE	816122.38				
NORTE	9740018.12				
DATOS	TEXTURA				
Espesor(m)	Formación	Muestra			
		Suelo Orgánico Limolita Arenisca media Arenisca gruesa			
22.9	M E R A		<p>DESCRIPCIÓN</p> <p>UNIDAD: 1 Humus Suelo Organico de color cafe-oscuro.</p> <p>UNIDAD: 2 Coluvial Matriz compuesta por Limolita de colo rojo, con capas centimetricas de limo de color cafe-gris acompañado de pequenos clasto de limo subredondeados se encuentra dispersas en todas la direcciones y son de tamaño centimétricas de 2-10cm.</p> <p>UNIDAD: 3 Aluvial. Se encuentra dispuesta por una matiz de limo arcillosa de grano fino, con intercalaciones milimétricas de lutitas de color verde, conclastos de cuazo lechoso incrustadas en forma de lentes propiamente de depositos bioturditicos de tamaño centimétrico dentre 10-20cm de diametro.</p> <p>UNIDAD: 3 Volcanoclastos Esta dispuesta por una matriz cementada de Arcillolita de color roja con una mezcla de senisas volcanicas del sangay, los clastos subangulosos de brechas volcanicas que corresponde a un estrato cautico desperso de tamño 20cm a 50cm de diametro.</p>	CONTINENTAL - ABANICO ALUVIAL	
22.4					M02
20.5					M01
20					M05
0					

Figura 2-4 Columna estratigráfica de la Formación Mera

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

2.4 Sedimentología

2.4.1 Unidad arcillolita de la formación Tena

En las secciones estratigráficas de la zona de estudio se pudo evidenciar depósitos de flujo masivo generado mediante un transporte en masa por un flujo altamente viscoso y de alta densidad por el contenido de hierro presente en las arcilla, los clastos se hallan dispersos en una matriz lutitico-arcilloso que favorece su flotabilidad y transporte.

Los clastos han sido transportados flotando en la matriz cohesiva de textura floculenta con matriz de arcillolita. El agente principal en este tipo de depositación es el tectonismo que da origen el levantamiento flexural de las cordilleras que permite la erosión, forma relieves y escorrentías dando paso al sistema de depositación coluvial.

2.4.2 Unidad Volcanoclastos de la formación Mera

En las secciones estratigráficas estudiadas en el área se pudo visualizar que está formado por un transporte hidráulico turbulento con materiales de alta densidad, los clastos se encuentran inmersos en una matriz arenoso- limoso alineados sobre una discontinuidad erosiva entre las unidades geológicas de la zona de estudio dando así la característica de depositación propiamente dicha de un ambiente continental que corresponde al sistema coluvial, esto se debe al levantamiento de la cordillera real por subducción de la placa oceánica en la sudamericana que da origen al fenómeno físico denominado orogénesis que da el origen de las cadenas montañosas de los andes ecuatorianos.

Los agentes que actúan en este sistema de depositación son el físico y el químico los factores físicos que más interviene en el ambiente de depositación son los siguientes: precipitación, erosión, viento, agua, transporte, clima, gravedad y la Meteorización mecánica, los factores químicos son los siguientes: disolución, recristalización, y remplazamiento de los minerales por transporte.

2.5 Tectónica

El estudio tectónico de las estructuras de la cuenca del oriente ecuatoriano ha tenido un gran desarrollo a lo largo y ancho de la investigación geológica gracias a las exploraciones petrolíferas efectuadas desde 1921.

Desde el punto de vista tectónico, se puede dividir al Oriente ecuatoriano en dos regiones distintas:

- a) La Zona Subandina al Oeste.
- b) La Cuenca del antepaís o Cuenca de Trasarco al Este.

2.5.1 La Zona Subandina al Oeste

El contacto tectónico entre los Andes orientales y la Cuenca Oriente lo constituye una zona de pliegues y cabalgamientos con dirección NNE y vergencia al oeste, conocida como la Zona Subandina (*Litherland , 1994*). La zona Subandina se la puede subdividir en cuatro subzonas morfoestructurales que de Norte a Sur son Levantamiento Napo, la Depresión Pastaza, el Levantamiento Cutucú y la Cordillera del Cóndor (*Huacho, 1990*).

2.5.2 El Levantamiento Napo.

Se encuentra al norte de la zona subandina, entre los ríos Napo y Aguarico (*Faucher & Savoyat, 1975*). Corresponde a una estructura de tipo anticlinal asimétrica, con su plano axial buzando hacia al oeste, cuyo eje tiene dirección NNE-SSO. Sus dimensiones aproximadas son de 150Km de longitud, 50 Km de ancho y unos 1000 metros de altitud, pero en su centro atravieza el volcán apagado Sumaco que alcanza 3.900 metros de altura (*Rivadeneira & Ramirez, 1986*). Aquí afloran formaciones de edad Cretácico superior hasta el Terciario inferior (*Almeida , 1997*).

2.5.3 La depresión Pastaza.

Corresponde a un bajo estructural que separa el levantamiento Napo de la Cordillera Cutucú. Es una zona plegada pero subsidente, por lo menos des el Neógeno, y está cubierta por depósitos neógenos y cuaternarios (*Huacho, 1990*).

2.5.4 Levantamiento Cutucú

Se encuentra sur de la zona subandina. Corresponde a un anticlinal muy levantado de casi 2.000 mil metros, cuyo eje tiene dirección NNE-SSO, que hacia el norte se inclina rápidamente y se pierde antes del valle de Pastaza. El núcleo está formado por materiales liásicos de la formación Santiago y Chapiza. Por efecto de Erosión intensa afloran formaciones del paleozoico: Pumbuiza y Macuma que son los sedimentos más antiguos que se conocen en el Ecuador (*Faucher & Savoyat, 1975*).

2.5.5 La Cordillera del cóndor.

Corresponde fundamentalmente a un intrusivo de edad jurásica, el batolito de Zamora (Aspden et al, 1992), el cual hacia el sur atravieza la frontera peruana. Es la continuación de la cordillera Cutucú al Sur (*Benitez, 1996*).

2.5.6 Cordillera Oriental.

Esta cordillera también es conocida como Cordillera Real, está limitada al oeste por el Valle Interandino y al este por la Zona Subandina (*Litherland, 1994*). La Cordillera Real se constituye por cinturones sub-lineares de rocas metamórficas del Paleozoico al Mesozoico, intruidos por granitoides de tipo S e I, y cubiertos por depósitos volcánicos Cenozoicos a modernos.

2.5.7 El frente de Cabalgamiento Subandino O Falla Cutucú-Galeras.

Corresponde al límite geotécnico entre la zona subandina y la cuenca oriental propiamente dicha, pasa a varios kilómetros al este del domo de Napo y de la cordillera de Cutucú (*Faucher & Savoyat, 1975*). Descrito por Faucher y Saboyat, 1973, de la siguiente forma.

El frente de cabalgamiento corresponde a un sistema de fallas inversas que vergen hacia el Este y está señalado por una serie de estructuras anticlinales, varias de las cuales fueron perforadas por la compañía Shell (Pozos: Oglan-1, Vuano -1, Cangaimé-1, Macuma-1).

En la perforación del pozo Oglan-1 se encontró que se trata de un plano de cabalgamiento inclinado de 45° hacia el Oeste, con empuje hacia el Este. Hacia el este el empuje ha sido menos fuerte y está señalado solo por fallas subverticales visibles en el río Coca.

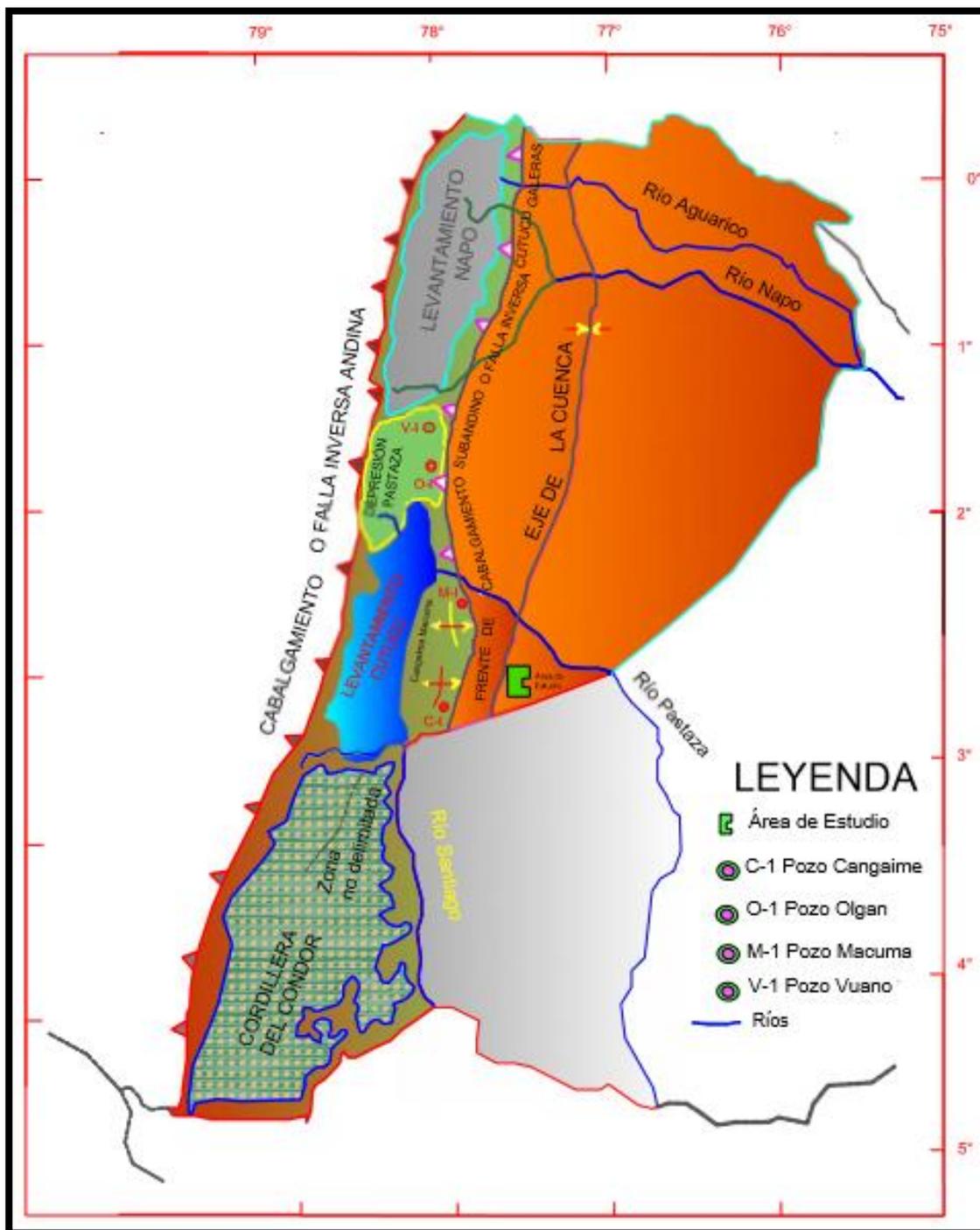


Figura 2-5 División Tectónica del Oriente Ecuatoriano

Fuente: Modificado de Rivadeneira y Ramírez, 1985.

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

2.5.8 *La Cuenca del Antepaís o Cuenca de Trasarco al Este.*

Se encuentra al Este del frente de Cabalgamiento Andino. La extensión de la cuenca oriental rebasa las fronteras del Ecuador. Su ancho siguiendo el paralelo 1° Sur es de 500km. Al Norte la cuenca se estrecha y se cierra completamente contra un levantamiento del zócalo conocido como Saliente de Vaupés (río Vaupés Colombia).

Al sur la cuenca se ensancha y se profundiza en dirección del Perú, al Este se prolonga hasta el escudo Guayano-Brasileño y al Oeste hasta el frente de cabalgamiento subandino o falla inversa Cutucú-Galeras.

En la cuenca oriental existe el llamado Arco de Cononaco que tiene dirección OSO-ENE y separa la cuenca en las subcuencas del Putumayo-Napo Al Norte y de Pastaza al Sur. Al Suroeste está la subcuenca Santiago y hacia el Sur de Pastaza la subcuenca Marañón en el Perú.

La cuenca de ante país tiene dos zonas bien diferenciadas y separadas por el eje de la cuenca que tiene dirección NNE-SSO. Estas zonas son: en el flanco oriental la llamada plataforma de Tiputini y en el flanco occidental la denominada zona axial.

La plataforma de Tiputini se presenta como un homoclinal fallado buzante hacia el Oeste-Suroeste y presenta una pendiente bastante regular, profundizándose hacia el eje de la cuenca. Está constituida por el basamento cristalino sobre el cual se han depositado sedimentos más jóvenes. En esta zona se encuentra unos pocos y pequeños yacimientos de petróleo pesado formados en trampas de tipo estratigráfico-estructural.

En la zona axial trampas de tipo anticlinal fallado con buzamientos muy suaves en sus flancos y con dimensiones de unos 10 a 20 km. En ella se encuentra la totalidad de las formaciones sedimentarias depositadas en la cuenca. Aquí se ubican los yacimientos de petróleo más importantes (Lago Agrio, Libertador, Shushufinfi, Aucas, etc.), en donde diversas compañías petroleras trabajan en el Ecuador desde 1964 (*Faucher & Savoyat, 1975*).

2.6 Geomorfología Regional

La república del Ecuador posee grandes contrastes en relación a la forma del relieve terrestre esto se debe en gran medida a la cordillera de los Andes, esta estructura regional de origen tectónico ejerce gran influencia en el desarrollo y transformación de la superficie ya que atraviesa al Ecuador con rumbo norte – sur aproximadamente. Como menciona (*Baldock, 1982*).

El Ecuador está situada en la Costa Oeste de Sudamérica, entre Colombia y Perú, geográficamente predominan los Andes que dividen la parte continental y constituye la zona ubicada al este de los Andes. Está formado por dos regiones distintas: Cuenca Amazónica Superior, que constituye la cuenca del Napo y la plataforma de Tiputini, al norte y la Cuenca de Pastaza, al sur (*Baldock, 1982*).

2.6.1 Geomorfología de la zona de estudio

La zona de estudio geomorfológicamente se encuentra en las estribaciones de la cordillera real, en la zona subandina, la zona se localiza al este de la Cordillera Real, que comprende un valle intra-montañoso de la región oriental del Ecuador.

La morfología de la cordillera Real, está relacionada con las emisiones de productos volcánicos, por lo que se destacan las formas y estructuras de este origen; el valle interandino se define como una zona aplanada en fase de rejuvenecimiento que ha recibido los productos de sedimentación volcánica y la acción de los glaciares durante la etapa de la última glaciación.

La cordillera Real al ser emplazamiento de rocas metamórficas, presenta una morfología abrupta, con cortes verticales paralelos a la exfoliación de las rocas, valles angostos y profundos; finalmente la zona de estudio donde se localiza el proyecto, se caracteriza por presentar elevaciones y valles alargados de orientación principalmente NNE-SSW (ver anexo B).

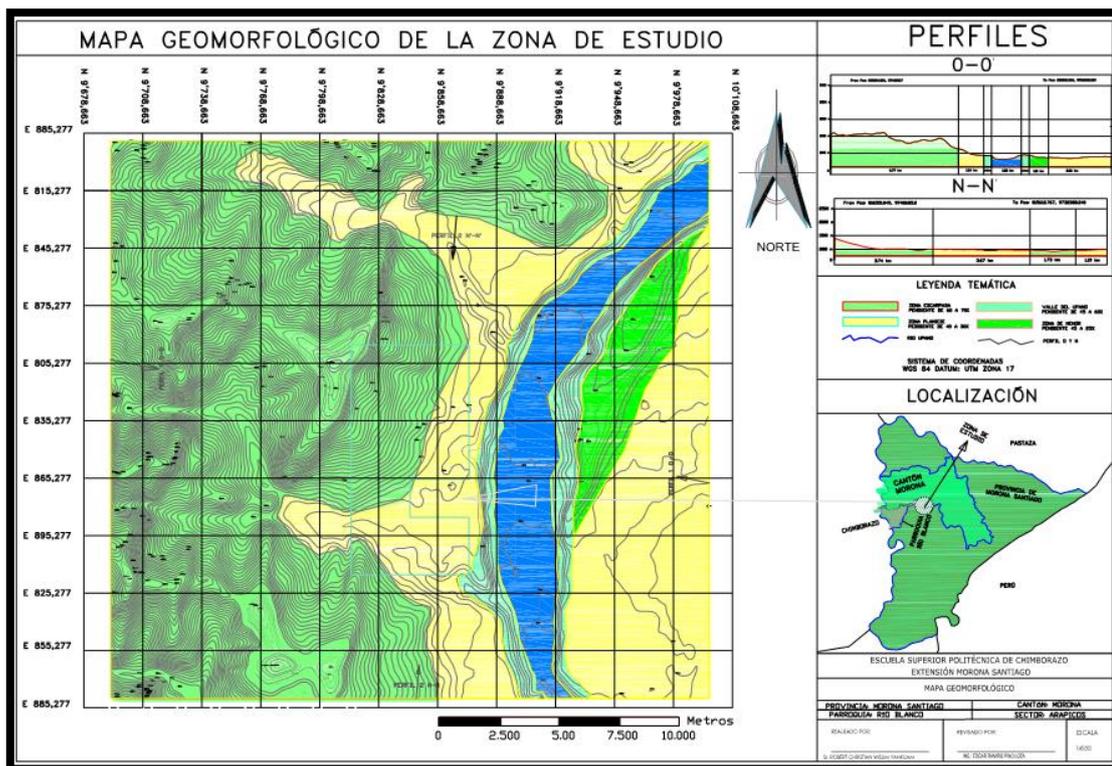


Figura 2-6 Mapa Geomorfológico de la zona de estudio

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

En la zona, se definen dos zonas morfológicas, la primera desde las estribaciones de la cordillera Real hasta las estribaciones de las cordilleras Cutucú, que corresponde al este el dominio del río Upano como principal afluente, al norte río Blanco y al sur río Arapicos.

El Upano discurre formando un valle rectangular limitado por taludes fuertemente verticales, que culminan en una explanada controlada por las rocas de la Fm. Mera y por los Lahares del Upano (productos de las erupciones del Sangay).

La zona de estudio geomorfológicamente se caracteriza por presentar tres eventos principales de deslizamiento de origen tectónico, formando relieves continuos en dirección NNE-SSW, con empinadas montañas de valles escarpados con pendientes de 60 a 70° aproximadamente (ver anexo B).

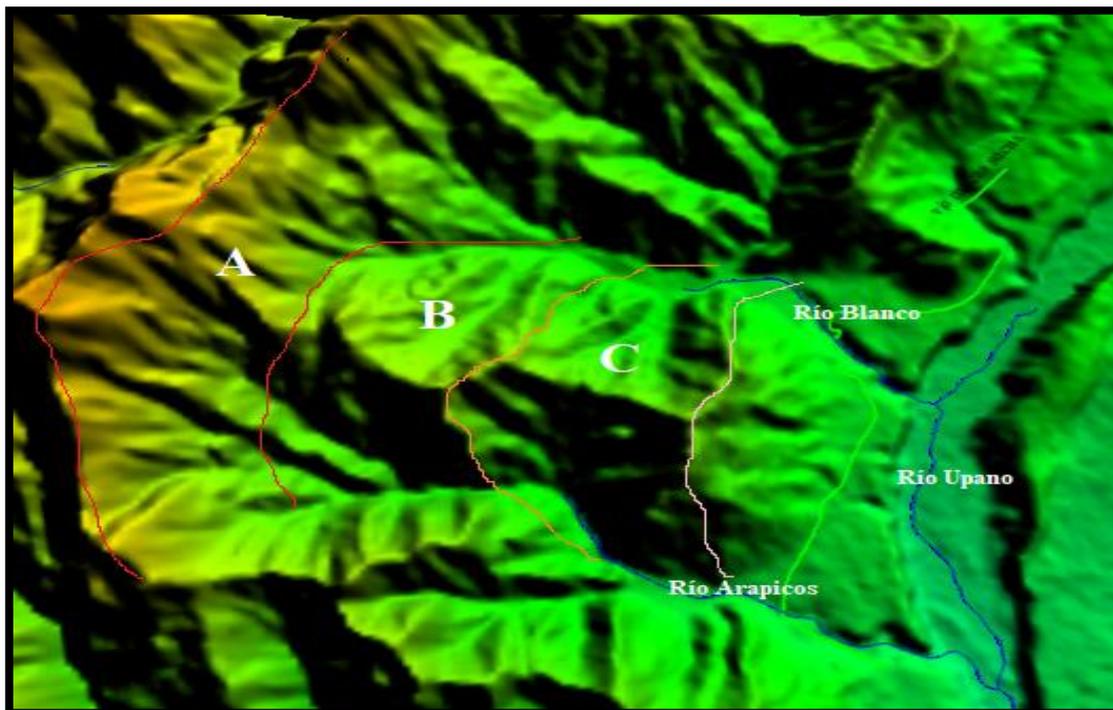


Figura 2-7 Geomorfología de la zona de estudio vista en 3D

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

2.7 La arcilla

Es una roca sedimentaria formada por partículas muy finas ($>50\%$ es $<2\mu\text{m}$), que mezclada con agua es plástica, que endurece con el secado y calor, y que contiene filosilicatos y otros minerales que le imparte las mismas propiedades (minerales de la arcilla). Las arcillas tienen otros minerales diferentes de los anteriores, que se denominan minerales asociados (cuarzo, feldspatos, calcita, pirita) y ciertas fases asociadas no cristalinas, que pueden o no impartir plasticidad, y la materia orgánica (Guggenheim & Martín, 1995).

2.7.1 Tipos de arcillas y usos industriales

2.7.1.1 Arcillas Industriales

En la actualidad las arcillas comerciales, son aquellas que sirven como materia prima industrial figuran entre los recursos minerales más importantes, tanto por el volumen explotado como por el valor de la producción. Un 90 % de la producción se dedica, preferentemente a la fabricación de materiales de construcción y agregados. Sólo un 10 % se dedica a otras industrias (fabricación de papel, caucho, pinturas, absorbentes, decolorantes, arenas de moldeo, productos químicos y farmacéuticos, agricultura, etc.).

En general al primer tipo (las que se utilizan en construcción) se las denomina arcillas cerámicas, arcillas para la construcción o arcillas comunes, son arcillas compuestas por dos o más minerales de la arcilla, generalmente illita y esmectita, con importantes cantidades de otros minerales que no son filosilicatos (carbonatos, cuarzo). Se utilizan para la fabricación de materiales de construcción y agregados. Al segundo tipo se las **denomina arcillas especiales**, son arcillas constituidas fundamentalmente por un sólo tipo de mineral de la arcilla, y sus propiedades dependen esencialmente de las características de ese mineral. Estas, a pesar de ser mucho menos importantes en volumen, suponen más del 70 % del valor de las arcillas comerciales, y son objeto de comercio internacional.

Las arcillas especiales se pueden dividir en:

- a) Caolines y arcillas Caoliníferas.
- b) Bentonitas.
- c) Sepiolita y paligorskita.
- d) Otros tipos de Arcillas Especiales.

Caolines y Arcillas Caoliníferas.

Un caolín es una roca que contiene una cierta proporción de minerales del grupo de caolín, que puede ser económicamente extraída y concentrada. Se trata, generalmente, de una arcosa o arena Caoliníferas, granito o gneis caolinitizado, que es necesario procesar para enriquecer en minerales del grupo del caolín.

La arcilla Caoliníferas es también un caolín en sentido amplio. Igualmente, se trata de una arcilla compuesta, fundamentalmente, de minerales del grupo del caolín. Esta no se procesa, se usa tal cual, e inicialmente los porcentajes en minerales del grupo del caolín son más altos que en el caolín (>50%). Cuando el caolín se usa para cerámica blanca recibe la denominación de China Clay. El caolín, tal como se obtiene en una explotación mineral (caolín bruto/todo uno) posee un contenido variable de caolinita y/o halloysita que, a veces no llega al 20 %, además suele tener cuarzo, feldespatos, micas, y, dependiendo de la roca madre otro tipo de minerales accesorios. Para concentrar el mineral es preciso someterlo a diferentes procesos que eleven el contenido en filosilicatos por encima del 80 %.

El producto final, generalmente, recibe el nombre de caolín lavado. Como la caolinita tiene un tamaño de partícula muy pequeño, el lavado de las fracciones groseras conduce a un material con alto contenido en caolinita. Es evidente que cuanto mayor sea el contenido en fracciones finas del caolín bruto, mayor será también el porcentaje en caolinita.

Un caolín comercial de alta calidad apenas deberá tener partículas superiores a las 20 μ m, lo que garantizaría una riqueza en caolinita superior al 80%. Otro término utilizado para arcillas especiales, con un indudable significado industrial, es el de arcillas refractarias: Arcillas caoliníferas utilizadas para la fabricación de materiales cerámicos refractarios. Dentro de este grupo pueden incluirse las denominadas ball-clays, o arcillas Caoliníferas plásticas y dispersables en agua, que son grises o negras pero que cuecen blanco. Son los materiales más interesantes para la fabricación de cerámica blanca de gran calidad.

Las fire-clays o arcillas refractarias propiamente dichas, suelen tener óxidos de hierro, lo que hace que no cuezan blanco. Las flint-clays o arcillas Caoliníferas duras, carentes de plasticidad se utilizan fundamentalmente para la fabricación de refractarios silicoaluminosos. Por último las Tonsteins (Underclays), son muy similares a las flint-clays, son niveles volcánicos.

Bentonitas.

Una bentonita es una roca compuesta esencialmente por minerales del grupo de las esmectitas, independientemente de cualquier connotación genética. Los criterios de clasificación utilizados por la industria se basan en su comportamiento y propiedades físico-químicas; así la clasificación industrial más aceptada establece tipos de bentonitas en función de su capacidad de hinchamiento en agua: Bentonitas altamente hinchables o sódicas; Bentonitas poco hinchables o cálcicas; Bentonitas moderadamente hinchables o intermedias. El término fuller'earth, también conocidas en español como tierras de batán, los ingleses lo usan para denominar a arcillas constituidas fundamentalmente por **montmorillonita** con Ca como catión de cambio, mientras que los americanos se lo dan a arcillas paligorskíticas. A las bentonitas cálcicas que los ingleses denominan fuller'earth los americanos las llaman bentonitas no hinchables.

Otras clasificaciones se basan en criterios distintos, así, por ejemplo, en USA se utiliza el término "Bentonitas del Sur" (Southern Bentonites) como equivalentes de bentonitas cálcicas, ya que la mayor parte de la bentonita cálcica norteamericana se explota cerca del Golfo de México, denominándose "bentonita tipo Wyoming" a las bentonitas sódicas.

Paligorskita-Sepiolita.

Las sepiolitas y paligorskitas son arcillas con un contenido en dichos minerales superior al 50 %. Son minerales con hábito fibroso con una enorme área superficial debida tanto al pequeño tamaño de partícula como la porosidad estructural que presenta su estructura.

La superficie específica teórica se calcula alrededor de los 900 m²/g, aunque la superficie accesible es muy inferior. Su peculiar estructura les confiere una serie de propiedades, entre ellas las de formar suspensiones poco afectadas por la concentración iónica y una enorme capacidad sorcitiva, por lo que son poderosos decolorantes y absorbentes. También tienen propiedades reológicas, son capaces de formar geles y suspensiones estables de alta viscosidad a bajas concentraciones de sólido. Al igual que las esmectitas, son susceptibles de ser activadas mediante tratamientos térmicos y ácidos.

Otros tipos de Arcillas Especiales.

También pueden considerarse arcillas especiales las halloysitas, compuestas fundamentalmente por halloysita, mineral del grupo del caolín y las hectoritas, compuestas por hectorita (una esmectita), Las arcillas halloysíticas también pueden considerarse caolines, y las hectoritas un tipo de bentonitas. Ambos tipos son muy escasos en el mundo.

Recientemente el termino arcilla especial ha sido restringido aún más por algunos autores y lo reservan para arcillas raras como la sepiolita o hectorita, poco abundantes, o como la paligorskita y bentonitas blancas. También lo usan para arcillas modificadas químicamente como las bentonitas activadas con tratamientos ácidos o organofílicas, quedando fuera de la denominación de arcillas especiales los caolines, bentonitas y, por supuesto las arcillas comunes.

2.7.1.2 Arcillas Comunes

Las arcillas comunes son materiales de composición mixta, con predominio de minerales de la arcilla tales como **esmectitas, illitas y cloritas**, junto a cuarzo y carbonatos. En cantidades menores se encuentran caolinita, feldspatos y óxidos de hierro.

El principal uso de estos materiales arcillosos se da en el campo de la cerámica de construcción (tejas, ladrillos, tubos, baldosas), alfarería tradicional, lozas, azulejos y gres. Uso al que se destinan desde los comienzos de la humanidad.

Estas arcillas reciben la denominación industrial de **arcillas comunes** y su papel en la preparación del cuerpo cerámico es múltiple y consiste en:

- a) Impartir la plasticidad necesaria para su moldeo.
- b) Mejorar las propiedades mecánicas.
- c) Mejorar las propiedades de la suspensión.
- d) Aportar los componentes para la formación de fases líquidas y cristalinas durante la cocción.

2.7.1.3 *Caolín*

Se trata de un mineral muy importante desde el punto de vista industrial. Ha sido utilizado desde antiguo para numerosos usos. En el siglo XVI adquirió gran fama entre la nobleza la porcelana fabricada a base de pastas cerámicas ricas en caolín. Los principales usos a los que se destina en la actualidad son: Fabricación de papel, Cerámica y refractarios, Otros usos.

Fabricación de papel.

El principal consumidor de caolín es la industria papelera, utilizando más del 50 % de la producción. En esta industria se usa tanto como carga, como para proporcionarle al papel el acabado superficial o estucado. Para que pueda ser destinado a este uso las especificaciones de calidad requeridas son muy estrictas, tanto en pureza como en color o tamaño de grano.

Cerámica y refractarios.

También es importante el uso del caolín en la fabricación de materiales cerámicos (porcelana, gres, loza sanitaria o de mesa, electrocerámica) y de refractarios (aislantes térmicos y cementos). Al igual que en el caso del papel las especificaciones requeridas para el uso de caolines en cerámica y refractarios son estrictas en cuanto a pureza y tamaño de grano.

Otros usos.

Además se utilizan caolines, en menores proporciones, en otras industrias: como carga más económica sustituyendo a las resinas en pinturas, aislantes, caucho. También como carga de abonos, pesticidas y alimentos de animales. La industria química consume cantidades importantes de caolín en la fabricación de sulfato, fosfato y cloruro de Al, así como para la fabricación de **ceolitas sintéticas**. A partir del caolín calcinado se obtienen catalizadores y fibras de vidrio. La industria farmacéutica utiliza caolín como elemento inerte en cosméticos y como elemento activo en absorbentes estomacales.

2.7.1.4 *Bentonitas*

Son muy numerosos los usos industriales de las bentonitas, tanto que resulta difícil enumerarlos todos. Los más importantes son: Arenas de moldeo, Lodos de perforación, Peletización, Absorbentes, Material de Sellado, Ingeniería Civil, Alimentación animal, Catálisis, Industria Farmacéutica y Otros usos.

Arenas de moldeo.

A pesar de que la industria ha evolucionado considerablemente en las últimas décadas y ha ido sustituyendo a las bentonitas por otros productos en la fabricación de moldes para fundición, éste sigue siendo su uso principal. Las arenas de moldeo están compuestas por arena y arcilla, generalmente bentonita, que proporciona cohesión y plasticidad a la mezcla, facilitando su moldeo y dándole resistencia suficiente para mantener la forma adquirida después de retirar el moldeo y mientras se vierte el material fundido.

La proporción de las bentonitas en la mezcla varía entre el 5 y el 10 %, pudiendo ser ésta tanto sódica como cálcica, según el uso a que se destine el molde. La bentonita sódica se usa en fundiciones de mayor temperatura que la cálcica por ser más estable a altas temperaturas, suelen utilizarse en fundición de acero, hierro dúctil y maleable y en menor medida en la gama de los metales no férreos.

Por otro lado la bentonita cálcica facilita la producción de moldes con más complicados detalles y se utiliza, principalmente, en fundición de metales no férreos. El aumento de los costes de las materias primas está forzando a las fundiciones a recuperar las mayores cantidades posibles de mezclas de arenas para ser usadas de nuevo, si bien generalmente esto no afecta de forma sensible al consumo de bentonita.

El reciclado, en la mayoría de los casos, no es posible, pues la mezcla alcanza temperaturas superiores a los 6501°C, y a esas temperaturas la arcilla pierde parte de su agua de constitución, proceso que es irreversible, y pierde con ello sus propiedades, no pudiendo ser recuperada.

Lodos de perforación.

A pesar de los importantes cambios que van sufriendo con el tiempo las formulaciones de los lodos de perforación, (comenzó a utilizarse a principios del siglo XX) este sigue siendo uno de los mercados más **importantes de las bentonitas**.

Las funciones que debe cumplir el lodo son:

- a) Extracción del ripio y limpieza del fondo del pozo.
- b) Enfriamiento de la herramienta de perforación.
- c) Control de presiones de formación y estabilización de las paredes.
- d) Mantenimiento en suspensión del ripio y Transmisión de potencia hidráulica al tricono.
- e) Soportar parte del peso de la sarta de perforación.
- f) Permitir la adición de agentes densificantes.
- g) Las bentonitas de Wyoming son las más utilizadas para la preparación de lodos de perforación.

Peletización.

La bentonita se ha venido usando desde los años 50 como agente aglutinante en la producción de pelets del material previamente pulverizado durante las tareas de separación y concentración. La proporción de bentonita añadida es del 0,5%, en la mayor parte de los casos. Aunque no existen especificaciones estandarizadas para este uso, se emplean bentonitas sódicas, naturales o activadas, puesto que son las únicas que forman buenos pelets con las resistencias en verde y en seco requeridas, así como una resistencia mecánica elevada tras la calcinación.

Absorbentes.

La elevada superficie específica de la bentonita, le confiere una gran capacidad tanto de absorción como de adsorción. Debido a esto se emplea en decoloración y clarificación de aceites, vinos, sidras, cervezas, etc. Tienen gran importancia en los procesos industriales de purificación de aguas que contengan diferentes tipos de aceites industriales y contaminantes orgánicos.

Se utiliza además como soporte de productos químicos, como por ejemplo herbicidas, pesticidas e insecticidas, posibilitando una distribución homogénea del producto tóxico. En los últimos años, además, están compitiendo con otras arcillas absorbentes (sepiolita y paligorskita) como materia prima para la fabricación de lechos de animales. La demanda de bentonitas para este uso varía sustancialmente de unos países a otros, así en Estados Unidos comenzaron a utilizarse a finales de los años 80, sin embargo en Europa el mercado es más complejo y su demanda mucho menor.

Material de Sellado.

La creciente importancia que está tomado en los últimos años, por parte de los gobiernos de toda Europa, la legislación en lo referente a medio ambiente, ha favorecido la apertura y desarrollo de todo un mercado orientado hacia el uso de bentonitas como material de sellado en depósitos de residuos tanto tóxicos y peligrosos, como radiactivos de baja y media actividad.

Durante muchos años las bentonitas se han venido utilizando en mezclas de suelos en torno a los vertederos, con el fin de disminuir la permeabilidad de los mismos. De esta forma se impide el escape de gases o lixiviados generados en el depósito. Esta mezcla se podía realizar in situ o sacando el suelo de su emplazamiento, mezclándolo con la bentonita y volviéndolo a colocar en su sitio, la ventaja de la primera alternativa es que supone un gasto menor pero, sin embargo, implica una mezcla menos homogénea.

La segunda alternativa, sin embargo, es más cara pero asegura una mejor homogeneización de la mezcla bentonita-suelo. Por otro lado, esto disminuye la cantidad de bentonita necesaria (5-6 %), frente a 7-8 % para la utilizada en mezclas in situ. Más recientemente ha surgido una nueva tendencia en el diseño de barreras de impermeabilización que se basa en la fabricación de complejos bentonitas-geosintéticos (geomembranas y geotextiles). Consiste en la colocación de una barrera de arcilla compactada ente dos capas, una de geotextil y otra de geomembrana (plásticos manufacturados, como polietileno de alta densidad o polipropileno, entre otros).

La geomembrana es impermeable, mientras que el geotextil es permeable, de modo que permite a la bentonita hinchar, produciendo la barrera de sellado compactada. La normativa varía de un país a otro en cuanto a los valores que tienen que cumplir las arcillas compactadas para dicho fin.

Esta utilidad de las bentonitas como material de sellado se basa fundamentalmente en algunas de sus propiedades características, como son: su elevada superficie específica, gran capacidad de hinchamiento, buena plasticidad y lubricidad, alta impermeabilidad, baja compresibilidad. Las bentonitas más utilizadas para ese fin son las sódicas, por tener mayor capacidad de hinchamiento.

Así mismo, se utilizan bentonitas sódicas como material impermeabilizante y contenedor en los siguientes campos:

- a) **Como contenedores de aguas frescas:** Estanques y lagos ornamentales, campos de golf, canales.
- b) **Como contenedores de aguas residuales:** Efluentes industriales (balsas).
- c) **En suelos contaminados:** Cubiertas, barreras verticales y sellado de pozos de aguas subterráneas contaminadas.
- d) **En depósitos de residuos radiactivos:** Repositorios subterráneos, sellado de fracturas en granitos, etc.

Ingeniería Civil.

Las bentonitas se empezaron a utilizar para este fin en Europa en los años 50, y se desarrolló más tarde en Estados Unidos. Se utiliza para cementar fisuras y grietas de rocas, absorbiendo la humedad para impedir que esta produzca derrumbamiento de túneles o excavaciones, para impermeabilizar trincheras, estabilización de charcas, etc. Para que puedan ser utilizadas han de estar dotadas de un marcado carácter tixotrópico, viscosidad, alta capacidad de hinchamiento y buena dispersabilidad. Las bentonitas sódicas o cálcicas activadas son las que presentan las mejores propiedades para este uso.

Los usos en este campo se pueden resumir en:

- a) Creación de membranas impermeables en torno a barreras en el suelo, o como soporte de excavaciones.
- b) Prevención de hundimientos. En las obras, se puede evitar el desplome de paredes lubricándolas con lechadas de bentonita.
- c) Protección de tuberías.
- d) Como lubricante y rellenando grietas.
- e) En cementos: aumenta su capacidad de ser trabajado y su plasticidad.
- f) En túneles: Ayuda a la estabilización y soporte en la construcción de túneles. Actúa como lubricante (un 3-5 % de lodo de bentonita sódica mantenida a determinada presión soporta el frente del túnel). También es posible el transporte de los materiales excavados en el seno de fluidos benoníticos por arrastre.
- g) En tomas de tierra: Proporciona seguridad en el caso de rotura de cables enterrados.
- h) Transporte de sólidos en suspensión.

Alimentación animal.

Una aplicación de las bentonitas que está cobrando importancia en los últimos tiempos es su utilización como ligante en la fabricación de alimentos pelletizados para animales. Se emplea en la alimentación de pollos, cerdos, pavos, cabras, corderos, y ganado vacuno, fundamentalmente. Actúa como ligante y sirve de soporte de vitaminas, sales minerales, antibióticos y de otros aditivos. En 1992 se empezó a fabricar con bentonitas un innovador producto comestible denominado "Repotentiated Bentonite (RB)". Según estudios del "Poultry Research Institute" el aporte de pequeñas cantidades de bentonitas (1 %) a la alimentación de aves de corral reporta importantes beneficios: se incrementa la producción de huevos en un 15 %, su tamaño en un 10 % y la cáscara se hace más dura.

La bentonita tiene una doble misión: actúa como promotor del crecimiento y como atrapador de toxinas. Esto se debe a que el alimento mezclado con bentonita, debido a su gran capacidad de adsorción, permanece más tiempo en la zona intestinal, la arcilla adsorbe el exceso de agua, y hace que los nutrientes permanezcan más tiempo en el estómago, siendo mayor su rendimiento (mayor producción). Por otro lado adsorben toxinas, no pudiendo éstas, por tanto, atravesar las paredes intestinales. La mayor adsorción de agua de los nutrientes, además, hace que los excrementos sean menos húmedos, así los lechos permanecen más tiempo limpios y se reduce la probabilidad de epidemias y la proliferación de moscas y parásitos. Las aves que comen este tipo de alimentos excretan un 26 % más de toxinas y adsorben un 42 % más de proteínas.

Catálisis.

El uso de aluminosilicatos en diferentes campos de la catálisis es tan antiguo como el propio concepto de catálisis. Son muchas las aplicaciones de las arcillas como catalizadores o soporte de catalizadores en diferentes procesos químicos. Así, son utilizadas en reacciones de desulfuración de gasolina, isomerización de terpenos, polimerización de olefinas, cracking de petróleo, etc.

Las propiedades catalíticas de las bentonitas son resultado directo de su elevada superficie específica y tipo de centros activos. La pilarización consiste en introducir, en el espacio interlaminar de una esmectita, un polícatión muy voluminoso que, tras calcinación, da lugar a un óxido estable que determina una porosidad fija y permanente de tamaño controlado (tamices moleculares).

Industria Farmacéutica.

Desde hace tiempo las arcillas se vienen usando como excipiente por la industria farmacéutica. Debido a que no son tóxicas, ni irritantes, y a que no pueden ser absorbidas por el cuerpo humano se utilizan para la elaboración de preparaciones tanto de uso tópico como oral. Se utiliza como adsorbente, estabilizante, espesante, agente suspensor y como modificador de la viscosidad.

Su principal uso es la preparación de suspensiones tópicas, geles y soluciones. Cuando se usa como parte de una preparación oral, su naturaleza adsorbente puede enmascarar el sabor de otros ingredientes, o puede relentizar la liberación de ciertos fármacos catiónicos (la hectorita y la saponita se utilizan como fármacos o drogas retardantes). Como en el resto de los excipientes, las cantidades que se requieren son pequeñas. Generalmente las concentraciones de bentonita como agente de soporte es del 0,5-5 % y del 1-2 % cuando se usa como adsorbente.

Otros usos.

Las posibles aplicaciones de las bentonitas son tan numerosas que es casi imposible citarlas todas. Además de los campos de aplicación industrial indicados anteriormente, las bentonitas se utilizan:

- a) En la industria de detergentes, como emulsionante y por su poder ablandador del agua, debido a su elevada capacidad de intercambio catiónico.
- b) Par la fabricación de pinturas, grasas, lubricantes, plásticos, cosméticos, se utilizan arcillas organofílicas, capaces de hinchar y dispersarse en disolventes orgánicos, y utilizarse, por lo tanto, como agentes gelificantes, tixotrópicos o emulsionantes.

- c) Para desarrollar el color en leucocolorantes, en papeles autocopiativos, se utilizan bentonitas activadas con ácido.
- d) En agricultura, para mejorar las propiedades de suelos arenosos o ácidos. Así mismo se utilizan esmectitas sódicas para recubrir ciertos tipos de semillas, de forma que su tamaño aumente, y resulte más fácil su distribución mecánica, a la vez que se mejora la germinación.
- e) En la obtención de membranas de ósmosis inversa, para la desalinización de aguas.

2.7.1.5 *Paligorskita y Sepiolita*

Las arcillas con paligorskita o sepiolita como mineral mayoritario son raras. Son arcillas conocidas desde antiguo. Los mayas fabricaban el azul Maya con paligorskita. La sepiolita se ha utilizado desde antiguo para fabricar pipas (pipas de espuma de mar). Además entre 1735 y 1808 se preparaba con sepiolita de Vallecas la pasta de la famosa porcelana del buen Retiro.

En Vallecas está el yacimiento más importante del mundo de este mineral. Los usos de estas dos sustancias son consecuencia de sus propiedades reológicas, tixotropía, alta superficie específica, baja capacidad de cambio y, sobre todo, su elevado poder absorbente. Por ello se utilizan en:

- a) Como absorbentes, para lechos de animales, suelos.
- b) Como soporte en aerosoles y aerogeles para pesticidas y fertilizantes.
- c) Por sus propiedades adsorbentes, en la purificación de productos de petróleo, azúcar.
- d) En procesos de filtración, floculación y clarificación.
- e) Por sus propiedades reológicas, en los dos de perforación con base de agua salada, farmacia, pinturas, resinas, cosmética.
- f) En cerámica y aislantes.
- g) En nutrición animal.

2.7.2 *Minerales de la arcilla*

Las arcillas aptas para la fabricación de ladrillo cerámico deben contener SiO₂ entre el 64,1-83,1 %, Al₂O₃ entre el 21,6-27,1 % y 3,0-6,1 de Fe (*Duitama, 2004*).

Ilita

El fenómeno de deshidroxilación se produce, en general, entre los 600° y 700°C; las ilitas alumínico-férricas lo hacen entre 450° y 550°C, mientras que las magnésico-ferrosas tienen un proceso más lento. Esta pérdida de agua no afecta a la estructura, manteniéndose la ilita en su forma anhidra hasta los 850°-1.000°C (*Bohor, 1959*). Las fases que aparecen al destruirse la ilita son: espinela, que se mantiene hasta los 1.200°C; mullita, que aparece a partir de la formación de vidrio desde los 1.100°C, si bien en arcillas cuyo contenido en ilita es muy elevado aparece entre 900° y 950°C (*Bohor, 1959*).

Los trabajos realizados por Bohor, muestran que la espinela aparece alrededor de los 1.000°C estando en relación con el grado de cristalinidad de la ilita; así mismo, encuentra que la mullita aparece a partir de los 1.200°C; junto a estas fases aparecen también forsterita, cuarzo, corindón y kalsilita (*Bohor, 1959*). La gran cantidad de hierro y alcalinos que contienen las ilitas favorece la formación de vidrio, hecho que contribuye a que el desarrollo de fases a partir de ellas sea cuantitativamente pobre en general y nulo en aquellas que tienen un contenido alto en estos elementos (*Grim & Kulbicki, 1957*).

Caolinita

Este mineral pierde su agua estructural a una temperatura de 500°C, transformándose en metacaolinita mediante la deshidroxilación. Si el aumento térmico continúa hasta 1.000°C se produce una reacción exotérmica que da lugar a la formación de dos nuevas fases: alúmina y mullita. La primera es producto de la destrucción de la capa con estructura de gibsitita, mientras que la mullita, al igual que la cristobalita, surge durante la transformación de la sílice en vidrio. Según los estudios de Brindley y Nakahira, la metacaolinita sometida a una temperatura de 950°C favorece la formación de una estructura de espinela con liberación de SiO₂, transformándose la espinela en mullita y la sílice en cristobalita (*Brindley & Ali, 1950*).

La presencia de elementos traza e impurezas en la caolinita, sometida a altas temperaturas, influirán decisivamente en sus transformaciones. La existencia de zinc, litio, magnesio e hierro contribuyen a la formación de mullita, mientras que el calcio la afecta ligeramente; el sodio, potasio y titanio la retardan. Con respecto a la cristobalita, la presencia de potasio reduce su formación mientras que la de calcita, flúor y magnesio la favorece; el sodio también reduce su formación, aunque en menor grado que el potasio (*Brindley & Ali, 1950*).

Clorita

Su comportamiento térmico ha sido estudiado por Brindley y Ali sobre cloritas macrocristalinas. Han podido diferenciar dos momentos de deshidroxilación: uno entre 400° y 650°C realizado en las capas brucíticas, y otro, con temperaturas de 800°-850°C que afecta a las capas con estructura de mica. La pérdida de la estructura permite la formación de olivino que se presenta con una estructura orientada. Alrededor de los 1.100°C pueden aparecer espinela y enstatita. Las temperaturas estimadas para la formación de nuevas fases a partir de las cloritas son muy variadas, dependiendo sobre todo del grado de cristalinidad de las mismas y de su composición química, que puede ser muy variable (*Brindley & Ali, 1950*).

Esmectitas

Su deshidroxilación se produce entre los 500° y 700°C, estableciéndose una distinción entre las montmorillonitas férrico-alumínicas y magnésicas. Las primeras reaccionan a temperaturas bajas, mientras que las segundas necesitan altas temperaturas. Mantienen la estructura anhidra hasta los 800°-900°C. Las fases cristalinas que se forman al ser sometidas a altas temperaturas están en función de su composición mineralógica y de la variedad estructural. Las transformaciones sufridas originan la formación de espinela, anortita, enstatita, cristobalita, cuarzo y cordierita. Estas fases persisten hasta los 1.300°C o más.

2.7.3 *Propiedades fisicomecánicas de las arcillas*

2.7.3.1 *Densidad.*

Viene dada por la relación entre la masa y el volumen de una muestra de marial. Esta propiedad baria ligeramente con los cambios de temperatura y presión en la mayoría de los sólidos (*Sarway & Jenrry, 2001*).

La densidad se define matemáticamente como:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Donde:

P: Densidad (Kg/m³)

M: Masa (Kg)

V: Volumen (m³)

2.7.3.2 Porosidad.

Fracción agua/gases. Los espacios o poros que hay entre partículas sólidas (orgánicas e inorgánicas) del suelo, contienen diversas cantidades de dos componentes inorgánicos clave: el agua y el aire. El agua es el principal componente líquido de los suelos y contiene sustancias minerales, oxígeno (O₂) y bióxido de carbono (CO₂) en disolución, mientras que la fase gaseosa en los suelos está constituida por aire. Dependiendo del contenido de humedad del suelo, los poros se encuentran ocupados por agua o por aire (*Aguilera, 1989*).

2.7.3.3 Cocción.

Los minerales de la arcilla al ser sometidos a un proceso de calentamiento sufren una serie de transformaciones que van desde la deshidratación, paso inicial del cambio, hasta la aparición de una fase vítrea que constituye el fin del proceso. Desde que se produce la pérdida de agua existente en la estructura hasta la aparición de la mencionada fase vítrea, se desarrollan unos cambios intermedios tales como: deshidroxilación, destrucción de la estructura cristalina y formación de nuevas fases cristalinas. Todas estas alteraciones pre-sentan un carácter estrictamente evolutivo. Ambos procesos, de descomposición el primero y de formación el segundo, traen consigo la aparición de un nuevo material cuya estructura ha sido definida como un sólido policristalino con una matriz amorfa y vítrea (*Wachtman Jr, 1967*).

El grado de vitrificación se encuentra, por tanto, modificado por la composición mineralógica y la gradación de tamaño de grano existente. Las caolinitas lo presentan muy alto mientras que en las ilitas y cloritas es inferior. Así mismo, la presencia del calcio en la pasta provocará una reducción de dicho grado y un efecto brusco debido a la formación de un vidrio fluido; en algunas arcillas actuará como elemento refractario impidiendo que se alcance la temperatura de fusión y favoreciendo la estabilización de propiedades como la contracción, porosidad, etc., antes de alcanzar la fusión total. Propiedades similares a las del calcio las imprime también el magnesio aunque en menor grado (*Everhart, 1957*).

2.7.3.4 Plasticidad.

Las arcillas son eminentemente plásticas. Esta propiedad se debe a que el agua forma una envuelta sobre las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas. La elevada plasticidad de las arcillas es consecuencia, nuevamente, de su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeño (elevada área superficial) y alta capacidad de hinchamiento.

Generalmente, esta plasticidad puede ser cuantificada mediante la determinación de los **índices de Atterberg** (Límite **Líquido**, Límite **Plástico** y Límite de **Retracción**) (*Jimenez , 1975*).

2.7.3.5 Moldeo

El carácter plástico de las arcillas, factor que las convierte en el material idóneo para la fabricación de piezas cerámicas, se debe a su tamaño de partícula, forma laminar y propiedades cristalquímicas de su superficie, aspectos que permiten que se produzca una interacción con cualquier líquido polar, como por ejemplo el agua.

Las arcillas secas o mezcladas con líquidos apolares pierden su plasticidad. Otro factor determinante de ella, será la presencia en la estructura de cationes de cambio rodeados de moléculas de agua orientadas, imprimiendo mayor o menor plasticidad en función de su poder polarizante (*Kingery, 1960*). La hidratación de una arcilla se produce al unirse entre sí las moléculas de agua con átomos de oxígeno e hidróxilos de la red silicatada mediante la existencia de puentes de hidrógeno. Esta capacidad de hidratarse la encontramos tanto en la superficie como en los espacios interlaminares provocando un hinchamiento intracrystalino. El agua absorbida se dispone de una manera ordenada, siendo más perfecta esta ordenación a medida que nos acercamos a la superficie (*Martin , 1962*).

2.7.3.6 La Resistencia a la Compresión simple

Las unidades que se empleen en la construcción de muros de mampostería confinada deben tener al menos las resistencias mínimas que se proporcionan en la figura 1-5. La resistencia especificada corresponde a la fuerza de rotura dividida entre el área bruta de bloque o ladrillo (*NEC-VIVIENDA, 2015*)

Tipo de Unidad	f'_{cu} (MPa)
Ladrillo macizo	2
Bloque de perforación horizontal de arcilla	3
Bloque de perforación vertical de hormigón o de arcilla	3

Figura 2-8 Valores mínimos para la resistencia de las unidades f'_{cu}

Fuente: CPE INEN-NEC-SE-VIVIENDA, 26-10.

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

Es el máximo esfuerzo que un material es capaz de desarrollar cuando se aplica una fuerza normal a determinada superficie de este, generando una deformación constituida por una contracción longitudinal y un ensanchamiento transversal (*NEC-VIVIENDA, 2015*).

La resistencia a la compresión se define matemáticamente como:

$$R_c = \frac{F_c}{A}$$

Donde:

Rc: Resistencia a la Compresión (Pa).

Fc: Fuerza de Compresión(N).

A: Área de Incidencia (m^2).

2.8 Clasificación de las arcillas según el sistema AASHTO y USCS.

2.8.1 Clasificación de las arcillas según el sistema AASHTO

En EEUU nace en 1929 uno de los primeros sistemas de clasificación, el cual fue creado para evaluar los suelos sobre los cuales se contraían las carreteras, es así como nace en 1945 el sistema **AASHO**, el cual ha derivado en la actualidad como **AASHTO**. Este sistema describe un procedimiento para clasificar a los suelos en un total de 7 grupos, basándose en los ensayos de laboratorio de granulometría, Limite líquido e índice de plasticidad. A la vez esto se evalúan en un “índice de grupo” la cual se calcula con la siguiente formula empírica:

$$IG = (F - 35)[0.2 + 0.005(W_L - 40)] + 0.01(F - 15)(IP - 10)$$

Donde:

F= Porcentaje que pasa por el tamiz de abertura 0.08mm, expresado en números enteros.

W_L = Limite Líquido.

IP= Indice de Plasticidad.

2.8.2 Clasificación de las arcillas según el sistema USCS

Los límites de Atterberg son ensayos de laboratorio normalizados que permiten obtener los límites del rango de humedad dentro del cual el suelo se mantiene en estado plástico. Con ellos, es posible clasificar el suelo en la Clasificación Unificada de Suelos.

Para realizar los límites de Atterberg se trabaja con todo el material menor que la malla #40 (0.42 mm). Esto quiere decir que no solo se trabaja con la parte fina del suelo (< malla #200), sino que se incluye igualmente la fracción de arena fina.

Contenido de humedad (w)

Razón entre peso del agua y peso del suelo seco de una muestra. Se expresa en porcentaje:

$$W = \frac{w_w}{w_s} \times 100$$

Donde:

w_w : Peso agua.

w_s : Peso suelo seco.

Límite Líquido (wL o LL)

Contenido de humedad del suelo en el límite entre el estado semi-líquido y plástico.

$$LL = \frac{mh - M_{ss}}{ms} \times 100$$

Donde:

w_w : Peso agua.

w_s : Peso suelo seco.

Limite Plástico (wp o LP)

Es el contenido de humedad del suelo en el límite entre los estados semi-sólido y plástico.

$$LP = \frac{mh - M_{ss}}{ms} \times 100$$

Donde:

LP= Limite Plástico.

Msh= Masa del suelo húmedo en gr

Mss= Masa del suelo seco, en gr.

Indice de Plasticidad (IP)

Es la diferencia entre los límites líquido y plástico, es decir, el rango de humedad dentro del cual el suelo se mantiene plástico:

$$IP = L_L - L_P$$

Donde:

w_w : Peso agua.

w_s : Peso suelo seco.

2.9 Espectro Electromagnético y Rayos X

Los Rayos X se descubrieron en 1895 por el físico alemán Röntgen y recibieron ese nombre porque se desconocía su naturaleza en ese momento. En 1912 se estableció de manera precisa la naturaleza de los rayos X. En ese año se descubrió la difracción de rayos x en cristales y este descubrimiento probó la naturaleza de los rayos X y proporcionó un nuevo método para investigar la estructura de la materia de manera simultánea.

Los R-X son radiación electromagnética de la misma naturaleza que la luz pero de longitud de onda mucho más corta. La unidad de medida en la región de los r-x es el angstrom (\AA), igual a 10^{-10} m y los rayos x usados en difracción tienen longitudes de onda en el rango 0.5-2.5 \AA mientras que la longitud de onda de la luz visible está en el orden de 6000 \AA .

2.9.1 Espectroscopia de Fluorescencia de Rayos X

La fluorescencia de rayos X (FRX) es una técnica espectroscópica que utiliza la emisión secundaria o fluorescente de radiación X generada al excitar una muestra con una fuente de radiación X. La radiación X incidente o primaria expulsa electrones de capas interiores del átomo. Los electrones de capas más externas ocupan los lugares vacantes, y el exceso energético resultante de esta transición se disipa en forma de fotones, radiación X fluorescente o secundaria, con una longitud de onda característica que depende del gradiente energético entre los orbitales electrónicos implicados, y una intensidad directamente relacionada con la concentración del elemento en la muestra.

2.9.1.1 Aplicaciones

La FRX tiene como finalidad principal el análisis químico elemental, tanto cualitativo como cuantitativo, de los elementos comprendidos entre el flúor (F) y el uranio (U) de muestras sólidas (filtros, metales, rocas, muestras en polvo, tejidos, etc.) y líquidas porque permite hacerlos sin preparación de la muestra. El único requisito es que ésta tenga un tamaño inferior al del portamuestras. Están excluidos el H, Li, ^{61}Pm , ^{43}Tc , ^{84}Po , ^{85}At , los gases nobles (excepto el argón) y los actínidos del ^{89}Ac al ^{103}Lr (excepto ^{90}Th y ^{92}U). Como complemento a las determinaciones cualitativas se dispone del programa informático IQ+ para realizar análisis semicuantitativos en todo tipo de muestras. Este software corrige las interferencias espectrales más habituales y los efectos matrices para parámetros fundamentales.

2.9.2 Difracción de Rayos X (XRD o DRX)

La difracción de rayos X (XRD o DRX) permite la rápida identificación de materiales particulados, arcillas y otros minerales. Proporciona información detallada acerca de la estructura cristalográfica de sus muestras, que puede utilizarse para identificar las fases presentes. XRD o DRX.

2.9.2.1 Aplicación

Es especialmente útil para la identificación de fases de grano fino que son difíciles de identificar por otros métodos como la microscopía óptica, el microscopio electrónico de barrido/espectrómetro por dispersión de energía (SEM/EDS) o la evaluación cuantitativa de materiales por microscopía electrónica de barrido (QEMSCAN™). Antes normalmente se usaba la DRX para determinar conjuntos de minerales en masa en rocas, arcillas, menas, macropartículas y productos metalúrgicos. Proporciona un método semicuantitativo para determinar los porcentajes normativos o de peso de las fases presentes, incluyendo la fracción de cada fase mineral contenida en sus muestras.

2.10 El Ladrillo

Según norma técnica ecuatoriana define al ladrillo como un elemento prismático rectangular de dimensiones normalizadas, teniendo que en la fabricación se debe utilizar métodos actualizados para su utilización (*INEN 607, 1981*). Son piezas prefabricadas de marial arcilloso, que constituye uno de los principales materiales de la construcción, utilizándose para la formación de todo tipo de obras de infraestructura.

2.10.1 Geometría de un Ladrillo

Existen distintas denominaciones tanto para las aristas y caras del ladrillo las aristas de un ladrillo reciben la denominación de Soga: Arista mayor, Tizón: Arista media y Grueso: Arista menor.

Las caras reciben la denominación de Tabla: Cara mayor – soga por tizón, Canto: Cara media – soga por grueso y Testa: Cara menor – tizón por grueso (*Barreto , 2013*)

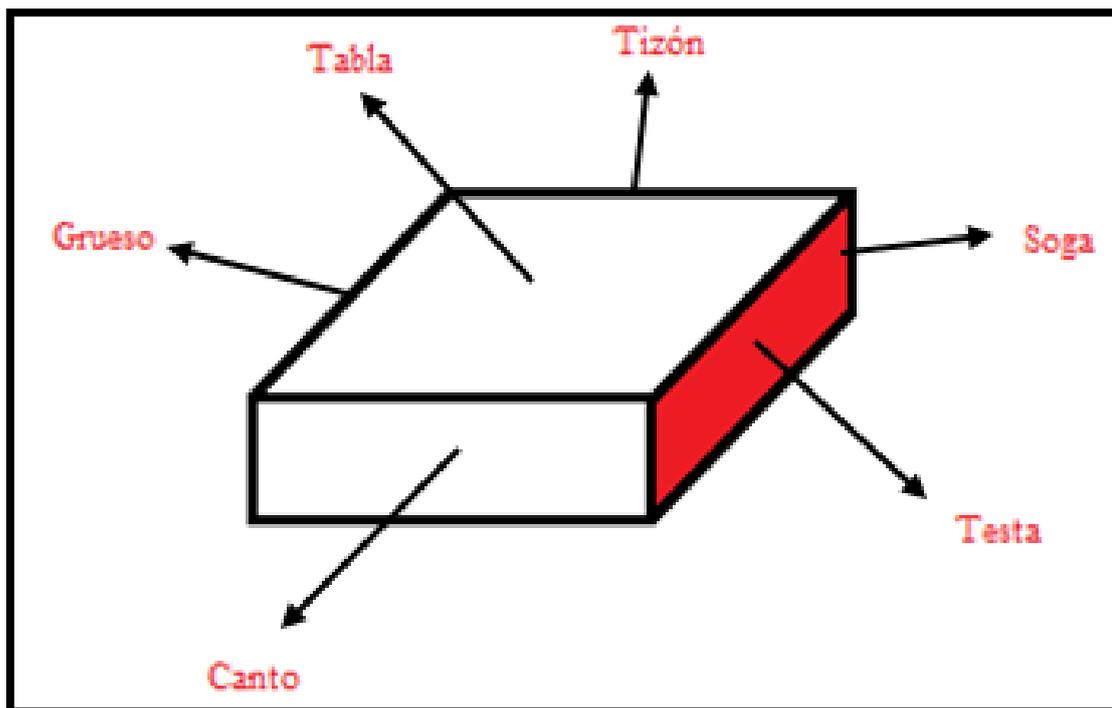


Figura 2-9 Partes de un ladrillo macizo compuesto por (Aristas y Caras)

Realizado por: Wisum Robert, 2018.

2.10.2 Clasificación de los ladrillos

La norma técnica ecuatoriana NEC clasifica al ladrillo cerámico de arcilla en dos grandes grupos: ladrillo macizo y perforado (NEC 297, 1977)

2.10.2.1 Ladrillos macizos

Su denominación se debe por la forma de ortoedro-poliedro con seis caras paralelas e iguales dos a dos compacta Y Existen tres tipos de ladrillos macizos; de tipo A, B y C de acuerdo a la clasificación realizada por la NEC 297.

2.10.2.1.1 Ladrillos macizo tipo A

Se los denomina de tipo A por su resistencia a compresión simple siendo la mínima de 20 MPa por unidad de ladrillo. Aristas y ángulos rectos, no debe poseer eflorescencias y en general debe ser un ladrillo de alta calidad que se logra principalmente mediante reprensado (NEC 297, 1977)

2.10.2.1.2 Ladrillos macizo tipo B

A diferencia del ladrillo tipo A, este puede ser fabricado a mano pudiendo tener imperfecciones en sus caras y aristas, por tal razón existe una tolerancia de hasta 5 milímetros de reducción en su longitud en sus aristas, de color rojizo y una resistencia a compresión simple de mínima de 14 MPa.

2.10.2.1.3 Ladrillos macizo de tipo C

La resistencia a compresión simple es mínima de 6Mpa, de similares características que del tipo B diferenciándose esencialmente en el límite permisivo para la variación de sus caras y aristas con un valor de 5 mm a 1 cm (*NEC 297, 1977*).

2.10.2.2 Ladrillos huecos

Su denominación se debe por la forma ortoedrica-poliedros con seis caras paralelas e iguales dos a dos con taladros en sus tablas de volumen entre el 10 y 33% del total del ladrillo y tiene que ser fabricados a máquina, no debe poseer deformaciones en sus caras y aristas, existen tres tipos de ladrillos huecos que la norma existe las cuales son: de tipo D, E y F (*NEC 297, 1977*).

2.10.2.2.1 Ladrillos huecos de tipo D

Este ladrillo tiene que poseer una resistencia a compresión simple mínima de 5 MPa por unidad de ladrillo es utilizado en infraestructura de viviendas y muros (*NEC 297, 1977*).

2.10.2.2.2 Ladrillos huecos de tipo E

El ladrillo tipo E podrá ser utilizado en obras de infraestructura y tiene que poseer una resistencia a compresión simple mínima de 4Mpa por unidad de ladrillo (*NEC 297, 1977*).

2.10.2.2.3 Ladrillos huecos de tipo F

Este tipo de ladrillo tiene una funcionalidad específica como relleno de losas alivianadas de hormigón armado, con una resistencia a compresión simple mínima de 3Mpa por unidad de ladrillo.

CAPÍTULO III

3 MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.1 Metodología

Para alcanzar los objetivos propuestos en el anteproyecto técnico de titulación, se acude al empleo de la investigación científica, a través de técnicas de la investigación.

3.1.1 *Primera fase*

Documentación.- El trabajo se realizó recopilando la información disponible como: mapas topográficos, mapa geológico regional y estudios anteriores realizados para la construcción de la vía Macas- Sucúa, con esta información se pudo definir la línea base para el desarrollo de la investigación de campo.

Previa a la salida de campo, se elaboró un mapa preliminar con la mallas de prospección y se dividió el área de estudio en zonas que consideran la topografía y geológica. La recopilación de la información digital para el marco teórico tiene como fuentes la web y documentos disponibles en la universidad.

3.1.2 *Segunda fase*

Investigación de campo. – Con la ayuda de un GPS y el mapa con la malla de prospección georreferenciada, se realizó la prospección geológica y recolección de muestras.

Una vez recolectadas las muestras en fundas son debidamente etiquetas para que facilite su identificación. Las muestras obtenidas son enviadas al laboratorio para los análisis respectivos.

Con los resultados obtenidos de laboratorio se selecciona las materias primas a utilizar en la dosificación dentro del proceso de la fabricación de ladrillo artesanal. Las materias primas seleccionadas son secadas al ambiente durante 48 horas para continuar con la tercera etapa de la fabricación.

3.1.3 Tercera fase

Trabajo de oficina final. - Una vez desarrollada la investigación de campo y laboratorio, se procede a digitalizar e interpretar los resultados, caracterizando las propiedades Física, Química y Mecánica de las arcillas, definiendo así su uso en la fabricación de ladrillo artesanal.

Con los datos obtenidos de laboratorio se determina el método más idóneo de según el diagrama de flujo del proceso de fabricación del ladrillo artesanal, partiendo desde obtención de la materia prima en la mina hasta la obtención del ladrillo.

El ladrillo elaborado es sometido al ensayo de compresión simple, con este dato podemos definir la calidad del ladrillo. Con los datos litológicos y estructurales tomados en campo se realizará el diseño de un modelo geológico del depósito de arcilla.

Los datos litológicos obtenidos en el campo son utilizados para el diseño de la columna estratigráfica. Luego de los análisis de los resultados obtenidos podemos elaborar las conclusiones y recomendaciones.

3.2 Trabajo de Campo

Se planificó de manera organizada, recorriendo cada una de las zonas de interés, recolectando muestras representativas con el método de muestreo aleatorio sistemático.

3.2.1 Muestreo aleatorio sistemático

Este método consiste en la selección según un patrón de búsqueda que se inicia con una elección aleatoria, considerando una población N de elementos de aquí se deduce que un elemento poblacional no podrá aparecer más de una vez en la muestra. La muestra tomada en campo será representativa de la población pero introduce algunos rasgos cuando la población está ordenada en función de determinados criterios de la investigación (*Busillo & López, 1997*).

3.2.2 Malla de Prospección de la zona de estudio

Brinda la posibilidad de localizar y ubicar los puntos de muestreo en el mapa, Permitiendo la interpretación geológica adecuada del depósito de interés.

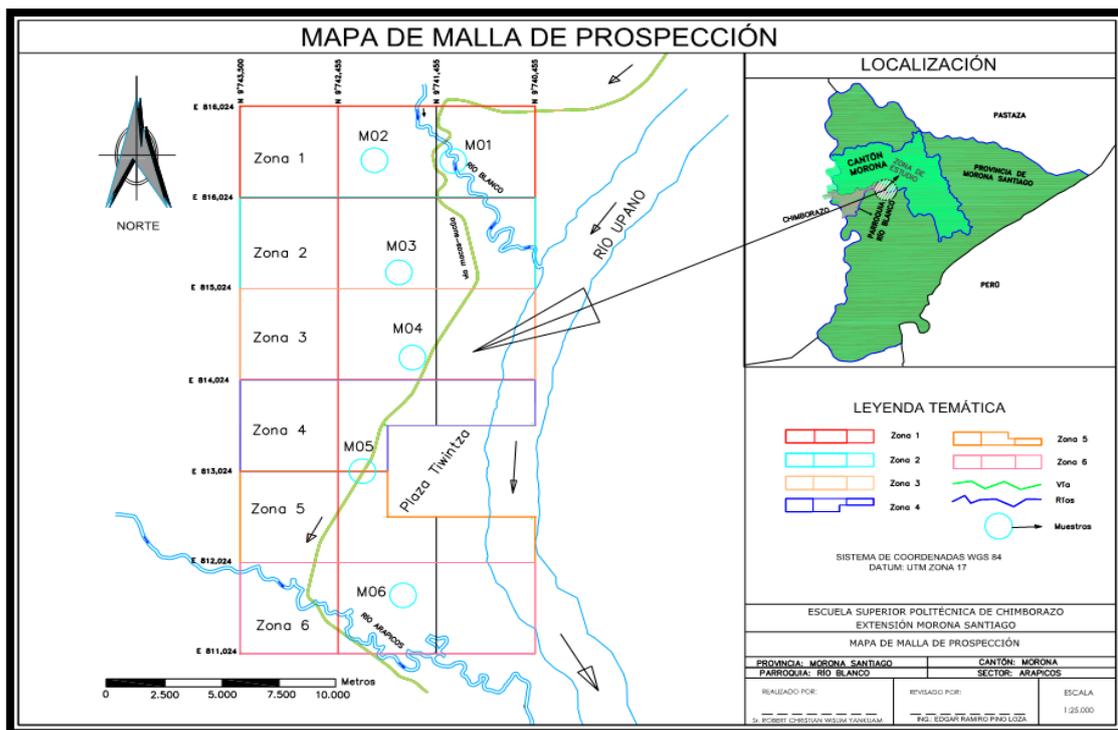


Figura 3-1 Mapa de malla de Muestreo

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

3.2.3 Selección del área de Muestreo

Con la ayuda de un GPS Exter X30 y la malla de prospección se realizó una descripción litológica en los depósitos de interés que ocurren a lo largo del marge derecho de la vía Macas – Sucúa, como se observa en el modelo geológico (ver anexo C).

3.2.4 Etiqueta de la muestra.

Tabla 3-1 Etiqueta de la Muestra

ETIQUETA DE LA MUESTRA	
Descripción	Información
Nombre de la Institución o empresa	ESPOCH
Ubicación del proyecto	Arapicos
Nombre del proyecto	Tesis de Grado
Técnica de muestreo	Aleatorio sistemático
Responsable	Robert Wisum
Lugar de muestreo	Coordenadas UTM WGS 84
Profundidad de la toma	0-5m
Código de la muestra	13107102017
Fecha y hora de muestreo	30/22/2017

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

3.2.5 *Recolección de muestras*

Consiste en la recolección de muestras representativas en afloramientos y cortes de talud presentes en el área. Para ello se empleó herramientas manuales como; pala, libreta de campo, GPS, balanza de mano y una funda Ziplok, las muestras recolectadas se envió a laboratorio para el ensayo químico y físico.

Las **muestra 1 y 2** se recolectó en el suelo residual de la formación Mera, realizando un corte en V con la ayuda de la pala de mano, a una profundidad de 50cm desde la superficie, el área de muestreo se encuentra ubicado entre la abscisa 12+850.52 m junto al marge derecho de la vía Macas-Sucúa. Una vez recolectadas las muestras se puso en la funda ziplok sellando con cinta de embalaje y su etiqueta, quedando lista para su envío a laboratorio.

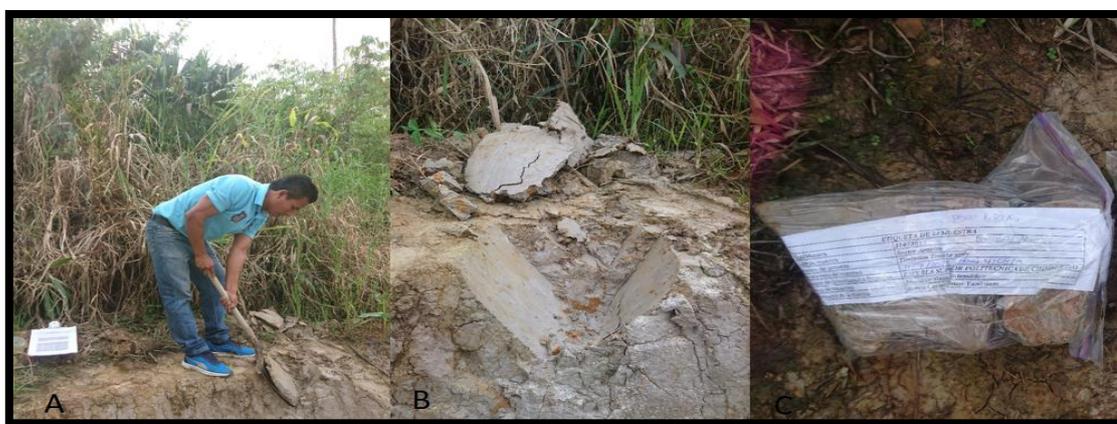


Figura 3-2 Recolección de la muestra 1 y 2 Suelo residual de la Formación Mera

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

Las **muestra 3 y 4**, se recolecto de arcillas de la formación Tena, con la ayuda de la pala de mano realizando un corte en V a una profundidad de 3m, el área de muestreo se encuentra ubicado en la abscisa 10+700.58m junto al margen derecho de la vía Macas-Sucúa. Una vez recolectadas las muestras se puso en la funda Ziplok sellando con cinta de embalaje y su etiqueta, quedando lista para su envío a laboratorio. (Ver figura 3-3)



Figura 3-3 Recolección de la muestra 2 y 3 Arcilla roja de la Formación Tena

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

La **muestra 5** se recolecto de arcilla limosa con presencia de clastos de cuarzo lechoso de la formación Mera, con la ayuda de la pala de mano se realizó un corte en V de 30cm de profundidad en el afloramiento, el área de muestro se encuentra ubicado a 200m desde la abscisa 7+605.20m en dirección noreste junto al marge derecho de Rio Blanco. Una vez recolectadas la muestra se puso en la funda Ziplok sellando con cinta de embalaje y su etiqueta, quedando lista para su envío a laboratorio. (Ver figura 3-4)



Figura 3-4 Recolección de la muestra 4 Arcilla limosa de la Formación Mera
Elaborado por: Wisum, R. 2018.

La **muestra 6** se recolecto en arcillas de color rojo y negro de la formación Tena, con la ayuda de una pala de mano se realizó un corte en V de 25cm de profundidad en el afloramiento, el área de muestreo se encuentra ubicado a 650m partiendo desde la abscisa 7+754.56m dejando la vía de Macas-Sucúa en dirección noroeste junto al margen izquierdo dela vía de tercer orden antes de llegar a la comunidad Paus. Una vez recolectadas la muestra se puso en la funda Ziplok sellando con cinta de embalaje y su etiqueta, quedando lista para su envío a laboratorio. (Ver figura 3-5)



Figura 3-5 Recolección de la muestra 5 y 6 Arcilla roja y negra de la Formación Tena
Elaborado por: Wisum, R. 2018.

3.3 Ensayos de Laboratorio

Para la caracterización fisicoquímicas y fisicomecánicas de las arcillas, se procede a analizar 6 muestras de las formaciones Tena y Mera. Se realizaron los siguientes ensayos:

- a) **Químico:** Difracción de Rayo X (DFX) y Fluorescencia de Rayos X (FRX).
- b) **Físico:** Granulometría, Humedad Natural, Limite líquido y plástico, Índice de plasticidad y Capacidad de absorción.
- c) **Mecánicos:** Esfuerzo a compresión simple.

3.3.1 Ensayos Químicos

Los ensayos químicos se realizaron gracias a la colaboración de la Escuela Politécnica Nacional de Quito, a través del departamento de metalurgia extractiva. (Ver anexo A).

Los ensayos físicos y mecánicos se realizaron gracias a la colaboración del laboratorio de suelos del Consejo Provincial de Morona Santiago. (Ver anexo B).

3.3.1.1 Espectroscopia de Fluorescencia de Rayos X (FRX).

Este método consiste en una técnica espectroscópica que utiliza la emisión secundaria o fluorescente de radiación X generada al excitar una muestra con una fuente de radiación X. La radiación X incidente o primaria expulsa electrones de capas interiores del átomo. El método tiene como finalidad principal el análisis químico elemental, tanto cualitativo como cuantitativo, de los elementos comprendidos entre el flúor (F) y el uranio (U) de muestras sólidas y líquidas porque permite hacerlos sin preparación de la muestra. Para desarrollar el ensayo se utilizó el equipo de Fluorescencia de Rayos X S8 Tiger, con el programa Spectra Plus.

Procedimiento del ensayo:

Existe básicamente cuatro métodos de preparación de la muestra para lograr que las arcillas se separen de la muestra para luego ser concentradas: (a) **disgregación mecánica**, (b) disgregación por hidratación, (c) disgregación criogénica, (d) trituración. Los métodos pueden dividirse de la mezcla de los anteriores (*Mantilla, 2003*).

Disgregación mecánica:

- a) Quitamos la muestra de la funda y desmenuzamos ponemos en un recipiente.
- b) Cuarteamos y trituramos la muestra una porción representativa de cada parte del cuarteo.
- c) Pulverizamos la muestra.
- d) Colocamos la muestra en la máquina de Rayos X S8 Tiger.
- e) Analizamos los datos que emite la maquina a través del programa.

Tabla 3-2 Ensayo de fluorescencia de rayos X

ENSAYO DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X							
<i>Elemento</i>	<i>Muestra</i>	<i>Oxido</i>	<i>Muestra</i>	<i>Elemento</i>	<i>Muestra</i>	<i>Oxido</i>	<i>Muestra</i>
	<i>Caolín</i>		<i>Caolín</i>		<i>Arcilla</i>		<i>Arcilla</i>
	<i>(S. Residual)</i>		<i>(S. Residual)</i>		<i>31072017</i>		<i>31072017</i>
	<i>Contenido</i>		<i>Valor</i>		<i>Contenido</i>		<i>Valor</i>
	<i>(%)</i>		<i>Calculado</i>		<i>o (%)</i>		<i>Calculado</i>
	<i>(%)</i>		<i>(%)</i>				<i>(%)</i>
Si	31,53	SiO ₂	67,45	Si	27,74	SiO ₂	59,35
Al	11,29	Al ₂ O ₃	21,33	Al	10,07	Al ₂ O ₃	19,03
Fe	2,05	Fe ₂ O ₃	2,93	Fe	4,77	Fe ₂ O ₃	6,82
K	1,23	K ₂ O	1,48	K	1,91	K ₂ O	2,30
Mg	0,77	MgO	1,27	Ca	1,54	CaO	2,16
Ti	0,6	TiO ₂	1,00	Mg	1,31	MgO	2,17
Ca	0,27	CaO	0,38	Na	0,52	Na ₂ O	0,79
Na	0,18	Na ₂ O	0,25	Ti	0,48	TiO ₂	0,70
Ba	0,03	BaO	0,05	P	0,11	P ₂ O ₅	0,25
P	0,02	P ₂ O ₅	0,03	Mn	0,02	Mn ₂ O ₃	0,03
Zn	0,01	ZnO	0,02	S	0,10		
Mn	0,01	MnO	0,01				
S	0,01						
Cl	0,04						

Elaborado por: Wisum, R, 2018.

3.3.1.2 Difracción de Rayo X (DRX)

Este método permite la rápida identificación de materiales particulados, arcillas y otros minerales. Proporciona información detallada acerca de la estructura cristalográfica de sus muestras, que puede utilizarse para identificar las fases presentes y es útil para la identificación de fases de grano fino que son difíciles de identificar por otros métodos como la microscopía óptica, el microscopio electrónico de barrido/espectrómetro por dispersión de energía (SEM/EDS) o la evaluación cuantitativa de materiales por microscopía electrónica de barrido (QEMSCAN™).

Procedimiento del ensayo:

- Quitamos la muestra de la funda y desmenuzamos ponemos en un recipiente.
- CuarTEAMOS y trituramos la muestra una porción representativa de cada parte del cuarteo.
- Pulverizamos la muestra.
- Colocamos la muestra en la máquina de Rayos X S8 Tiger.
- Analizamos los datos que emite la maquina a través del programa.
- Procesamos la información

La determinación de los compuestos con cristalización definida presentes en la muestra se realizó empleando el Difractómetro D8 ADVANCE y el programa Diffrac Plus (EVA Y TOPAS) para cualificación y semicualificación, a continuación se detallan los resultados del análisis.

Tabla 3-3 Ensayo de difracción de rayos X

<i>ENSAYO DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X</i>		
<i>Mineral</i>	<i>Fórmula</i>	<i>Muestra 1 Contenido en (%)</i>
<i>Cuarzo</i>	SiO_2	43
<i>Caolinita</i>	$Al_2(Si_2O_3)(OH)_4$	22
<i>Clinocloro</i>	$(Mg, Fe)_5Al(Si, Al)_4O_{10}(OH)_8$	14
<i>Calcita</i>	$CaCO_3$	4
<i>Muscovita</i>	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	5
<i>Magnetita</i>	Fe_3O_4	3
<i>Pirita</i>	FeS_2	3
<i>Grupo Plagioclasas. (alvita, andesita, anortita)</i>	$(Na, Ca)Al(Si, Al)Si_2O_8$	3
<i>Maghemita</i>	Fe_2O_3	2
<i>Vermiculita</i>	$(Mg, Fe, Al)_6(OH)_4(Al, Si)_8(O_{20}, 4H_2O$	1

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

3.3.2 Ensayos Físicos

3.3.2.1 Ensayo Granulométrico Mecánico (Norma AASHTO T88-00 ASTM D 422).

Este método consiste en la determinación cuantitativa de los tamaños de partículas presentes en una muestra de suelo.

Para desarrollar el ensayo se utilizaron los siguientes equipos y materiales:

- Horno que mantenga una temperatura constante de 110 °C.
- Tamices de acuerdo a la granulometría.
- Bandeja para colocar la muestra,
- Cepillo de acero.
- Brocha para limpiar la malla del tamiz y pesa electrónica.

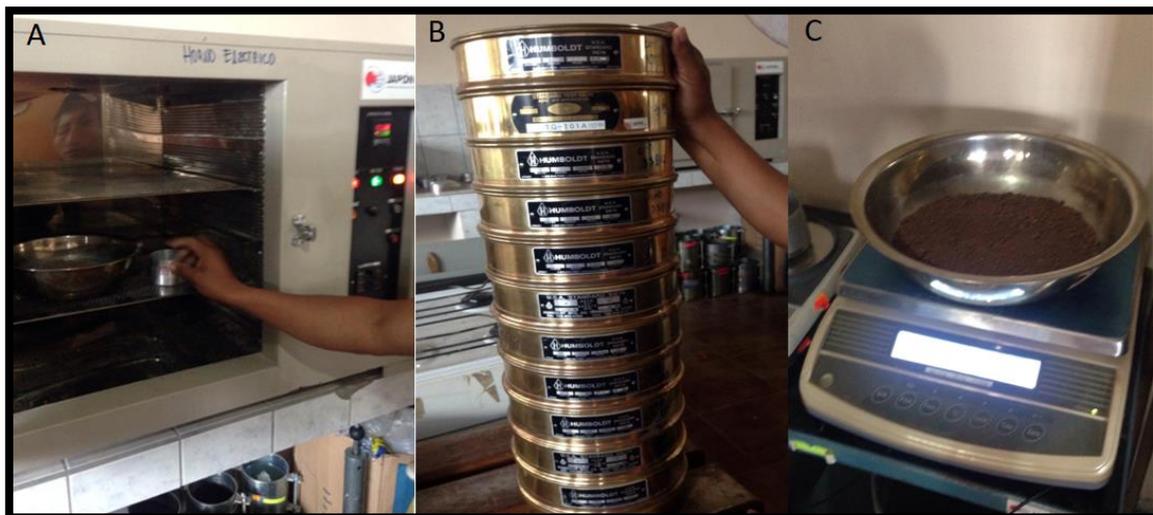


Figura 3-6 Procesos para determinar la granulometría de la arcilla

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

Procedimiento del ensayo:

- a) Sacamos la muestra de la funda y pesamos 500 g.
- b) Con la ayuda del tamiz N#200 separamos la arcilla (material más fino) del material, retenido por el tamiz.
- c) El material retenido en el tamiz #200 es llevado a secar al horno a 110°C de temperatura constante durante 24 horas.
- d) Una vez la muestra seca con los tamices la seleccionamos de acuerdo al tamaño de grano. Utilizando así los siguientes tamices; ½"; 3/8; 4; 10; 12; 16; 20; 30; 40; 50; 60; 80; 100 y 200.
- e) Una vez el material seleccionado lo ubicamos de forma ordenada, desde el mayor diámetro hasta el menor y pesado.
- f) con los datos obtenidos calculamos el porcentaje retenido con las siguientes formulas:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso acumulado en cada tamiz}}{\text{Peso total}} \times 100 \qquad \% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Retenido acumulado}$$

3.3.2.2 Ensayo de Humedad Natural (Norma AASHTO T 265 ASTM D 2216).

Este método consiste en la determinación cuantitativa de la cantidad de humedad presente en la muestra en estado natural.

Para desarrollar el ensayo se utilizan los siguientes equipos y materiales:

- a) Pesa electrónica.
- b) Bandeja para desmenuzar la muestra.
- c) Tarra metálica y horno a temperatura constante de 110°C.

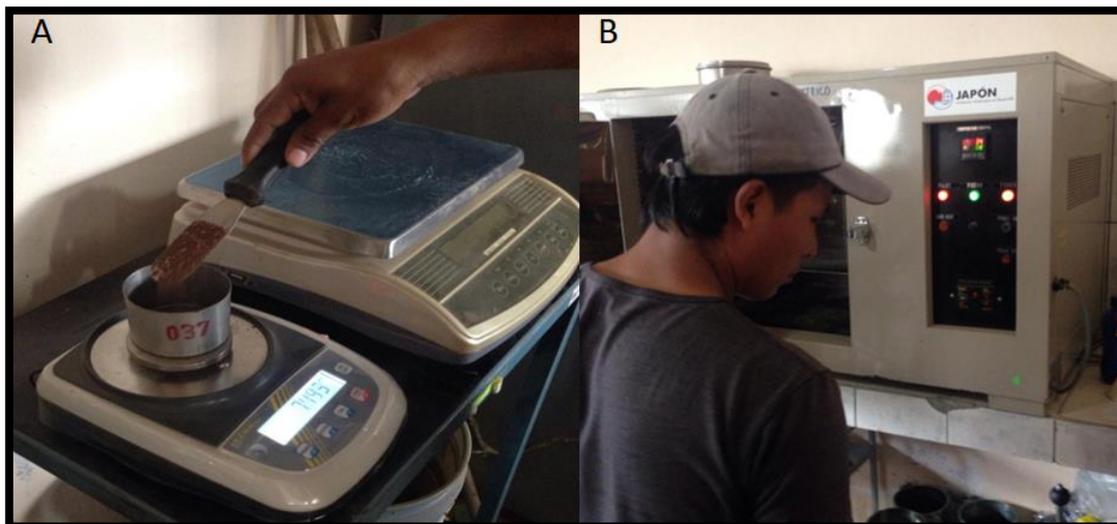


Figura 3-7 Proceso para determinar la humedad natural de la arcilla

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

Procedimiento del ensayo:

- a) Sacamos la muestra de la funda y en un recipiente pasamos a disgregar.
- b) Pesamos dos muestras representativas en estado húmedo natural y ubicamos en las tarras.
- c) Las muestras pesadas colocamos en el horno a temperatura constante de 110°C durante 24 horas.
- d) La muestra seca volvemos a pesar.
- e) Con los datos obtenidos de las dos muestras pasamos a realizar los cálculos con la siguiente formula; $\%H = ((Ph - Ps) / (Ps - Pt)) * 100$.
- f) Los datos obtenidos de las dos muestras representativas son promediados.

3.3.2.3 Ensayo de Límites Líquido y Plástico (Norma AASHTO T 89, T90 ASTM D 4318).

Este método consiste en la determinación cualitativa y cuantitativa de una muestra representativa que va de acuerdo a la capacidad de absorción de cada suelo a ensayar.

Para estos ensayos se utilizó los siguientes equipos y materiales:

- a) Recipiente para disgregar la muestra.
- b) Crisol de porcelana, espátula, pesa electrónica.
- c) Tarra, placa de vidrio, tamiz, horno de temperatura constante de 110°C.
- d) Equipo capa de casa grande.

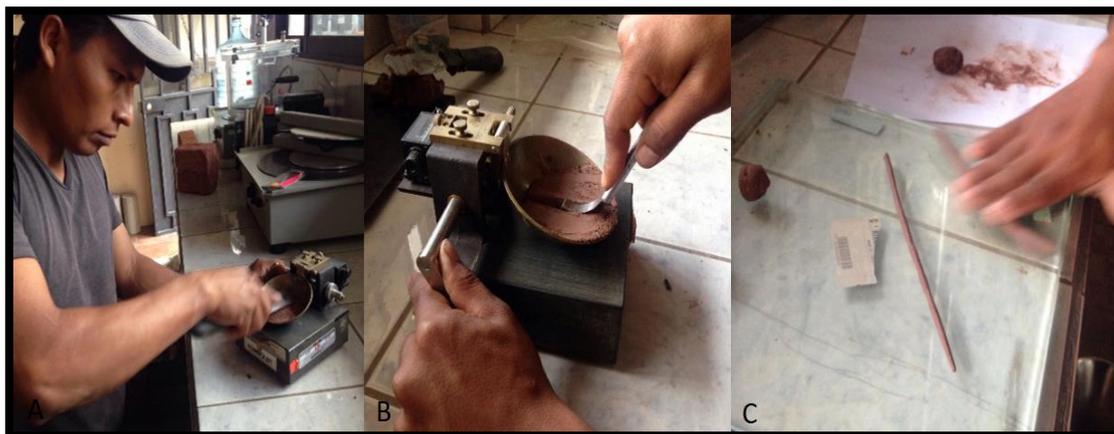


Figura 3-8 Proceso de desarrollo de los límites Líquidos y Plásticos de la arcilla

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

Procedimiento del ensayo:

1. Sacamos la muestra de la funda y colocamos en un recipiente para disgregarla.
2. Pesamos 100gr de muestra de suelo representativo del material pasante del tamiz# 40.
3. A la muestra pesada agregamos agua destilada o desmineralizada de 15 a 20 ml.
4. Mezclamos la muestra con el agua hasta que alcance la homogenización y presente una plasticidad aproximada para el ensayo.
5. Una vez homogenizada la muestra se coloca en una funda hermética y dejamos 24 horas para que se sature completamente.
6. Calibramos el instrumento de casa grande.
7. Colocamos la pasta homogenizada en la copa de casa grande y cortamos la muestra en dos partes.
8. Enceramos el equipo de casa grande y empezamos a dar manivela contando el número de golpes hasta que la línea de corte se una.
9. Pasamos a tomar la muestra en el lugar donde se une el corte que servirá para determinar el límite líquido, con el resto determinamos el límite plástico.
10. Determinación cualitativa: Con la porción donde se une el corte procedemos a realizar una lombriz de 3mm de diámetro y observamos si presenta o no fisuras que es un indicativo que la muestra es plástica o no.
11. Las muestras tomadas pasamos a pesar y luego colocamos por 24 horas en el horno a 110°C.
12. Con los datos obtenidos pasamos a realizar los cálculos con la siguiente fórmula para el límite líquido y plástico $L_l = ((Ph - Ps) / (Ps - Pt)) * 100$;

Dónde:

- a) **Ph:** peso húmedo de la muestra
- b) **Ps:** peso seco de la muestra
- c) **Pt:** peso de la tarra
- d) Formula de limite plástico $l_p = ((Ph-Ps) / (Ps-Pt)) * 100$. Los resultados obtenidos se promedian.

Dónde:

- e) **Ph:** peso húmedo de la muestra
- f) **Ps:** peso seco de la muestra
- g) **Pt:** peso de la tarra.

13. Para el índice de plasticidad se restan los resultados con la siguiente formula.

$$I_p = L_l - L_p.$$

Donde:

- a) **L_l :** Limite Líquido.
- b) **L_p :** Limite Plástico

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

EXTENSIÓN MORONA SANTIAGO

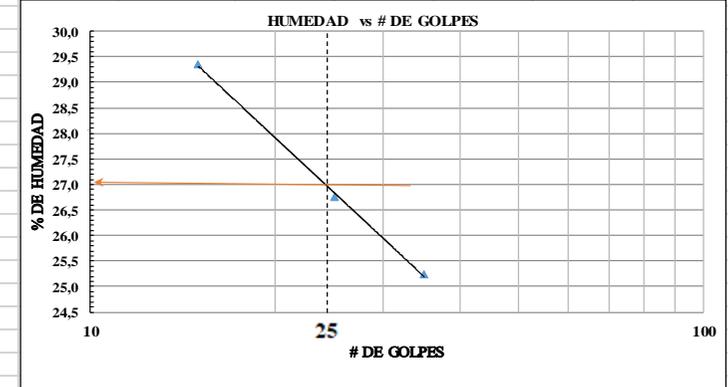
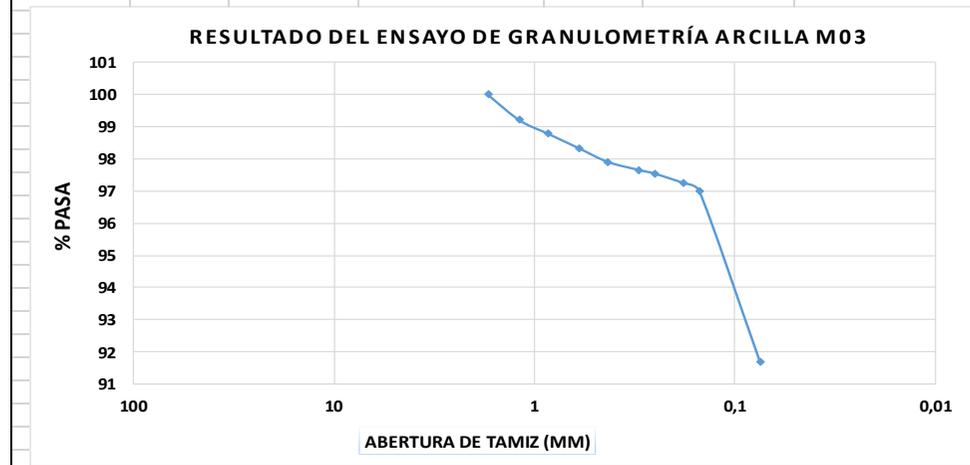
OBJETIVO	Realizar una caracterización fisicoquímica y fisicomecánicas de las arcillas a partir de ensayos de difracción de Rayos X, Límite de Atterberg , Absorción y Compresión Simple.						
PROVINCIA	Morona Sntiago	TOMA DE MUESTRA	Afloramiento	PROYECTO	Tesis de Grado		
CANTÓN	Morona	PROFUNDIDAD	3m	ENSAYADO POR	Robert. W.	USO	Fabrica de Ladrillo Artesanal
PARROQUIA	Río Blanco	PROYECCIÓN	Datum UTM WGS 84 Zona 17	FECHA DE TOMA	30/10/2017	MUESTRA	Nº 03 Arcilla Café.Rojisa
SECTOR	Arapicos	COORDENADAS	815821,49 9737513,1	FECHA DE ENSAYO	3/11/2017	CÓDIGO	329102017

ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

TAMIZ	ABERTURA (mm)	GRANULOMETRÍA (ASTM D422)				
		PESO RET. PARCIAL	PESO RET. ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA	% ESPECIFICADO
Nº12	1,7	-	0,00	0,00	100,00	
Nº16	1,18	4,66	4,66	0,80	99,20	
Nº20	0,85	2,46	7,12	1,22	98,78	
Nº30	0,60	2,60	9,72	1,66	98,34	
Nº40	0,43	2,51	12,23	2,09	97,91	
Nº50	0,30	1,48	13,71	2,34	97,66	
Nº60	0,25	0,68	14,39	2,46	97,54	
Nº80	0,18	1,74	16,13	2,75	97,25	
Nº100	0,15	1,50	17,63	3,01	96,99	
Nº200	0,075	31,05	48,68	8,31	91,69	
< Nº200			536,82	91,69		
TOTAL			585,50			

HUMEDAD NATURAL (ASTM D2216)						
Nº TARRO	Nº GOLPES	PESO HUMEDO	PESO SECO	PESO TARRO	% DE HUMEDAD	% PROMEDIO
43		99,29	97,15	27,09	3,05	
44		109,52	107,11	29,09	3,09	3,07
LIMITE LIQUIDO (ASTM D4318)						
30	35	49,41	44,90	27,03	25,24	
32	25	51,61	46,37	26,79	26,76	
39	15	50,89	45,62	27,66	29,34	
						27,11
LIMITE PLASTICO (ASTM D4318)						
25		18,78	18,07	13,26	14,76	
28		18,81	18,08	13,33	15,37	
						15,06

PESO ANTES DEL LAVADO	585,50 gr	ÁRIDO	0%
PESO DESPUES DEL LAVADO	48,68 gr	GRAVA	0%
		ARENA	8,31%
		FINOS	91,69%
			100%



CLASIFICACION:		
SUCS	CL	
AASTHO	Suelos Limosos	A-4
HUMEDAD NATURAL:	3,07%	
LIMITE LIQUIDO:	27,11%	
LIMITE PLASTICO:	15,06%	
INDICE PLASTICO:	12,05%	
INDICE DE GRUPO:	9	

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

EXTENSIÓN MORONA SANTIAGO

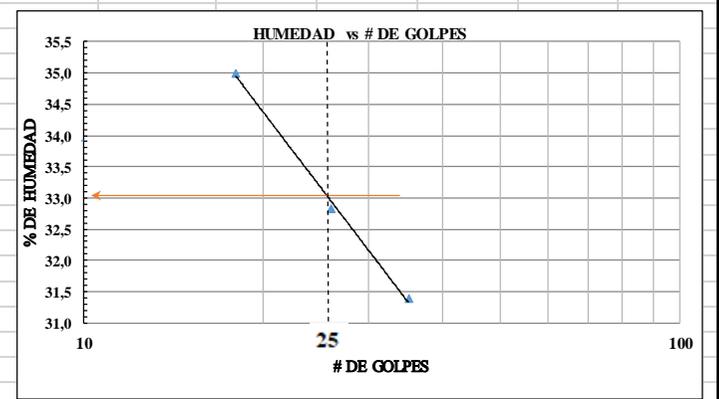
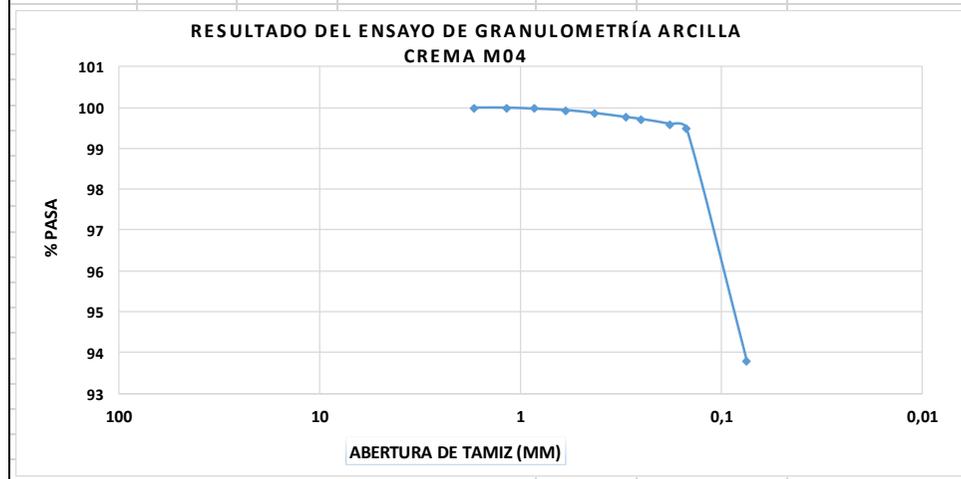
OBJETIVO	Realizar una caracterización fisicoquímica y fisicomecánicas de las arcillas a partir de ensayos de difracción de Rayos X, Límite de Atterberg, Absorción y Compresión Simple.						
PROVINCIA	Morona Santiago	TOMA DE MUESTRA	Afloramiento	PROYECTO	Tesis de Grado		
CANTÓN	Morona	PROFUNDIDAD	2,5 m	ENSAYADO POR	Robert. W.	USO	Fabrica de Ladrillo Artesanal
PARROQUIA	Río Blanco	PROYECCIÓN	Datum UTM WGS 84 Zona 17	FECHA DE TOMA	29/10/2017	MUESTRA	Nº 04 Arcilla Crema
SECTOR	Arapicos	COORDENADAS	815207,54 9736473,07	FECHA DE ENSAYO	9/11/2017	CÓDIGO	429102017

ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

GRANULOMETRÍA (ASTM D422)						
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RET. PARCIAL	PESO RET. ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA	% ESPECIFICADO
Nº12	1,7	-	0,00	0,00	100,00	
Nº16	1,18	-	0,00	0,00	100,00	
Nº20	0,85	0,07	0,07	0,03	99,97	
Nº30	0,60	0,08	0,15	0,06	99,94	
Nº40	0,43	0,20	0,35	0,13	99,87	
Nº50	0,30	0,28	0,63	0,23	99,77	
Nº60	0,25	0,15	0,78	0,28	99,72	
Nº80	0,18	0,32	1,10	0,40	99,60	
Nº100	0,15	0,28	1,38	0,51	99,49	
Nº200	0,075	15,51	16,89	6,22	93,78	
< Nº200			254,82	93,78		
TOTAL			271,71			

HUMEDAD NATURAL (ASTM D2216)						
Nº TARRO	Nº GOLPES	PESO HUMEDO	PESO SECO	PESO TARRO	% DE HUMEDAD	% PROMEDIO
25		144,26	126,98	28,38	17,53	
26		147,06	129,24	28,03	17,61	17,57
LIMITE LIQUIDO (ASTM D4318)						
34	35	50,04	44,98	28,86	31,39	
35	26	46,95	41,88	26,44	32,84	
36	18	49,90	44,23	28,03	35,00	
						33,08
LIMITE PLASTICO (ASTM D4318)						
29		18,17	17,48	13,42	17,00	
31		15,88	15,12	10,66	17,04	
						17,02

PESO ANTES DEL LAVADO	271,71	gr	ÁRIDO	0%
PESO DESPUES DEL LAVADO	16,89	gr	GRAVA	0%
			ARENA	6,22%
			FINOS	93,78%
				100%



CLASIFICACION:		
SUCS	CL	
AASTHO	Suelos Limosos	A-5
HUMEDAD NATURAL:	17,57%	
LIMITE LIQUIDO:	33,08%	
LIMITE PLASTICO:	17,02%	
INDICE PLASTICO:	16,06%	
INDICE DE GRUPO:	15	

3.3.2.4 Ensayo de Absorción de la Arcilla

Este método consiste en la determinación cuantitativa de la capacidad de absorción de un suelo para llegar a saturarse de manera homogénea pasando de un estado seco a plástico por la cantidad de agua que puede absorber. Para realizar este ensayo se utilizaron los siguientes equipos y materiales: Bandeja para ubicar la muestra, Cono de martillo, Balanza electrónica, Probeta de 500ml y termómetro.



Figura 3-9 Proceso de desarrollo de la capacidad de absorción de la arcilla roja

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

Procedimiento del ensayo:

1. Sacamos la muestra de la funda y colocamos en una bandeja, dejamos secar durante 24 horas al sol.
2. Pesamos 1200gr de muestra y colocamos agua, dejamos saturar durante 24 horas.
3. El agua que sobra encima de la muestra retiramos y dejamos secar al sol la muestra hasta que esté libre de humedad.
4. La muestra una vez seca colocamos dos puñados y medio en el cono de acero y dejamos caer el martillo 10 veces, colocamos dos puñados más de muestra y dejamos caer el martillo 8 veces y colocamos la muestra hasta llenar el cono y dejamos caer el martillo 7 veces.
5. Quitamos el cono y una porción de arcilla caerá hacia los lados quedando un cono de suelo, demostrando así que la muestra está lista para su ensayo.
6. Pesamos 500gr de muestra y ubicamos en el horno a 110°C dejamos secar durante 24 horas.
7. Pesamos 500gr de muestra y ubicamos en la probeta de 500 ml.
8. Agregamos agua en la probeta y agitamos hasta que salga todo el aire contenido en la muestra.
9. Pesamos la muestra seca y realizamos los cálculos con la siguiente fórmula.

$$\% \text{Absorción} = (A-B/A) * 100.$$

Dónde:

A: peso en el aire de la muestra se al horno

B: Volumen de la Probeta.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO									
EXTENSIÓN MORONA SANTIAGO									
PROYECTO	TESIS DE GRADO		YACIMIENTO	Arcilla Roja , Crema y Silice					
SECTOR	ARAPICOS		ORIGEN	AFLORAMIENTO					
COORDENADAS	815821,49	9737513,1	FECHA DE ENSAYO	25 de noviembre de 2017					
MUESTRA No.	M03, M04 y M06		ENSAYADO POR	Robert. W.					
PROFUNDIDAD	0,30m	2,50 m	USO PROPUESTO	Fabrica de Ladrillo Artesanal					
OBJETIVO	Realizar una caracterización fisicoquímica y fisicomecánicas de las arcillas a partir de ensayo de Absorción.								
LUGAR DE ENSAYO	LABORATORIO DE SUELOS DEL GAD PROVINCIAL DE MORONA SANTIAGO								
ENSAYO DE ABSORCIÓN									
AGREGADO FINO(M03)									
Materia que pasa el tamiz N°	3/8"		y es pasante del tamiz N°		200,00				
"A" peso en el aire de la muestra secada al horno					479,20	gr			
"B" peso en el aire de la muestra saturada					500,00	gr			
"C" peso en el agua de la muestra saturada					295,40	gr			
% de absorción			B-A	X 100	=	500,00	479,20	=	4,34
			A			479,20			
AGREGADO FINO(M04)									
Materia que pasa el tamiz N°	3/8"		y es pasante del tamiz N°		200,00				
"A" peso en el aire de la muestra secada al horno					484,60	gr			
"B" volumen de probeta					500,00	gr			
"C" peso en gramos de agua añidida					223,80	gr			
% de absorción			B-A	X 100	=	500,00	484,60	=	3,18
			A			484,60			
AGREGADO FINO(M06)									
Materia que pasa el tamiz N°	3/8"		y es pasante del tamiz N°		200,00				
"A" peso en el aire de la muestra secada al horno					479,60	gr			
"B" peso en el aire de la muestra saturada					500,00	gr			
"C" peso en el agua de la muestra saturada					309,40	gr			
% de absorción			B-A	X 100	=	500,00	479,60	=	0,43
			A			479,60			

3.3.2.5 Ensayo de esfuerzo a compresión simples

Este método consiste en la determinación cuantitativa de la capacidad de resistencia a esfuerzo a compresión simple de una pieza sólida, la relación es entre la carga máxima que soporta una pieza y el área de contacto donde está expuesta a dicha carga y su unidad de medida viene dada por Kgf/Cm^2 o MPa.

Para desarrollar este ensayo se utilizó el equipo de prensa de compresión mecánica hidráulica manual, donde se aplica la presión con la ayuda de una manivela realizando un movimiento hacia arriba y abajo.

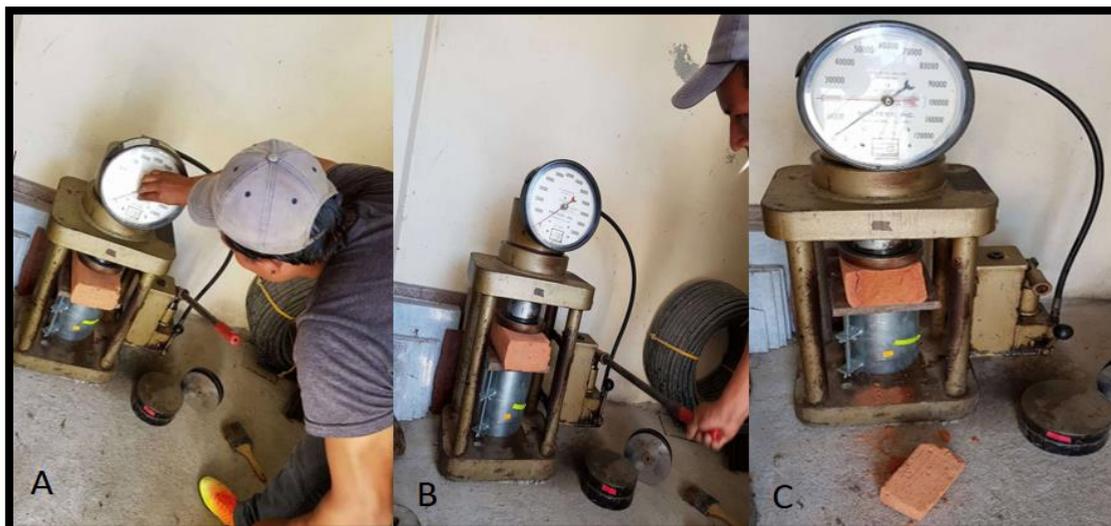


Figura 3-10 Proceso de desarrollo del esfuerzo a compresión simple del ladrillo

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

La foto A muestra la ubicación del ladrillo macizo y calibración del equipo, la foto B muestra el proceso del movimiento de la gata hidráulica, la foto C muestra cómo se fractura la pieza y la presión ejercida en la misma.

Procedimiento del ensayo:

1. Medimos el diámetro de rotura para calcular el área de compresión de la máquina.
2. Preparamos cada una de las piezas de ladrillo artesanal tomando los datos de peso, medidas y volumen.
3. Ubicamos con cuidado la pieza en la maquina centrando con respecto a la rotura.
4. Aplicamos la carga necesaria hasta que la pieza se rompa.
5. La máxima carga obtenida del ensayo dividimos para el área de contacto de la pieza y se obtiene la resistencia máxima a compresión simple.
6. Una vez obtenido los datos de compresión calculamos con la siguiente formula.

$$Rc = \frac{Fc}{A}$$

Dónde:

Rc: Resistencia a la Compresión (MPa o Pa).

Fc: Fuerza de Compresión (Kgf/cm² o N).

A: Área de Incidencia o área de rotura (cm² o m²).

Tabla 3-4 Ensayo de esfuerzo a compresión simple

<i>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</i>					
<i>EXTENSIÓN MORONA SANTIAGO</i>					
PROYECTO	<i>TESIS DE GRADO</i>	Fecha de Ensayo	<i>27 de diciembre de 2017</i>		
SECTOR:	<i>ARAPICOS</i>	Ensayado Por	<i>Robert. W.</i>		
LUGAR DE ENSAYO	<i>LABORATORIO DE SUELOS DEL GAD PROVINCIAL DE MORONA SANTIAGO</i>				
<i>ENSAYO DE ESFUERZO A COMPRESIÓN SIMPLE DE LADRILLO ARTEZANAL</i>					
<i>Código</i>	<i>Nombre</i>	<i>Presión Hidráulica kg/cm2</i>	<i>Área de fractura(cm2)</i>	<i>IMPa</i>	<i>Esfuerzo(MPa)</i>
ART0120	Ladrillo 1A	19800,00	188,69	10,00	10,49
ART0221	Ladrillo 2R	20500,00	188,69	10,00	10,86
ART0322	Ladrillo 3A	4500,00	188,69	10,00	2,38
P0130	Ladrillo 1W	21100	188,69	10,00	11,18
P0231	Ladrillo 2W	21500	188,69	10,00	11,39
P0332	Ladrillo 3W	22300	188,69	10,00	11,82
P0433	Ladrillo 4W	21700	188,69	10,00	11,50
P0534	Ladrillo 5W	22900	188,69	10,00	12,14

Elaborado por: Wisum, R, 2018.

3.3.2.6 Ensayo de Absorción del ladrillo macizo

El ensayo se basa en la determinación de las masas de una muestra de ladrillo antes y después de ser sumergida en agua, estableciéndose la diferencia entre las dos masas como base para conocer el valor de la absorción de la humedad. (NTE INEN 296, 2014).

Procedimiento, una vez preparadas las muestras y anotada su masa constante, sumergirlas en agua destilada, a una temperatura de 15 a 30° C durante 24 horas. Al sacar las muestras del agua, secarlas con una toalla húmeda antes de pesarlas. La pesada de cada muestra debe concluirse antes de cinco minutos de sacada del agua. (NTE INEN 296, 2014).

La absorción de cada muestra expresada en % se calcula por la ecuación siguiente:

$$Absorción\% = \frac{P_2 - P_1}{P_1} \times 100$$

Donde:

P1: Peso seco de la muestra.

P2: Peso de la muestra después de 24 horas sumergida al agua.



Figura 3-11 Proceso de mezcla de las muestra M03, M04, M06 y aserrín

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

Procedimiento del ensayo:

Para desarrollar este ensayo se utilizó Equipos:

- a) Balanza electrónica con capacidad mínima de 5 kg.
- b) Bandeja metálica.
- c) Toalla húmeda

Horno de desecación regulada a una temperatura de 110° C. Una vez preparada la muestra, se sumerge en agua destilada, a una temperatura de 15 a 30° C durante 24 horas. Sacamos la muestra del agua, se seca la muestra con la ayuda de una toalla húmeda antes de pesarlas y se pesa la muestra antes de 5 minutos de sacado.

Los cálculos se realizaron con la siguiente formula:

$$Absorción\% = \frac{P_2 - P_1}{P_1} \times 100$$

La relación es entre la masa de la muestra seca menos masa de la muestra sumergida en agua dividido para la muestra sumergida en agua y multiplicado por cien.

Donde:

P1: Peso seco de la muestra.

P2: Peso de la muestra después de 24 horas sumergida al agua.

Tabla 3-5 Ensayo de absorción del ladrillo macizo

<i>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</i>				
<i>EXTENSIÓN MORONA SANTIAGO</i>				
PROYECTO	<i>TESIS DE GRADO</i>	Fecha de Ensayo	<i>27 de diciembre de 2017</i>	
SECTOR	<i>ARAPICOS</i>	Ensayado Por	<i>Robert. W.</i>	
LUGAR DE ENSAYO	<i>LABORATORIO DE SUELOS DEL GAD PROVINCIAL DE MORONA SANTIAGO</i>			
<i>ENSAYO DE ABSORCIÓN DEL LADRILLO MACIZO</i>				
<i>Número</i>	<i>Código</i>	<i>Peso Húmedo(Kg)</i>	<i>Peso seco(Kg)</i>	<i>Absorción (%)</i>
1	Ladrillo 1 A	385,15	320,15	20,30
2	Ladrillo 2 R	322,39	271,74	18,64
3	Ladrillo 3 A	870,2	728,81	19,40
4	P0130	640,71	560,51	14,31
5	P0231	280,12	250,32	11,90
6	P0332	506,2	456,11	10,98
7	P0433	388,37	348,12	11,56
8	P0534	298,34	273,14	9,23

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

3.4 Diseño Experimental

3.4.1 Importancia de la Investigación

Se basa en encontrar una dosificación correcta mediante la combinación de 4 materias primas, partiendo del conocimiento de sus características y propiedades fisicoquímicas y fisicomecánicas a través de ensayos químicos y físicos de las arcillas.

En la investigación se pretende desarrollar un proceso de fabricación acorde a la necesidad del artesano, partiendo desde la obtención de la materia prima en el yacimiento hasta el proceso final de su fabricación la cual está representado en un diagrama de flujo.

3.4.2 Selección de la materia prima

La elección de la materia prima idónea se obtuvo según el contenido en porcentaje de sílice, aluminio, hierro y magnesio (ver tabla 3-6).

Tabla 3-6 Contenido de elemento químico en porcentaje de las muestras utilizadas

<i>ELEMENTOS QUIMICOS PRIMORDIALES EN LA FABRICA DE LADRILLO</i>				
<i>Elemento</i>	<i>Muestra1</i>		<i>Muestra1</i>	
	<i>Arcilla Residual</i>		<i>Arcilla 31072017</i>	
	<i>Contenido (%)</i>		<i>Contenido (%)</i>	
Si	31,53		Si	27,74
Al	11,29		Al	10,07
Mg	0,77		Mg	1,31
Fe	2,05		Fe	4,77

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

3.4.3 Preparación de pastas

Con la finalidad de obtener una materia prima óptima para la mezcla se realizó 4 procedimientos y son:

- a) **Depuración:** Eliminación de elementos gruesos e impurezas nocivas, como los nódulos de calcita y materia orgánica.
- b) **División:** Disgregación de toda la masa arcillosa a pequeños fragmentos y polvo para que no causen problemas de heterogeneidad.
- c) **Homogeneidad:** Mezcla de los componentes y perfecto amasado para conseguir una pasta uniforme.
- d) **Grado de humedad:** Debe ser el adecuado. Con la plasticidad necesaria para su trabajabilidad, pero no excesiva por la retracción a la que daría lugar.

Para obtener un buen producto final se tuvo un máximo cuidado en la preparación de la pasta, incluyendo homogeneización, dosificación, molienda y mezclado. Considerando que la trituración y molienda de la materia prima permita conseguir una mezcla uniforme de varios materiales sólidos a dosificar.

3.4.4 Dosificación de la materia prima

Para la dosificación correcta de cada materia prima que conforma la mezcla, se seleccionó las muestras M03, M04, M06, considerando los elementos químicos y los índices de plasticidad de cada una de las muestras.



Figura 3-12 Proceso de selección de las muestra M03, M04, M06 y aserrín

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

Para conocer la cantidad de agua necesaria a agregar en la mezcla de la materia prima que conforma la pasta, se realizó los cálculos con los datos de humedad natural, porcentaje de adsorción y los datos de la norma AASHTO T87, donde menciona que para llegar a una plasticidad adecuada en las arcillas se debe agregar de 15 a 20 ml de agua por cada 100gr de muestra.

El cálculo de la cantidad de agua a agregar en la pasta cerámica, se realizó a partir de la cantidad de muestra a preparar en este experimento se empezó con 6000gr que representa el 100% de la pasta cerámica, considerando los 20ml de agua por cada 100gr de muestra nos da un valor de 1200ml de agua que es el 100% de agua a agregar, sin considerar la humedad natural, ni la capacidad de absorción de las muestra a mezclar.

Para conocer la cantidad real de agua a agregar en la muestra, sumamos los porcentajes de la humedad natural y de la capacidad de absorción, realizando la regla de tres se obtiene el resultado de 1543.08 ml de agua a agregar en los 6000gr de muestra preparada la misma que se detalla en la tabla 3-7.

Tabla 3-7 Dosificación de la materia prima que conforman la pasta cerámica

<i>Datos</i>		<i>Dosificación(6000gr)</i>				
<i>Nro. Piezas</i>	<i>Código</i>	<i>Arcilla 1(%)</i>	<i>Arcilla 2(%)</i>	<i>Sílice (%)</i>	<i>Aserrín (%)</i>	<i>Agua(ml)</i>
1	P0130	35	35	25	5	1543,08
2	P0231	0	70	25	5	1491,00
3	P0332	70	0	25	5	1504,92
4	P0433	50	20	25	5	1543,08
5	P0534	60	20	15	5	1543,08

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

3.4.5 Mezclado

Para la mezcla utilizamos el material que pasó el tamiz # 40. Seleccionadas las muestras se mezcla manualmente en seco, con la ayuda de un cucharón, hasta que las partículas estén bien distribuidas de forma homogénea en todas la masa.



Figura 3-13 Proceso de mezcla de las muestra M03, M04, M06 y aserrín

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

3.4.6 Amasado

La mezcla se lo realiza manualmente agregando agua poco a poco hasta obtener una pasta homogénea que permita moldear, la pasta saturada en agua dejamos reposar durante 24 horas, para cumplir con la norma de plasticidad AASHTO T87, permitiendo así la trabajabilidad en la etapa de moldeo.



Figura 3-14 Proceso de amasado con la dosificación correcta

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

3.4.7 Moldeado

Se realiza en moldes de madera elaboradas por el artesano, las medidas son 28cm X 13cm X 8.5cm, para evitar espacios vacíos en el molde, se colocó grandes masas y con la ayuda de un apisonador se presiona para que se compacte la muestra.

Para evitar que la pasta se adhiera en el molde se utilizó disel, que con la ayuda de una brocha de mano se pasó por todo su interior, luego se coloca la pasta y se deja reposar por 60 minutos para retirarle del molde y dejarla secar en un ambiente cerrado.



Figura 3-15 Proceso de moldeo con la dosificación correcta

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

3.4.8 Secado

El proceso es complejo por que intervienen varios factores climáticos como lluvia, sol, y variación de la temperatura ambiente. La primera etapa consiste en dejar la pieza secar en un ambiente cerrado durante 4 días, donde el aire circula con una velocidad constante y una temperatura que varía de acuerdo a la salida del sol. La segunda etapa consiste en secar en horno a temperatura de 110°C durante 24 horas este proceso de secado se realiza para evitar que la pieza no se fisure en la etapa de cocción.



Figura 3-16 Proceso de moldeo con la dosificación correcta

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

3.4.9 Cocción

Se utiliza un horno con capacidad de 3 a 5 mil ladrillos, la ubicación de los ladrillos en el interior del horno es de forma triangular con un espacio de 3cm en todas las direcciones de punto a punto, esta separación permite que el calor se distribuye en toda el área del horno, la temperatura en el interior varía en todo el área, presentando así desventajas en el momento de la cocción de los ladrillos.

En la parte superior e inferior la temperatura no es la misma y esto hace que el ladrillo presente defectos. En el proceso de cocción se debe contar con un stock de leña que dure el proceso de cocción por 24 horas, luego de lo cual, para evitar fisuras de los ladrillos se deja 5 días para que la temperatura baje a su estado normal.

3.4.10 Variación de longitud del ladrillo artesanal

La variación de longitud del ladrillo son cambios que viene sufriendo la pieza durante el proceso de secado hasta la etapa de cocción, la variación de temperatura aplicada durante los procesos de fábrica, a medida que se va deshidratando la masa su longitud disminuye siendo directamente proporcional a la temperatura y los cambios se miden de acuerdo a su volumen, peso y variación de sus medidas en todas las direcciones viene dada en centímetros. (Ver figura 3-8).

Tabla 3-8 Variación de longitud del ladrillo artesanal de arapicos

VARIACIÓN DE LONGITUD DEL LADRILLO ARTESANAL DE ARAPICOS		
<i>Nombre</i>	<i>Longitud Inicial(cm)</i>	<i>Longitud final(cm)</i>
Ladrillo 1A	29,00	28,00
Ladrillo 2R	29,00	27,00
Ladrillo 3A	29,00	26,00
Ladrillo 1W	14,06	14,02
Ladrillo 2W	14,06	14,01
Ladrillo 3W	14,06	14,02
Ladrillo 4W	14,06	13,95
Ladrillo 5W	14,06	14,03

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

El ladrillo elaborado artesanalmente de acuerdo a la norma ecuatoriana de la construcción debe tener una variación de su longitud de un máximo de 8mm (*NEC 297, 1977*).

El procedimiento consiste en medir todas las dimensiones del ladrillo en la etapa de secado y luego de la cocción, este proceso se debe ir verificar continuamente.

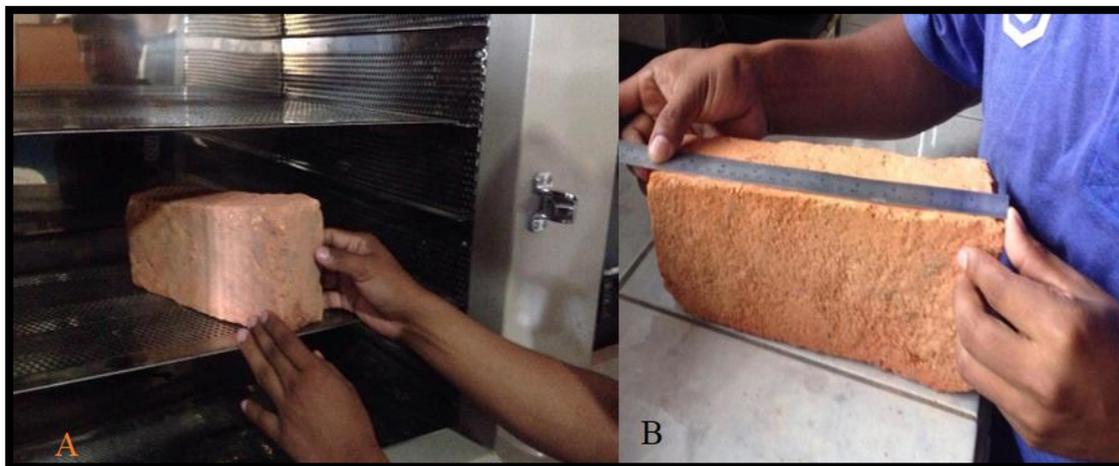


Figura 3-17 Control de medición de longitud de ladrillo antes de cosido y cosido
Elaborado por: Wisum, R. 2018.

3.4.11 Diagrama de flujo de proceso de fábrica de ladrillo artesanal mejorado

La propuesta del diagrama de flujo del proceso a utilizar por los artesanos ceramistas está basado de acuerdo a la investigación realizada por el autor. El diagrama pretende explicar cada una de las etapas a cumplir por los artesanos que fabriquen ladrillos con arcilla comunes.

Para aplicar esta propuesta de fábrica artesanal, el ceramista necesita conocer las propiedades físicas y químicas de las arcillas y tener disponibilidad económica.

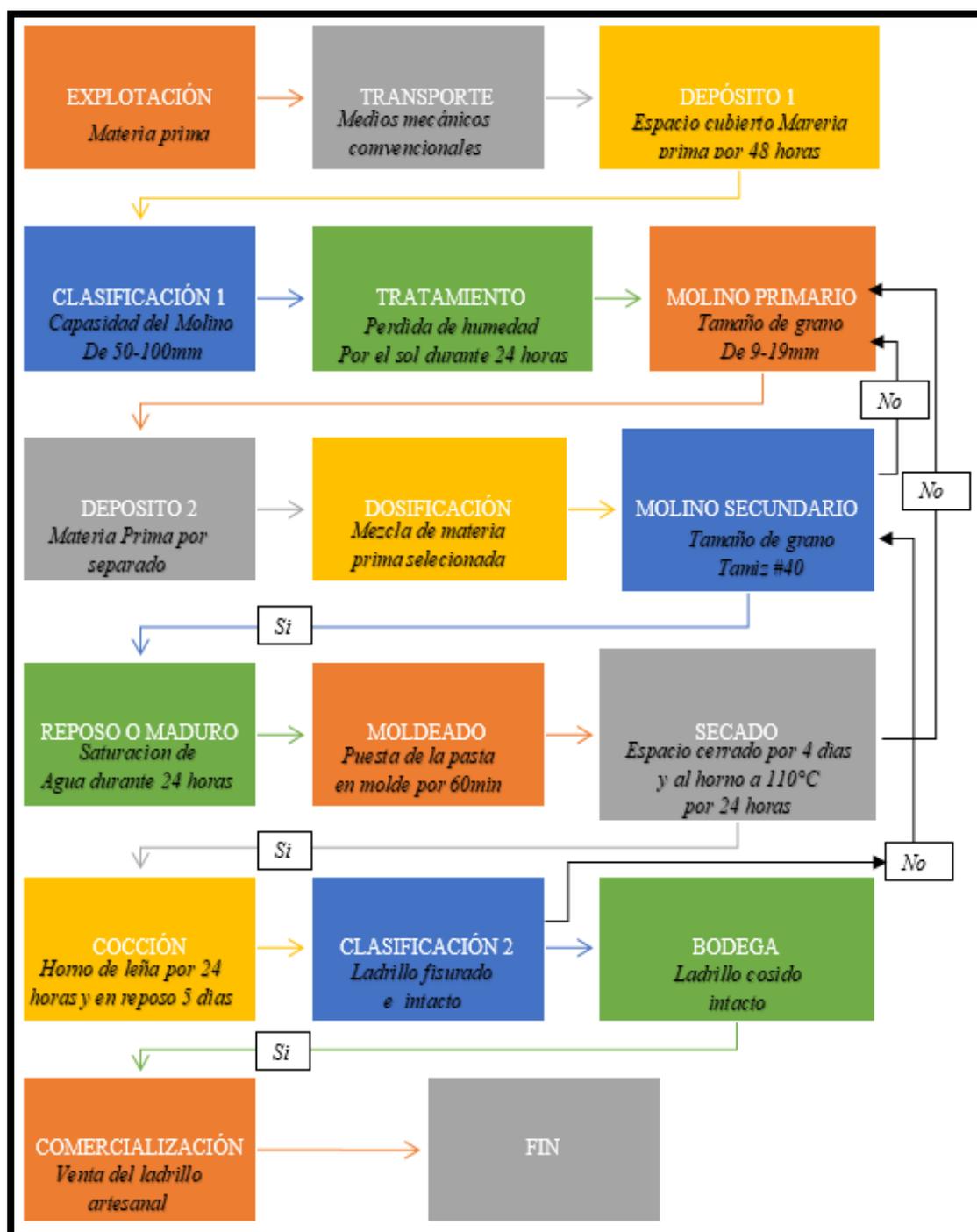


Figura 3-18 Diagrama de flujo de proceso de fabricación artesanal mejorado

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

3.4.12 Descripción del diagrama de flujo de proceso

Este diagrama de flujo explica de forma detallada cada una de las etapas del proceso de fabricación del ladrillo artesanal.

3.4.12.1 Explotación

La explotación de la materia prima en la cantera, se realiza normalmente a cielo abierto utilizando, medios mecánicos convencionales tales como: Picos, Palas, Azadón y Carretillas de mano. El volumen de explotación va de acuerdo al número de ladrillos a fabricar generalmente un volumen de $45m^3$ de explotación (5m X 4m X 2.5m) por día se fabrican aproximadamente 1000 ladrillos. Este es un proceso tradicional e histórico, fruto de la enseñanza de generación en generación.

3.4.12.2 Transporte

En el proceso artesanal el transporte del material se realiza de forma manual utilizando carretillas cuando la mina está cerca de la fábrica y si la cantera se encuentra a grandes distancias se utiliza acémilas para la carga. La cantidad de materia prima a transportar varía en función a la cantidad de ladrillos a fabricar.

3.4.12.3 Deposito 1

Se deposita la materia prima en un espacio cubierto por 48 horas para que se deshidrate y baje su peso, facilitando así la clasificación de acuerdo a la capacidad de chancado del molino primario.

3.4.12.4 Clasificación 1

Es de acuerdo al tamaño de clastos contenidos en la materia prima, que varía de acuerdo a la capacidad de 50-100 mm chancado del molino.

3.4.12.5 Tratamiento

Separamos las dos arcillas con la pala de mano y se deja secar al sol durante 24 horas, para que se elimine la humedad natural.

3.4.12.6 Molino primario

Se muele la materia prima en seco hasta obtener un tamaño de clastos de diámetro comprendido entre 9-19mm, el material pasante del tamiz # 4 va al depósito 2 y dosificación, el material retenido regresa al molino primario.

3.4.12.7 Depósito 2 y Dosificación

El material triturado por el molino primario y pasante del tamiz #4 es depositado en el área de dosificación para realizar la mezcla.

3.4.12.8 Molino secundario

El molino secundario cumple dos funciones específicas. La primera clasifica el material con el tamiz # 40. La segunda se encarga que la granulometría se distribuya de forma homogénea en toda la masa, si cumple la condición dejamos caer agua por medio de un sistema de goteo.

3.4.12.9 Reposo y moldeado

Revisamos la plasticidad de la pasta, una vez lista tapamos con un plástico hermético y dejamos saturar por 24 horas. Terminado el periodo de reposo se ubica la pasta en el molde de madera, para evitar espacios vacío en el interior del ladrillo se compacta con un apisonador de 3.5 kg

3.4.12.10 Secado y cocción

Se divide en dos periodos, presecado y secado, para el presecado se deja el ladrillo en un ambiente cerrado durante 4 días y para el secado se ubica el ladrillo en el horno a 110°C por 24 horas. Este tipo de secado nos ayuda a que la pieza no se fisure.

Durante la cocción se quema la leña por 24 horas, luego se deja reposar durante 5 días para que la temperatura baje de forma normal, evitando el fisuramiento de las piezas.

3.4.12.11 Clasificación, Depósito y comercialización

Se revisa que el ladrillo no presente fisuras y se mide su longitud para clasificarlo. Los ladrillos con fisuras regresan al molino secundario.

CAPÍTULO IV

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se presenta los resultados realizados en la investigación, los datos que se presenta son auténticos y propios de la zona de estudio garantizando así la veracidad del trabajo.

4.1 Resultados del Ensayo Químico

4.1.1 Ensayo de Fluorescencia de Rayos X (Elementos)

Los minerales presentes en las arcillas son silicato hidratado de aluminio, hierro y magnesio, así muestran los resultados de **caolín** y **arcilla**, ver anexo (A). Mediante el ensayo de fluorescencia de rayos X se determinó la presencia de altos porcentajes de elementos como;

- Silicio 31.53% a 27.74%.
- Aluminio 11.29% a 10.07%.
- Hierro 2.05% a 4.77% y
- Magnesio 0.77% a 1.31%,

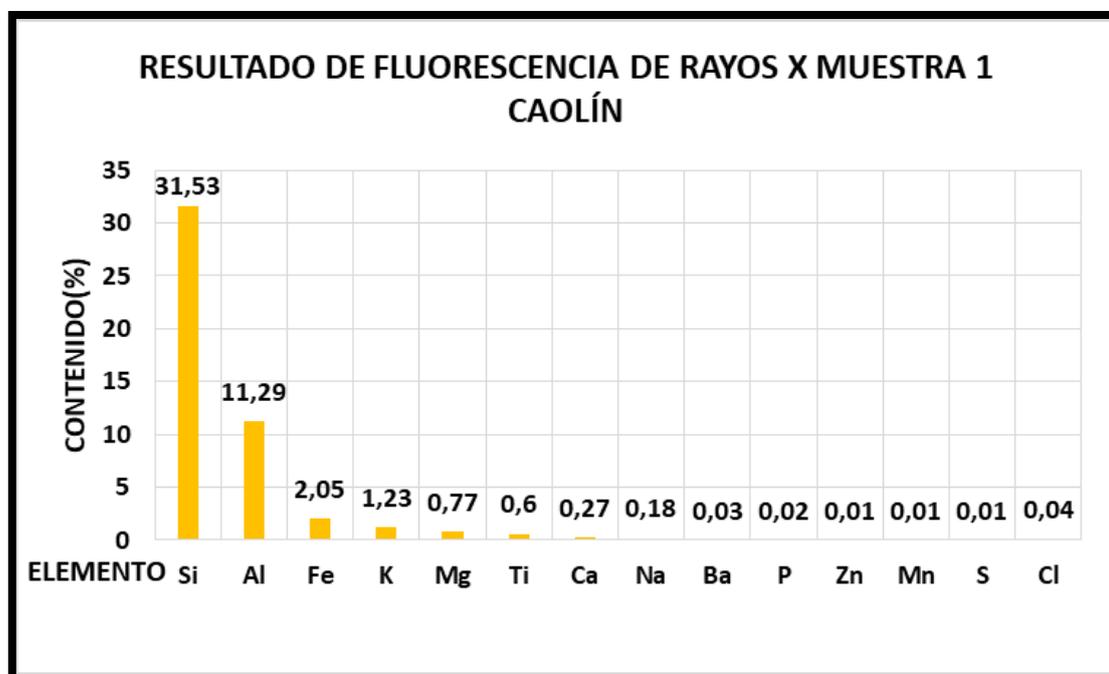


Figura 4-1 Resultados de Fluorescencia de rayos X muestra 1 Caolín

Elaborado por: Wisum, R. 2018

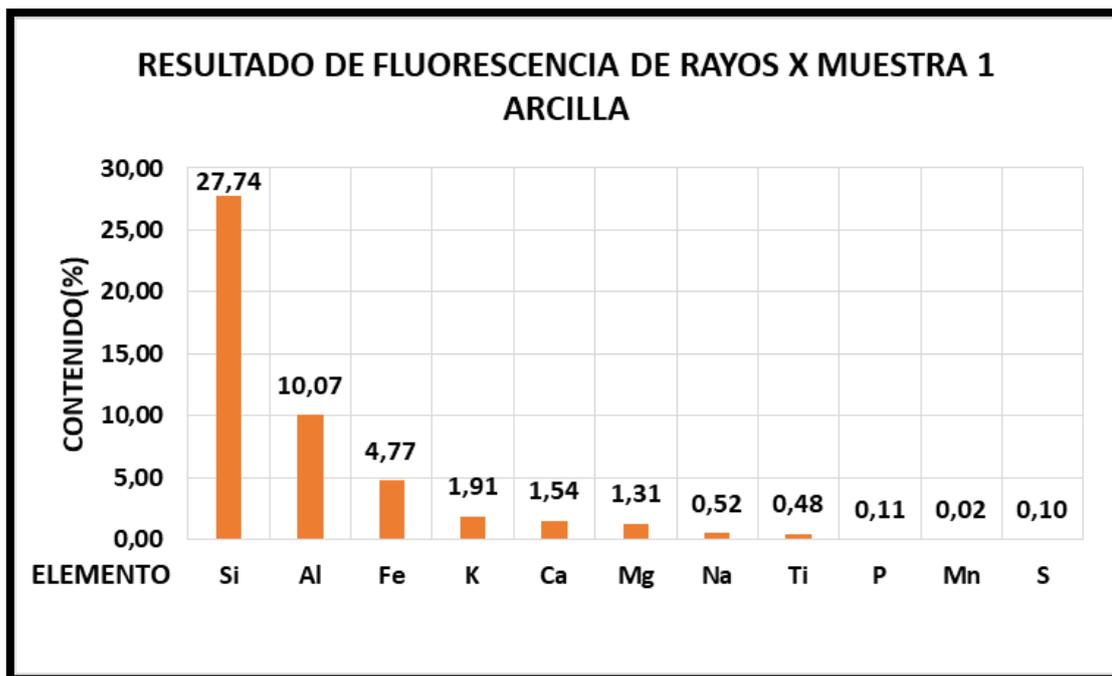


Figura 4-2 Resultados de Fluorescencia de rayos X muestra 1 Arcilla

Elaborado por: Wisum, R. 2018

4.1.2 Ensayo de Fluorescencia de Rayos X (Óxidos)

Mediante el ensayo de fluorescencia de rayos X se determinó la presencia de altos porcentajes de:

- Óxido de silicio SiO_2 67.45% a 59.35%.
- Óxido de aluminio Al_2O_3 21.33% a 19.03%.
- Óxido de hierro Fe_2O_3 2.93% a 6.82%
- Óxido de magnesio 1.27% a 2.17%.

La sílice SiO_2 es un indicador de la presencia del mineral cuarzo mediante la difracción de rayos X, el cuarzo brinda al producto cerámico tres propiedades muy importantes que se detallan a continuación: durabilidad a largo plazo, conserva su fórmula y controla el cambio excesivo de volumen cuando está sometido a varios cambios físicos en el ambiente. (*Quillupangui, 2011*).

El aluminio Al_2O_3 es uno de los elementos que da la probabilidad de que exista el mineral caolinita, este mineral al unirse con el óxido de aluminio adquiere un elevado punto de fusión y mejora significativamente la dureza (*Quillupangui, 2011*).

El óxido de Hierro Fe_2O_3 este mineral es un indicador de que existe la probabilidad de la hematita, magnetita y la gohoetita. Los suelos arcilloso generalmente posee un 7% de Fe_2O_3 este mineral le brinda al ladrillo la resistencia, color y tiende a reducir su punto de fusión y contribuye en la durabilidad del producto terminado (*Quillupangui, 2011*).

Los óxidos de calcio al igual que los otros presentes en la zona de estudio no influyen mucho se les considera como impurezas por su bajo contenido. Ver (Figura4-3 y 4-4).

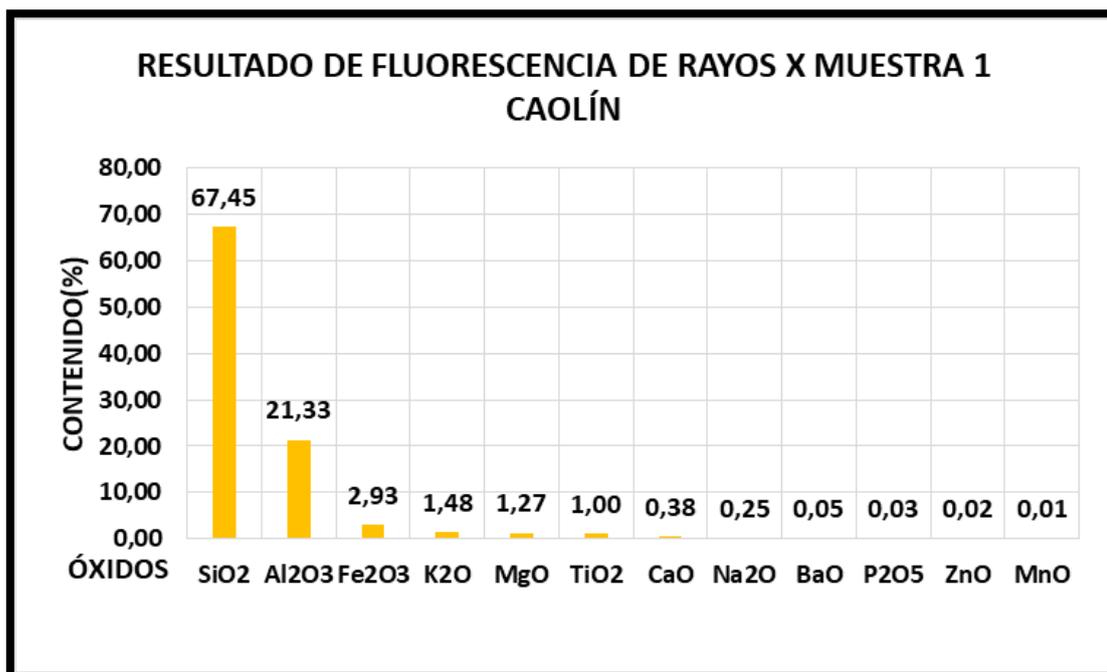


Figura 4-3 Resultados de Fluorescencia de rayos X muestra 1 Caolín

Elaborado por: Wisum, R. 2018

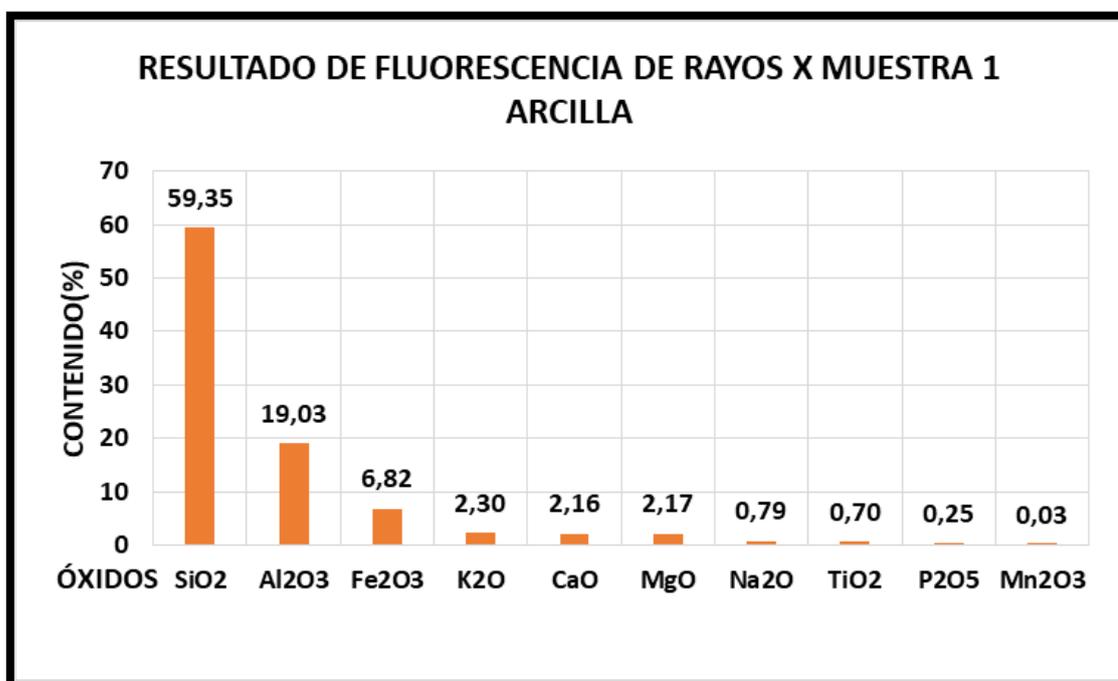


Figura 4-4 Resultados de Fluorescencia de rayos X muestra 1 Arcilla

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

4.1.3 Ensayo de Difracción de rayos X (Minerales)

Los minerales que más importancia tiene en la fabricación de ladrillos son los siguientes; cuarzo, caolinita, magnetita, pirita, Maghemita y grupo de las plagioclasas ya que nos brinda las características de un ladrillo terminado.



Figura 4-5 Resumen de los resultados del análisis de Difracción de rayos X

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

- ✚ El cuarzo contribuye a la durabilidad e incrementa la capacidad de conservar su forma luego del moldeo, sin embargo cantidades excesivas de del mineral no son recomendables en la fábrica de ladrillos. (*Quillupangui, 2011*)
- ✚ La caolinita es fundamental ya que este mineral presenta propiedades refractarios y aumenta la resistencia mecánica en la fábrica de ladrillo cerámicos cosidos a elevadas temperaturas (*Bartolomé, 1997*).
- ✚ El Clinocloro con la pérdida de la estructura permite la formación de olivino que se presenta con una estructura orientada. Alrededor de los 1.100°C pueden aparecer espinela y enstatita. Las temperaturas estimadas para la formación de nuevas fases a partir de las cloritas son muy variadas, dependiendo sobre todo del grado de cristalinidad de las mismas y de su composición química, que puede ser muy variable (*Brindley & Ali, 1950*).
- ✚ La presencia del mineral Muscovita en el depósito de arcilla este mineral actúa como agente corrector o desengrasante, y sirve únicamente para controlar la plasticidad en el momento de realizar la pasta cerámica para la elaboración de ladrillo artesanal (*Pérez Castillo, 2016*).

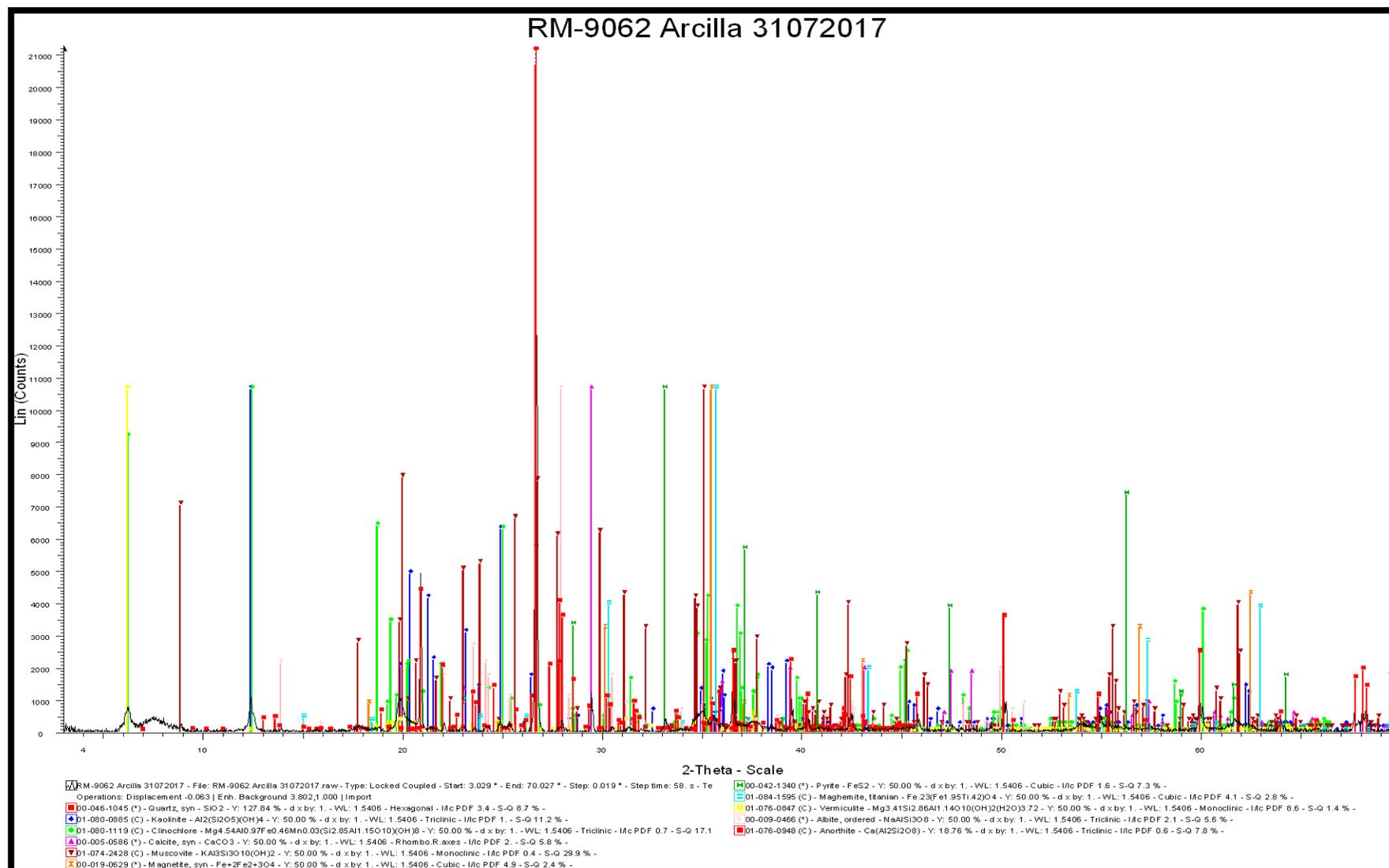


Figura 4-6 Difractograma rayos X muestra 1 Arcilla

Elaborado por: Wisum, R. 2018

La difracción de rayos X determina los compuestos con cristalización definida presentes en la arcilla. El ensayo se realizó empleando el Difractómetro D8 ADVANCE, los espectrogramas se analizaron mediante el programa Diffrac Plus (EVA Y TOPAS), los resultados obtenidos del análisis (ver anexo A).

El difractograma muestra picos de varios colores que representa cada uno de los minerales de la arcilla. El pico de color rojo representa el cuarzo y anortita, el color azul la caolinita, el color verde agua el clinocloro, el color morado la calcita, el color café oscuro la muscovita, el color café claro a magnetita, el color verde la piritita, el color celeste la magnetita y titanio, el color amarillo la vermiculita, el color rosado la albita (ver figura 4-6).

4.2 Resultados del Ensayo Físico

4.2.1 Ensayo Granulométrico Mecánico (Norma AASHTO T88-00 ASTM D 422).

La granulometría de la materia prima nos permite obtener el porcentaje de grava, arena, finos y arcilla presente en la muestra. Los resultados de granulometría de las 6 muestra recolectadas en la etapa de prospección se detallan en la tabla 4-1.

4.2.2 Ensayo de Humedad Natural (Norma AASHTO T 265 ASTM D 2216).

Los resultados del contenido de humedad natural de las 6 muestras se detallan en tabla 4-1, la muestra que tuvo un alto porcentaje de humedad natural es la M04 con un valor de 17,96 %.

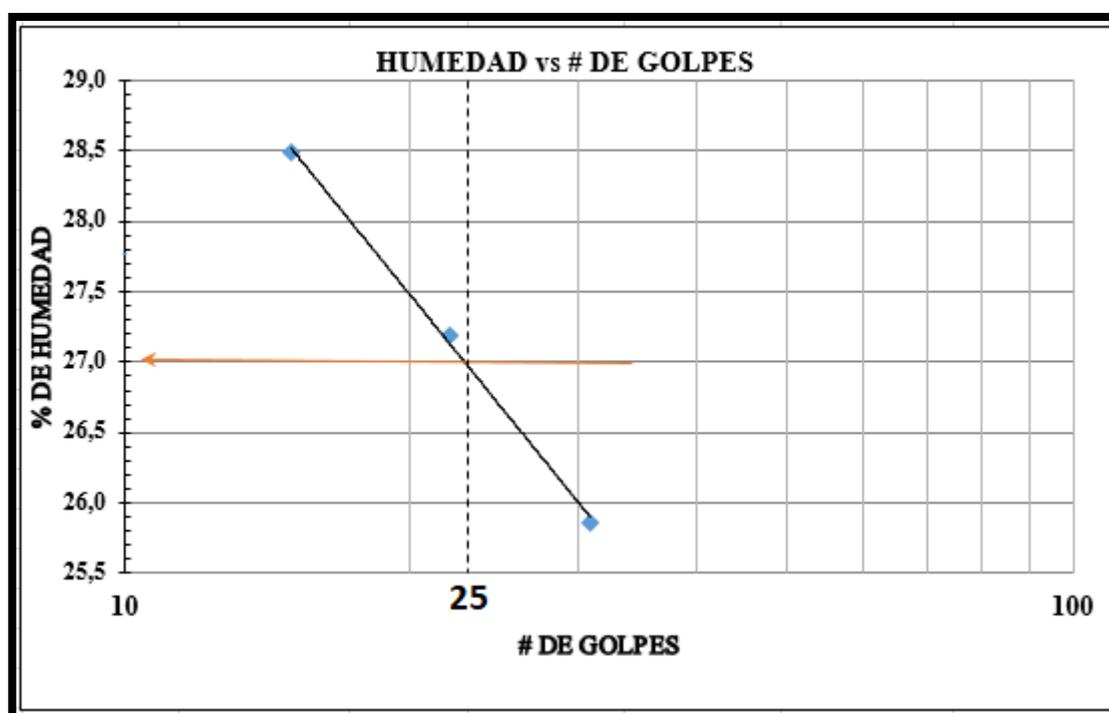
4.2.3 Ensayo de Límites Líquido y Plástico (Norma AASHTO T 89, T90 ASTM D 4318).

Los ensayos de límites de atterberg en esta investigación son: Límite líquido, plástico y el Índice de plasticidad la cuales se muestra un resumen de resultados de todas las muestra recolectadas en prospección, el valor mas alto de límite líquido es de 33,08 % de la muestra M04 y plástico 22,42 % de la muestra M02. Estos resultados nos da a conocer el contenido de agua presente en la muestra de arcilla (ver tabla 4-1).

Tabla 4-1 Resumen de los resultados de ensayos Granulométricos y límites

RESUMEN DE LO RESULTADOS DE ENSAYOS FÍSICOS EN (%)						
ANÁLISIS	MUESTRAS DE ARCILLA DE LA ZONA DE ARAPICOS					
Según SUCS y AASTHO	M01	M02	M03	M04 Roja	M04Crema	M05
SUCS	CL	CL	CL	CL	CL	CL
AASTHO	A-4	A-6	A-4	A-5	A-5	A-4
Humedad Natural	3,22	5,19	3,07	17,96	17,57	5,49
Límite Líquido	27,18	39,47	27,11	32,89	33,08	28,07
Limite Plástico	15,90	22,42	15,06	19,35	17,02	17,84
Indice Plástico	11,28	17,05	12,05	13,54	16,06	10,23
Indice de Grupo	7	14	9	12	15	8
GRANULOMETRÍA (%)						
Árido	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Grava	6,53	4,76	0,00	0,00	0,00	0,00
Arena	15,98	13,30	8,31	9,33	6,22	10,85
Finos	77,50	81,94	91,69	90,67	93,78	89,15
Arcilla	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Total Muestra(gr)	787,40	508,20	585,50	329,79	271,71	326,66
Total (%)	100	100	100	100	100	100

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

**Figura 4-7** Grafica de Límite Líquido de la muestra M01

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

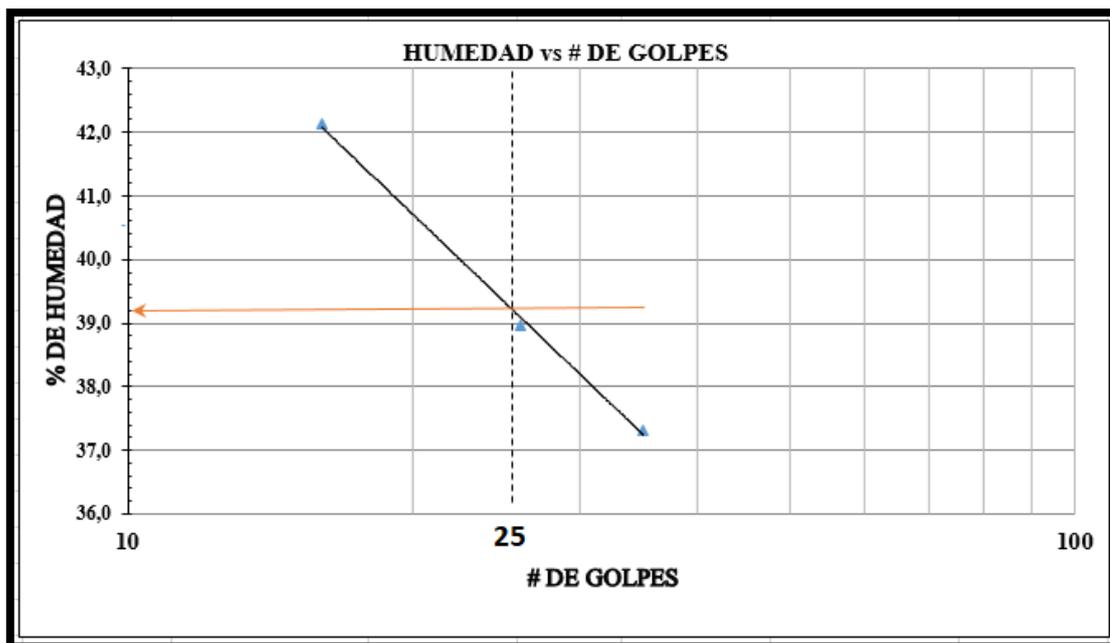


Figura 4-8 Grafica de Límite Líquido de la muestra M02

Elaborado por: Wisum, R. 2018.



Figura 4-9 Grafica de Límite Líquido de la muestra M03

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

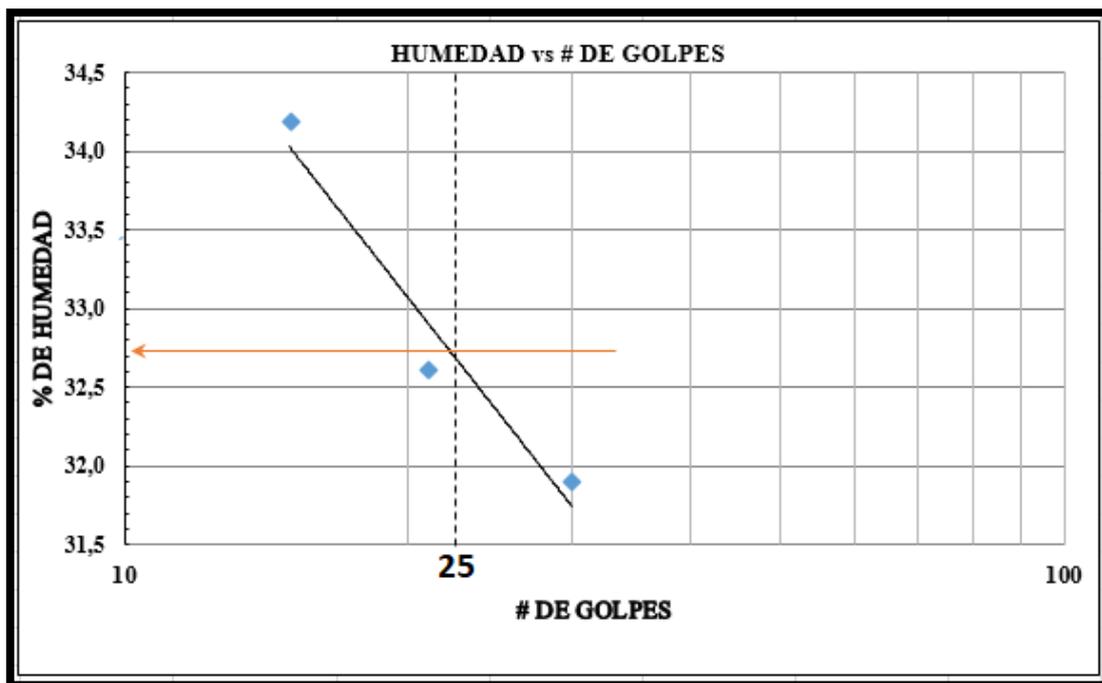


Figura 4-10 Grafica de Límite Líquido de la muestra M04 Roja

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

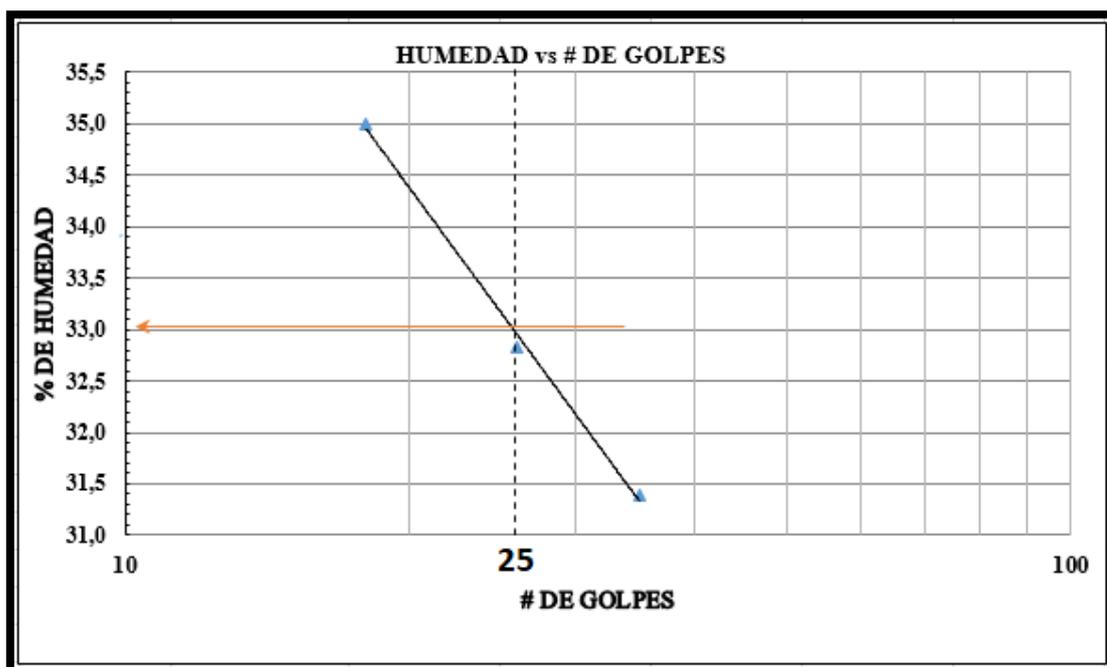


Figura 4-11 Grafica de Límite Líquido de la muestra M04 Crema

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

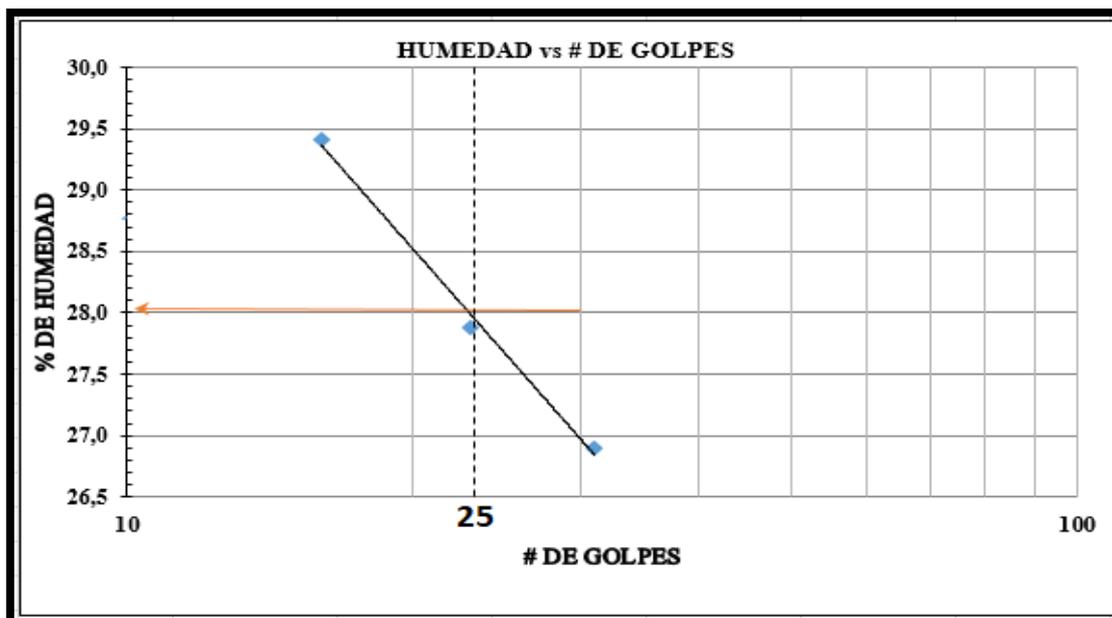


Figura 4-12 Grafica de Límite Líquido de la muestra M05

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

4.2.4 Ensayo de Absorción de la materia prima

Los resultados obtenidos nos dan una idea para desarrollar la dosificación correcta de la pasta cerámica y la cantidad de agua a agregar para que alcance una saturación correcta. En esta investigación se consideró los resultados de la muestra M06, M03 y M04 que cumplen con las propiedades tanto químicas como físicas para la fabricación de ladrillos en la zona de arapicos (ver figura 4-13).

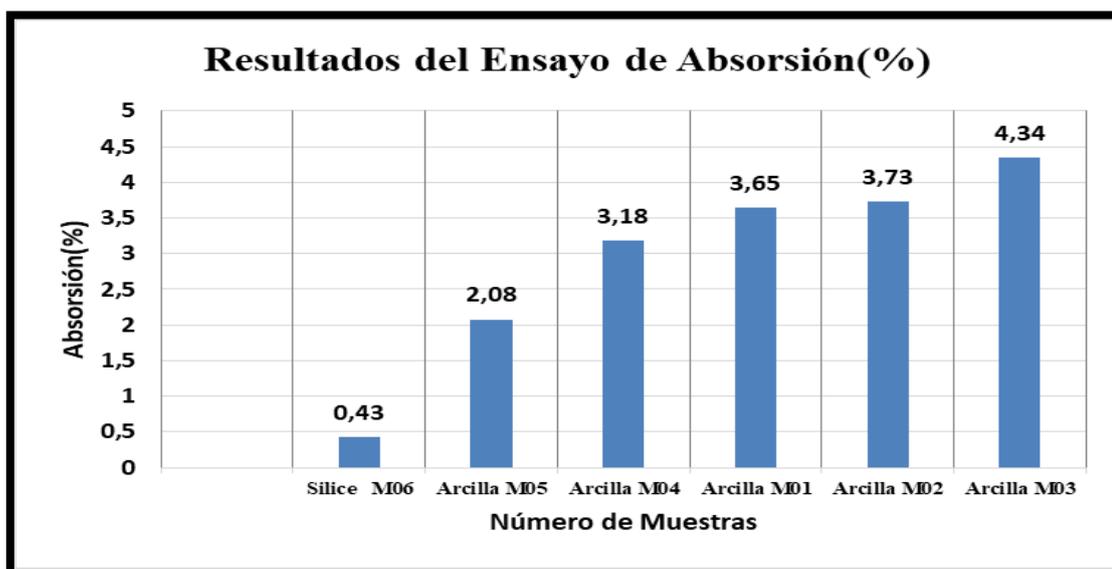


Figura 4-13 Resumen de ensayo de Absorción de las materias primas

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

4.2.5 Ensayo de Absorción de ladrillo macizo

El resultado óptimo en esta etapa de la investigación se muestra en la muestra ladrillo 5W con absorción de 9.23 %, alcanzando así lo resultados esperado a lo largo de la investigación (ver figura 4-14.).



Figura 4-14 Resultados de absorción del ladrillo macizo

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

4.2.6 Resultado del ensayo de esfuerzo a compresión simple

El resultado óptimo en esta etapa de la investigación se muestra en el ladrillo 5W con resistencia de compresión de 12.14 MPa, alcanzando así lo resultados esperado a lo largo de la investigación (ver figura 4-15).

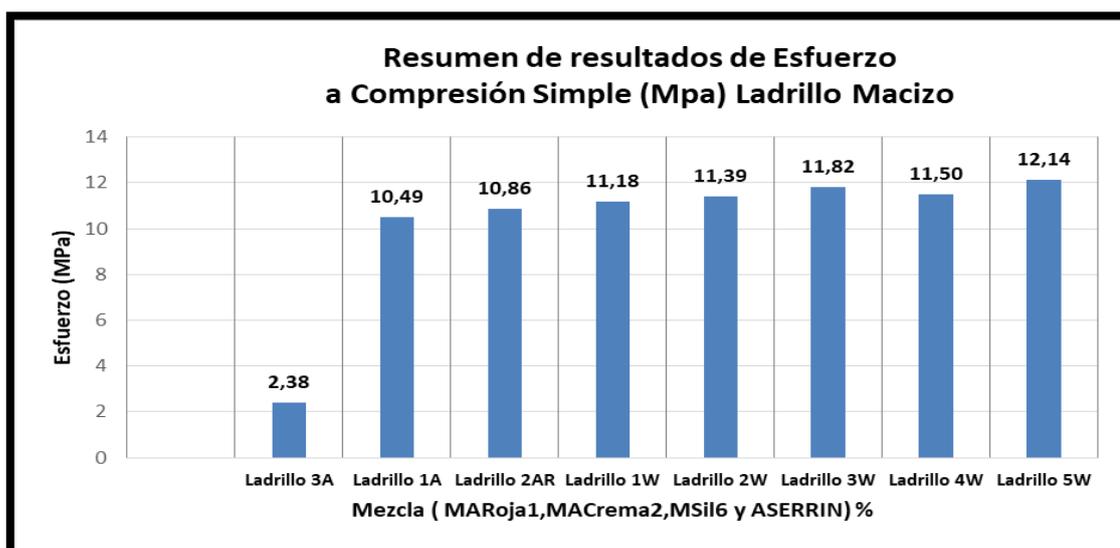


Figura 4-15 Resultados de esfuerzo de compresión simple de ladrillo macizo

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

4.3 Caracterización de las arcillas

El presente trabajo de investigación consistió en la caracterización de la materia prima existente en la zona de arapicos. A continuación en cada ítem se presenta un resumen total de los resultados obtenidos a criterio del autor según datos obtenidos en laboratorio.

4.3.1 Caracterización de las arcillas según el diagrama de Casa Grande

El diagrama de casa grande complementa los conceptos de límites de Atterberg dando un enfoque de aplicación y utilidad de los suelos ensayados, cuenta con varios parámetros de clasificación de acuerdo a las letras CL, CH, MH u OH y ML u OL. Cada uno de ellos marca un criterio de clasificación de acuerdo al porcentaje de los **índices plásticos y líquidos** de los suelos ensayados.

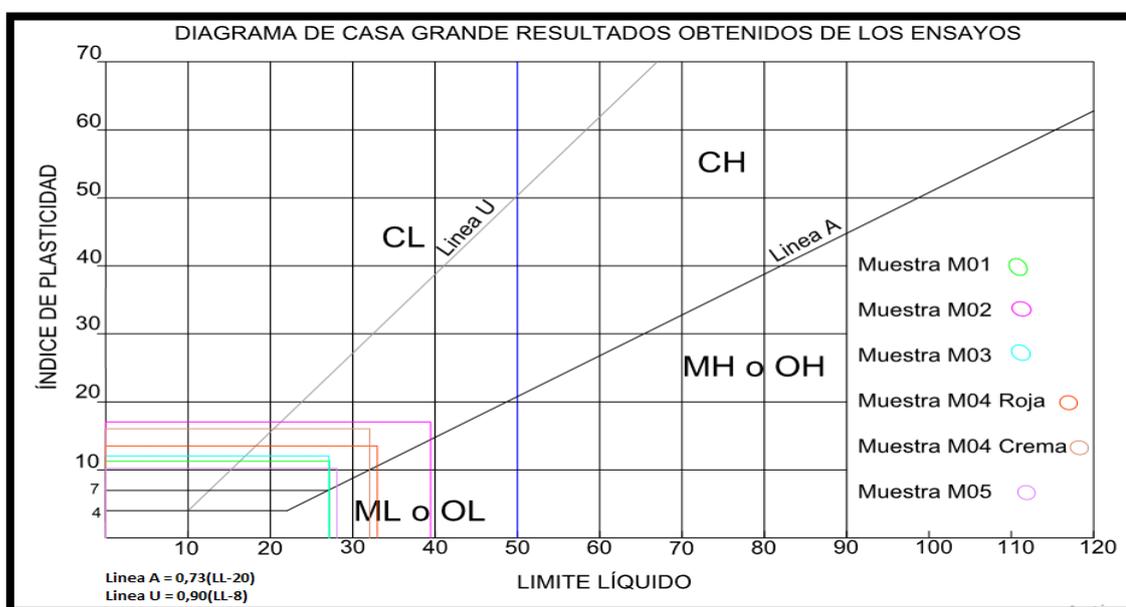


Figura 4-16 Diagrama de casa grande aplicados a los ensayos de la muestras

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

La recta de la línea A corresponde a la ecuación $IP = 0,73 (LL-20)$, que separa las arcillas inorgánicas que contienen algún tipo de coloide inorgánico. La recta de la ecuación $IP = 0,9 (LL-8)$ es el límite superior experimental.

La recta vertical que atraviesa el punto $LL = 50$ es una línea convencional que separa la arcilla de alta plasticidad a la derecha y de baja plasticidad a la izquierda. Las arcillas con el IP mayor a 30 % presentan defectos en la etapa de secado. La arcilla con el 10 % de IP es inmoldeables por el contenido de limo.

4.3.2 Caracterización física de las arcillas según SUCS y AASTHO

El sistema SUCS clasifica a los suelos en dos grandes grupos principales que son: grano fino y grano grueso, en la investigación se trabajó con suelos de grano fino, para su clasificación se tomaron datos de **índice plástico y límite líquido** los datos obtenidos se dibujan en el diagrama de casa grande tomando en cuenta las letras y su ubicación en los cuadrantes. Según este sistema las muestras analizadas se ubican en la letra **CL** sobre la línea. Según la tabla de clasificación SUCS la letra **CL** corresponde a arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad, con presencia de gravas, arenas, limos y margas.

El sistema AASTHO clasifica a los suelos en 7 grupos basándose en los ensayos de granulometría, límites e índice de plasticidad. Los datos se evalúan de acuerdo al índice de grupo que se calcula con la siguiente formula.

$$IG = (F - 35)[0.2 + 0.005(W_L - 40)] + 0.01(F - 15)(IP - 10)$$

Donde:

F= Porcentaje que pasa por el tamiz de abertura 0.08mm, expresado en números enteros.

W_L = Límite Líquido.

IP= Índice de Plasticidad.

Las arcillas estudiadas en la investigación se clasifican según AASTHO desde la letra A4, A5 y A6. Las letras A4-A6 corresponden a suelos arcillosos con presencia de limos (ver tabla 4-2).

Tabla 4-2 Resultado de la clasificación de suelos según SUCS y AASTHO

RESULTADO DE LA CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN SUCS Y AASTHO						
Nro.	Muestra	Código	SUCS	Descripción	AASTHO	Descripción
1	M01	128102017	CL	Arcilla inorgánica de media plasticidad	A-4	Suelo Limoso
2	M02	228102017	CL	Arcilla inorgánica de media plasticidad	A-6	Suelo Arcilloso
3	M03	329102017	CL	Arcilla inorgánica de media plasticidad	A-4	Suelo Limoso
4	M04 Roja	429102017	CL	Arcilla inorgánica de media plasticidad	A-5	Suelo Limoso
5	M04 Crema	429102017	CL	Arcilla inorgánica de media plasticidad	A-5	Suelo Limoso
6	M06	531102017	CL	Arcilla inorgánica de media plasticidad	A-4	Suelo Limoso

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

4.3.3 Caracterización química de las arcillas de arapicos

En las muestras **caolín** y **arcilla**, los resultados de fluorescencia de rayos X y difracción de rayos X determina la presencia de: cuarzo, caolinita, magnetita, pirita y grupo de las plagioclasas estos minerales brinda las características de un ladrillo terminado sin fisuras y con una alta resistencia a compresión simple.

Tabla 4-3 Caracterización mineralógica de arcillas de arapicos

<i>MINERALES PRIMORDIALES EN LA FABRICA DE LADRILLOS</i>	
<i>Mineral</i>	<i>Muestra1 M03</i>
	<i>Arcilla 31072017</i>
	<i>Contenido (%)</i>
<i>Cuarzo</i>	<i>43</i>
<i>Caolinita</i>	<i>22</i>
<i>Clinocloro</i>	<i>14</i>
<i>Calcita</i>	<i>4</i>
<i>Muscovita</i>	<i>5</i>
<i>Magnetita</i>	<i>3</i>
<i>Pirita</i>	<i>3</i>
<i>Grupo Plagioclasas (alvita, andesita, anortita)</i>	<i>3</i>
<i>Maghemita</i>	<i>2</i>
<i>Vermiculita</i>	<i>1</i>

Realizado por: Wisum, R. 2018.

La composición química de las arcillas determina una serie de propiedades como la resistencia al fuego, compresión simple y color.

- a) El cuarzo contribuye a la durabilidad e incrementa la capacidad de conservar su forma luego del moldeo, cantidades excesivas el cuarzo no son recomendables en la fábrica de ladrillos.
- b) La caolinita es fundamental ya que este mineral presenta propiedades refractarias y aumenta la resistencia mecánica al ladrillo cerámico.
- c) La pirita y magnetita hace que la arcilla tenga el color rojo.
- d) La muscovita actúa como agente corrector o desengrasante, y sirve únicamente para controlar la plasticidad al momento de realizar la pasta cerámica para la fábrica de ladrillo.

- e) El clinocloro hace que el limo presente un color verde, por la presencia de partículas diminutas de cloro, su forma cristalina es triclinico, en porcentajes mayor a 14% es una impureza.
- f) La calcita y la vermiculita son denominadas impurezas cuando están presentes en alto porcentaje en la materia prima a utilizar; en esta investigación los datos de laboratorio arrojaron un contenido de menor porcentaje en las muestras que no interfieren en la fabricación del ladrillo.

4.3.4 Caracterización mecánica del ladrillo artesanal de arapicos.

Se clasificó de acuerdo a la norma ecuatoriano INEN 296, que se basa en la propiedad de su resistencia a compresión simple de forma individual de los ladrillos cerámicos.

La norma NEC 297, clasifica a los ladrillo cerámico en dos grandes grupos macizo y hueco, los grupos están clasificados en Tipos A, B, C, D, E y F de acuerdo a su resistencia a la compresión en MPa. En la investigación el resultado óptimo es del ladrillo 5W con resistencia de 12.14 MPa y 9.23% de absorción que corresponde al ladrillo tipo C representado en la tabla con el color celeste.

Tabla 4-4 Clasificación de ladrillos de arapicos según normas NEC

CLASIFICACIÓN DE LADRILLOS DE ARAPICOS SEGÚN NORMAS NEC DEL ECUADOR				
Nombre	Absorción (%)	Esfuerzo(MPa)	Reducción longitud(cm)	Clasificación NEC
Ladrillo 1A	20,30	10,49	1	Tipo C
Ladrillo 2R	18,64	10,86	2	Tipo C
Ladrillo 3A	19,40	2,38	2,50	Tipo F
Ladrillo 1W	14,31	11,18	0,04	Tipo C
Ladrillo 2W	11,9	11,39	0,05	Tipo C
Ladrillo 3W	10,98	11,82	0,04	Tipo C
Ladrillo 4W	11,56	11,50	0,11	Tipo C
Ladrillo 5W	9,23	12,14	0,03	Tipo C

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

4.4 Propuesta del plan de proceso de fábrica de ladrillo Semi-Industrial

La propuesta se basa en los resultados alcanzados en la investigación, del análisis de las propiedades físicas y químicas que poseen las arcillas, con proyección a alcanzar la fabricación de ladrillo tipo A según la norma NEC 297 y está descrita en el siguiente diagrama de flujo.

4.5 Diagrama de flujo de proceso de fábrica Semi-Industrial de ladrillos

<i>ETAPAS DEL PROCESO DE FABRICACION MEJORADA</i>	<i>RESPONSABLE de cada proceso</i>	<i>EQUIPOS Y ERRAMIENTAS</i>
<p>EXPLORACIÓN</p> <p>TRANSPORTE</p> <p>DEPÓSITO 1</p> <p>CLASIFICACIÓN 1</p> <p>TRATAMIENTO</p> <p>MOLINO PRIMARIO</p> <p>DEPOSITO 2</p> <p>DOSIFICACIÓN</p> <p>MOLINO SECUNDARIO</p> <p>REPOSO O MADURO</p> <p>MOLDEADO</p> <p>SECADO</p> <p>COCCIÓN</p> <p>DEPÓSITO 3</p> <p>CLASIFICACIÓN 2</p> <p>COMERCIALIZACION</p> <p>FIN</p>	<p><i>Jefe de Mina Ing. En Minas</i></p> <p><i>Operador</i></p> <p><i>Jefe de Operación Ing. Minas</i></p> <p><i>Obrero</i></p> <p><i>Jefe de Mina Ing. Químico</i></p> <p><i>Jefe de operaciones Ing. Minas</i></p> <p><i>Obrero</i></p> <p><i>Jefe de Operaciones Ing. Químico</i></p> <p><i>Jefe de Operaciones Ing. Minas</i></p> <p><i>Obrero</i></p> <p><i>Obrero</i></p> <p><i>Jefe de Operaciones Ing. Minas</i></p> <p><i>Jefe de Operaciones Ing. Minas</i></p> <p><i>Obrero</i></p> <p><i>Obrero</i></p> <p><i>Jefe de Operaciones Ing. Contabilidad</i></p>	<p><i>Bulldózer D6D Y Retroexcavadora</i></p> <p><i>Volquetes y pala Cardadora</i></p> <p><i>Cargadora frontal</i></p> <p><i>Pala de Mano y Tamiz</i></p> <p><i>Toma de Muestras y laboratorio</i></p> <p><i>Trituradora de mandibula PE de capacidad 45-100T/h</i></p> <p><i>Banda transportadora Y pala de mano</i></p> <p><i>Pesa de tonelaje Y laboratorio</i></p> <p><i>Banda transportadora, tamiz #40 y pala de mano</i></p> <p><i>Espacio cerrado Y plástico</i></p> <p><i>Molino sinfin de precision Y molde de madera</i></p> <p><i>Espacio abierto y cerrado secado a horno</i></p> <p><i>Tres hornos de capacidad de 10 mil ladrillos</i></p> <p><i>Bodega de 300m2</i></p> <p><i>Bodega de 300m2</i></p> <p><i>Marquetin y Publicidad</i></p>

Figura 4-17 Diagrama de flujo de proceso de fábrica semi-industrial de ladrillo

Elaborado por: Wisum, R. 2018.

CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En la prospección se localizó la materia prima óptima proveniente de las formaciones Tena y Mera, con características físicas y químicas idóneas para la fábrica de ladrillos cerámicos. Estas poseen un índice de plasticidad de 12.05 % a 16.06% y un porcentaje de sílice 31.53% a 27.74%, aluminio 11.29% a 10.07%, hierro 2.05% a 4.77% y magnesio 0.77% a 1.31%, respectivamente brinda mayor trabajabilidad y durabilidad al ladrillo.

En el ensayo de Difracción de rayo X de la muestra M03 se halló la presencia de minerales fundamentales en la fabricación de ladrillos cerámicos en porcentaje considerables: cuarzo 43% que contribuye a la durabilidad, caolinita 22% que da propiedades refractarias y aumenta la resistencia mecánica, muscovita 5% controla la plasticidad de la pasta cerámica, pirita 3% y magnetita 3% que dan la coloración y resistencia a la compresión.

En el ensayo físico de las muestras M03 y M04, pudo determinar el límite líquido de 27.11% a 33.08%, límite plástico de 15.06% a 17.02%, e índice de plasticidad de 12.05 a 16.06% estos resultados se encuentran dentro el rango de plasticidad establecido según AASTHO, esta característica física hace que estas arcillas sean las óptimas en la fábrica de ladrillos cerámicos (ver tabla 4-1).

El ensayo de absorción de las muestras tubo los siguientes resultados: M03 = 4.34%, M04 = 3.18% y Si = 0.43%, estos resultados se utilizó para el cálculo de la cantidad de agua a agregar en la mezcla, facilitando así la óptima saturación de la pasta cerámica.

En el ensayo físico se determinó que la granulometría óptima para la fabricación de ladrillo cerámico tiene que ser, pasante del tamiz # 40, esta propiedad física es necesaria en la mezcla del material, ya que evita el proceso de secado y cocción el fisuramiento y reducción de longitud en mayores proporciones.

El aserrín en la fábrica de ladrillo contribuye a: la reducción de su longitud en la etapa de secado y cocción, la absorción del agua se en menor porcentaje, hace que la mezcla en altas temperaturas cierre los espacios vacíos manteniendo las propiedades físicas del ladrillo, esas característica hace que el aserrín muy indispensable en la fábrica de ladrillos cerámicos.

La etapa de secado se dividió en presecado y secado. La primera etapa consiste en dejar la pieza secar en un ambiente cerrado durante 4 días, dejando circular el aire con una velocidad constante y una temperatura equilibrada. La segunda etapa consiste en secar al horno a temperatura de 110°C durante 24 horas, este proceso ayuda que la pieza no se fisure con facilidad en la etapa de cocción.

Se realizó la dosificación de 6000gr que representa el 100% de la mezcla(materia prima) a preparar, la pasta(materia prima + agua), que está compuesta por arcillas de la muestra M03 60%, M04 20%, Sílice 15% y Aserrín 5%, los resultados fueron óptimos; resistencia a compresión simple 12.14 MPa y absorción de 9.23%, que da según normas NEC 297 la clasificación del ladrillo en tipo C, para llegar al resultado se preparó 5 prototipos en diferentes porcentajes según el diagrama de flujo utilizado.

5.2 Recomendaciones

Para la obtención de la materia prima en la fabricación de ladrillos cerámicos de Arapicos, se recomienda extraer arcillas de la formación Tena y Mera. Por el contenido de sílice, aluminio, hierro y magnesio.

En el proceso de selección de la materia prima para fabricar ladrillos cerámicos, se recomienda realizar ensayo de Fluorescencia de rayos X y Difracción de Rayos X. Estos análisis nos permiten conocer el contenido de sus elementos, óxidos y minerales presentes en la arcilla, el análisis se realiza de forma individual debido a que las propiedades químicas son variables que dependerán de la génesis del yacimiento.

En la fábrica de ladrillos cerámicos para conocer las propiedades físicas de la materia prima, se recomienda realizar los ensayos de: granulometría, Humedad Natural, Limite Líquido, limite Plástico y porcentaje de absorción. Basados en las normas AASTHO T88-00 ASTM 422, T265 ASTM D 2216, T89, T90 ASTM D 4318. Estos resultados permitirán una mezcla óptima de la pasta.

Para cumplir el objetivo de trituración y molienda por el contenido de clastos de diámetro entre 5-15 cm, se recomienda utilizar dos tipos de molinos eléctricos primario y secundario: molino primario modelo PE de mandíbula 500X7500, capacidad de 45-100 T/h, potencia de 55Kw, modelo de motor 1890x1916x1870mm, abertura de descarga de 50-10mm, y molino secundario modelo HPT100, capacidad 45-140mm, potencia 90Kw, motor 1705x1510x1582mm, abertura de descarga 9-19mm.

Para obtener ladrillos de tipo C, se recomienda utilizar el diagrama de flujo y la dosificación del prototipo 5 de código P0534. Los resultados fueron óptimos en la investigación realizada representada por el color azul (ver tabla 4-4).

5.3 Bibliografía

- Aguilera. (1989). *Tratado de Edafología de México Tomo I*. Mexico D. F: Facultad de Ciencias Universidad Nacional Autónoma de México.
- Almeida . (1997). Estudio de la Formación Tiyuyacu. En A. T. Quito: Universidad Central.
- Asanza, M. (2012). *Geología, geofísica, geotécnica proyecto hidroeléctrico San Bartolo*. Mendez-Ecuador: HSB.
- Baldock. (1982). *Geología del Ecuador*. Quito: Dirección General de Geología y Minas.
- Barreto , D. (04 de Diciembre de 2013). *Ladrillos. Geometría*. Obtenido de <http://06201203.blogspot.com/2013/12/geometría.html>
- Bartolomé, J. (1997). *El caolín: composición, estructura, genesis y aplicaciones* . Madrid: Boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio.
- Benitez, S. (1996). Informe Estratigráfico del bloque 18 Cuenca Oriente . En Benitez, *Informe Técnico N° 050-PG-96. Covenio PETROPRODUCCIÓN-AMOCO* (págs. 2-9). Guayaquil .
- Bohor, B. F. (1959). Characterization of illite and its associated mixed layers. *Ph D. Thesis Doctorado, Complutense de Madrid*.
- Brindley, G. W., & Ali, S. Z. (1950). Thermal transformations in magnesium chlorites. *Acta Cryst*, 3, 25-30.
- Busillo, M., & López, C. (1997). Manual de Evaluación y Diseño de Eplotaciones Mineras. En M. Busillo, & C. López, *Metodología de Muestreo* (págs. 103-104). Madrid: I.S.B.N: 84-921708-2-4.
- Duitama, L. (2004). Composición mineralógica y química de las arcillas empleadas para cerámica roja de la zona de Medellín, Itagui y Amaga. *Academia Colombiana de Ciencia*, 28.
- Emilia , G. R., & Mercedes, S. B. (16 de Abril de 2017). *LAS ARCILLAS*. Obtenido de PROPIEDADES Y USO: Recuperado el 15 de noviembre del 2017.

<https://www.uclm.es/users/higuera/yymm/arcillas.htm>

Everhart, J. O. (1957). "Use of auxiliary fluxes to improve structural clay bodies". En J. O. Everhart, *Am. Ceram* (págs. 268-271). Soc. Bull, 36.

Faucher, B., & Savoyat, E. (1975). *Esquema Geológico de los Andes Ecuatorianos*. Quito.

Frias , D. (19 de Octubre de 2017). *Clasificación de Suelos*. Obtenido de BIBLIOTECA – Duoc UC: Recuperado el 20 de octubre del 2017. http://biblioteca.duoc.cl/bdigital/esco/Ing_construccion/40025.pdf

GAD Parroquial, R. B. (2010). *Plan de Ordenamiento territorial*. Macas-Rio Blanco.

Grim, R. E., & Kulbicki, G. (1957). X-Ray study of clay-mineral reactions at elevated temperature. *Bu/l. Soc. Franc Ceram* 36, 21-27.

Guggenheim , S., & Martín, R. T. (1995). *Definition of clay and clay mineral : Joint report of the AIPEA and CMS Nomenclature Committees* . *Clays Clay Miner.* 43: 255-256.

Huacho. (1990). *Geological and structural and image processing of Landsat and radar data of the sub-andean zone and western part of the Oriente basin, Ecuador, PETROECUADOR-UNOCLA, Proj.* Quito: Unocal 863-18101 inédito.

INEN 607. (1981). *Materiales refractarios. Forma y dimensiones recomendadas de ladrillos y piezas de caras planas*. Quito, Ecuador.

Jimenez , S. A. (1975). Geotécnica y Cimientos. Vol. I. En S. J. Jimenez, *Propiedades de los Suelos y de las Rocas* (pág. 466). España: 2ª Edición. Editorial Rueda.

Kingery, W. D. (1960). Ceramic fabrication processes. En W. D. Kingery, *Technology Press M.I.T. y John Wiley and Sons*. New York.

Litherland . (1994). *The metamorphic belts of Ecuador*. Quito.

Mantilla. (2003). TERMOCRONOLOGÍA K-Ar EN ILLITAS. En A. METODOLÓGICOS, *Boletín de Geología* (págs. 11-12.). Universidad Industrial de Santander, Vol. 25(40).

Martin , R. T. (1962). Absorbed water on clay, a review-clays. *Clay Min.* 9, 28-71.

- Martínez, V. (1990). *Geotecnia para ingenieros*. Madrid: Lluvia Editores.
- NEC 297. (1977). *Ladrillos Cerámicos. Requisitos*. Quito, Ecuador.
- NEC-VIVIENDA. (2015). *Viviendas de hasta dos pisos con luces de hasta 5 metros mampostería*. Quito-Ecuador.
- NTE INEN 296. (2014). *Ladrillos cerámicos. Determinación de la humedad*. Quito, Ecuador.
- Núñez del Arco, & Eugenio. (2003). Geología del Ecuador. En N. d. Arco. Guayaquil: s.n.
- Pérez Castillo, J. G. (2016). *Mejorar la calidad de los ladrillos artesanales producidos en la ciudad de catamayo*. Loja: UTPL.
- Quillupangui. (2011). *Diseño y simulación de un sistema de moldeo para ladrillo crudo con medidas 34x16x7 centímetros*. Quito: Carrera de Ingeniería mecánica. UPS.
- Rivadeneira, M., & Ramirez, F. (Agosto de 1986). Prospectos hidrocarburíferos: La Zona Subandina Amozónica. Trabajo presentado en el Sexto Congreso Latinoamericano de Geología. En M. Rivadeneira, & F. Ramirez, *ORO Y PETROLEO, revista del Colegio de Ingenieros Geólogos, de minas y Petroleos. Informe Tecnico Especia N° 3* (págs. 14-25). Bogota-Colombia 85, Colombia.
- Sarway, R., & Jenrry, F. (2001). *Física*. México D.F: Pearson.
- Sierra, R. (1999). Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador Continental. En Sierra, *Proyecto INEFAN /GEF-BIRF Y EcoCiencia* (pág. 194). Quito: ISBN: 99-40-943-2.
- Universidad Politécnica de Cartagena. (23 de Octubre de 2017). *Difracción de Rayos X*. Obtenido de Universidad Politécnica de Cartagena: Recuperado el 5 de septiembre del 2017. https://www.upct.es/~minaees/difraccion_rayosx.pdf
- Wachtman Jr, J. B. (1967). Mechanical properties of ceramics. En J. B. Wachtman Jr, *And introductory survey", Am. Ceram* (págs. 757-774). Soc. Bull, 46.

ANEXOS

Ensayos Químicos(A)

 ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA			
Resultados de Análisis			
Solicitante: Sr. Roberth Christian Wisum Yankam.			
Referencia: ST - 7477			
Fecha: 15/08/2017			
Muestras recibidas: Una muestra sólida denominada:			
Muestra 1: Caolín (Código Registrado)			
Resultados Análisis Fluorescencia de Rayos X			
El análisis químico de las muestras se determinó en el equipo de Fluorescencia de rayos X S8 Tiger, con el programa Spectra Pluss. A continuación se detallan los resultados obtenidos del análisis:			
Elemento	Muestra 1 Contenido (%)	Óxido	Muestra 1 Valor Calculado* (%)
Si	31,53	SiO ₂	67,45
Al	11,29	Al ₂ O ₃	21,33
Fe	2,05	Fe ₂ O ₃	2,93
K	1,23	K ₂ O	1,48
Mg	0,77	MgO	1,27
Ti	0,60	TiO ₂	1,00
Ca	0,27	CaO	0,38
Na	0,18	Na ₂ O	0,25
Ba	0,03	P ₂ O ₅	0,05
P	0,02	BaO	0,03
Zn	0,01	ZnO	0,02
Mn	0,01	MnO	0,01
S	0,01		
Cl	0,04		

A solicitud del cliente, los resultados se expresan en forma de óxidos a partir del cálculo estequiométrico.


 Ing. Alicia Guevara Ph.D.
 Jefe de Departamento




 Ing. Kleber Collantes
 Responsable



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Resultados de Análisis

Solicitante: Sr. Roberth Christian Wisum Yanlam.

Referencia: ST - 7472

Fecha: 09/08/2017

Muestras recibidas: Una muestra sólida denominada:

Muestra 1: Arcilla 31072017 (Código Registrado)

Resultados pérdidas por calcinación

La calcinación se la realizó en una mufla marca: SNOL durante media hora, a la temperatura de 950 grados centígrados. Los resultados obtenidos se detallan a continuación:

	Valor
Muestra 1	7,84 %

Resultados Análisis Fluorescencia de Rayos X

El análisis químico de las muestras se determinó en el equipo de Fluorescencia de rayos X S8 Tiger, con el programa Spectra Plus. A continuación se detallan los resultados obtenidos del análisis:

Elemento	Muestra 1	Óxido	Muestra 1
	Contenido (%)		Valor Calculado (%)
Si	27,74	SiO ₂	59,35
Al	10,07	Al ₂ O ₃	19,03
Fe	4,77	Fe ₂ O ₃	6,82
K	1,91	K ₂ O	2,30
Ca	1,54	CaO	2,16
Mg	1,31	MgO	2,17
Na	0,52	TiO ₂	0,79
Ti	0,48	Na ₂ O	0,70
P	0,11	P ₂ O ₅	0,25
Mn	0,02	Mn ₂ O ₃	0,03
S	0,10		

A solicitud del cliente, los resultados se expresan en forma de óxidos a partir del cálculo estequiométrico.


Ing. Alicia Guevara Ph.D.
Jefe de Departamento


MSc. Evelyn Criollo
Jefe de Laboratorio


Ing. Kieber Collantes
Responsable



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA



Resultados Análisis de Difracción de Rayos X

Solicitante : Sr. Roberth Christian Wisum Yankam.
No. Referencia : ST- 7472
Fecha : 09 - 08 - 2017
Muestras recibidas : Una muestra sólida denominada:
Muestra 1 : Arcilla 31072017 (Código Cliente)

La determinación de los compuestos con cristalización definida presentes en la muestra se realizó empleando el Difractómetro D8 ADVANCE y el programa Diffrac plus (EVA Y TOPAS) para cualificación y semi-cuantificación. A continuación se detallan los resultados obtenidos del análisis.

Mineral	Fórmula	Muestra 1 Contenido (%)
Cuarzo	SiO ₂	43
Caolinita	Al ₂ (Si ₂ O ₇)(OH) ₄	22
Clinocloro	(Mg,Fe) ₂ Al(Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₄	14
Calcita	CaCO ₃	4
Muscovita	KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂	5
Magnetita	Fe ₃ O ₄	3
Pirita	FeS ₂	3
Grupo Plagioclasas (albita, andesina, anortita)	(Na,Ca)Al(Si,Al)Si ₂ O ₈	3
Maghemita	Fe ₂ O ₃	2
Vermiculita	(Mg,Fe,Al) ₂ (OH) ₂ (Al,Si) ₄ O ₂₀ ·4H ₂ O	1

NOTA: El límite de detección del equipo empleado es del 1% para compuestos con cristalización definida. La muestra contiene material amorfo no cuantificado por esta técnica de análisis.

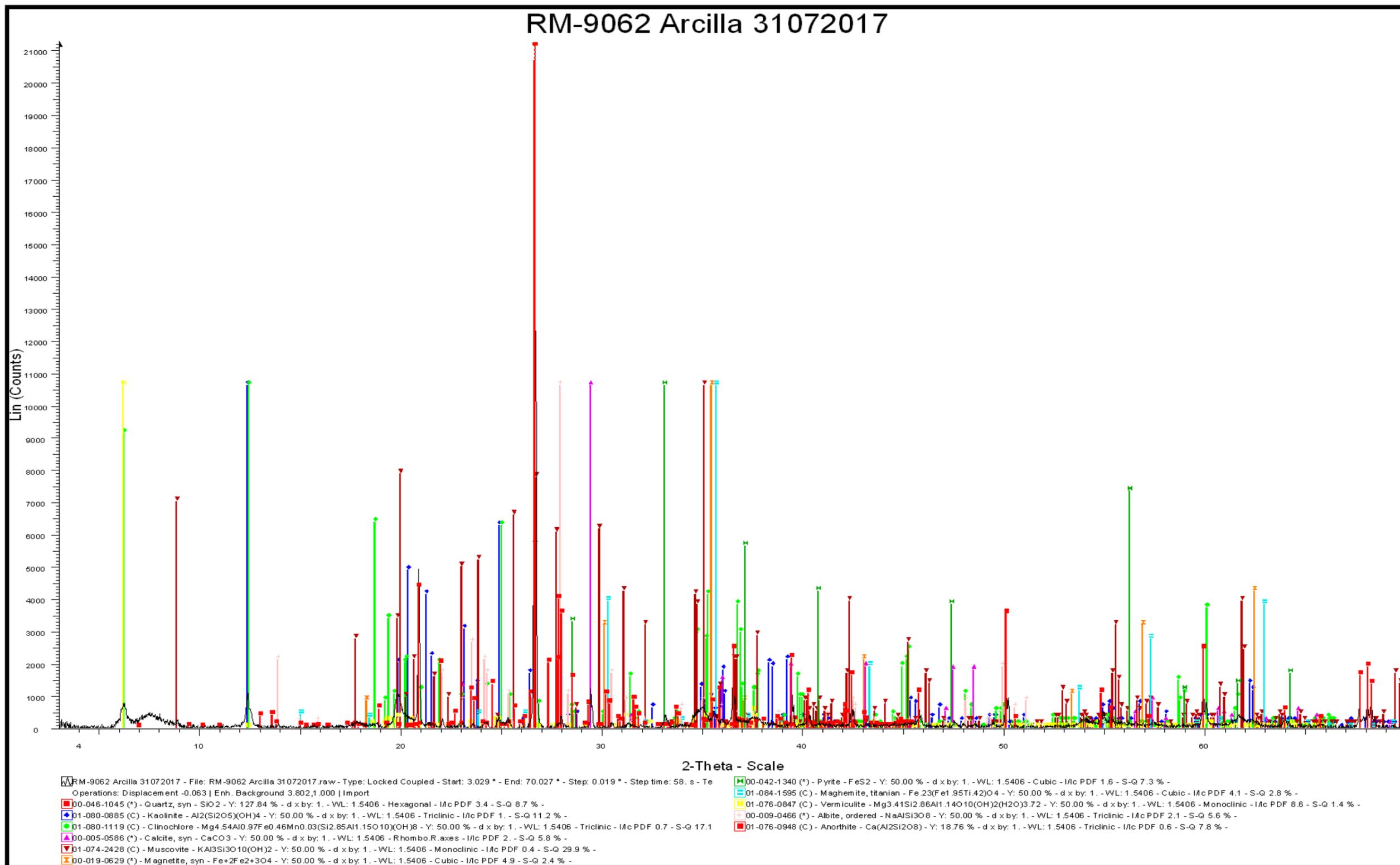

Ing. Alicia Guevara Ph.D.
Jefe de Departamento




MSc. Evelyn Criollo
Jefe de Laboratorio


Ing. Kleber Collantes
Responsable

DIFRACTOGRAMA



Ensayos Físicos (B)

Macas, 20 de octubre del 2017

Ing.
Bolívar Villavicencio
DIRECTOR DE OBRAS PÚBLICAS DEL GDPMS.
En su despacho. -

*Tigo. Carlos Sarmiento
Coordina el cronograma
de trabajo con el
estudiante*
[Firma]

De mi consideración:

Reciba un cordial saludo y sincero deseo de éxitos en las funciones que muy acertadamente desempeña en beneficio de la Provincia de Morona Santiago, el motivo de la presente es para solicitar muy comedidamente se realicen las gestiones necesarias para que me pueda facilitar el uso de laboratorio con la cuenta el Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Morona Santiago, para poder realizar ensayos físico de suelos tomados a la largo de la vía Río Blanco hasta el Río Arapicos, los resultados obtenidos del ensayo, me servirá para la culminación de mi proyecto de titulación con el tema denominado: **"PROSPECCIÓN GEOLÓGICA Y CARACTERIZACIÓN DE ARCILLAS DE LA ZONA DE ARAPICOS PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS ARTESANALES"**, ya que es un requisito primordial para el proceso de titulación en la carrera de Ingeniería en Geología y Minas de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Ext. Morona Santiago.

Anexo:

1.- Cuadro detallado de ensayos a realizar en laboratorio.

Por la favorable atención que se sirva dar a mi petición, anticipo mis sinceros agradecimientos a usted.

Atentamente, -

[Firma]
Wisam Yankuan Robert Christian.
ESTUDIANTE, ESPOCH EXT. MORONA SANTIAGO

DIRECCIÓN DE
OBRAS PÚBLICAS
RECIBIDO
20 OCT 2017
11.02
GAD de la Provincia
de Morona Santiago

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

EXTENSIÓN MORONA SANTIAGO

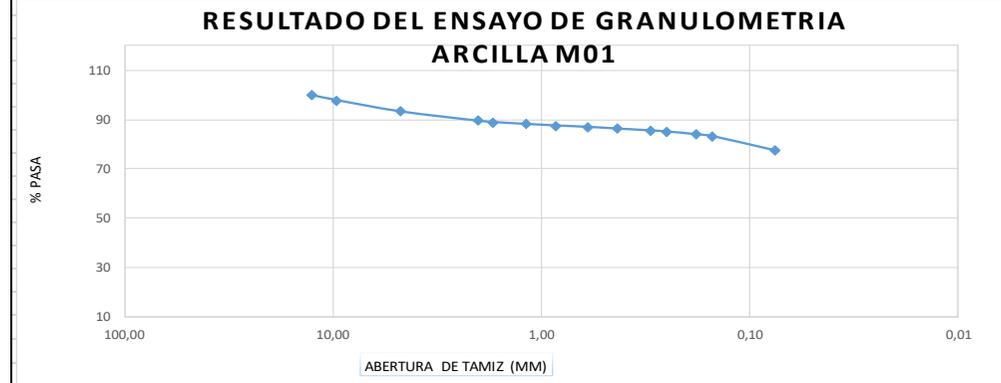
OBJETIVO Realizar una caracterización fisicoquímica y fisicomecánicas de las arcillas a partir de ensayos de difracción de Rayos X, **Límite de Atterberg**, Absorción y Compresión Simple.

PROVINCIA	Morona Sntiago	TOMA DE MUESTRA	Afloramiento	PROYECTO	Tesis de Grado
CANTÓN	Morona	PROFUNDIDAD	0,30cm 2,50m	ENSAYADO POR	Robert. W.
PARROQUIA	Río Blanco	PROYECCIÓN	Datum UTM WGS 84 Zona 17	FECHA DE TOMA	28/10/2017
SECTOR	Arapicos	COORDENADAS	86122,37 9740018,12	FECHA DE ENSAYO	31/10/2017
				USO	Fabrica de Ladrillo Artesanal
				MUESTRA	N° 01 Arcilla Roja y Limo verde
				CÓDIGO	128102017

ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

TAMIZ	GRANULOMETRÍA (ASTM D422)					
	ABERTURA (mm)	PESO RET. PARCIAL	PESO RET. ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA	% ESPECIFICADO
1/2"	12,50	-	0,0	0,00	100,00	
3/8"	9,52	15,80	15,8	2,01	97,99	
N°4	4,75	35,60	51,4	6,53	93,47	
N°10	2,00	30,20	81,6	10,36	89,64	
N°12	1,7	4,0	85,60	10,87	89,13	
N°16	1,18	6,00	91,60	11,63	88,37	
N°20	0,85	5,00	96,60	12,27	87,73	
N°30	0,60	4,40	101,00	12,83	87,17	
N°40	0,43	5,60	106,66	13,55	86,45	
N°50	0,30	5,80	112,40	14,27	85,73	
N°60	0,25	3,40	115,80	14,71	85,29	
N°80	0,18	9,00	124,80	15,85	84,15	
N°100	0,15	6,40	131,20	16,66	83,34	
N°200	0,075	46,00	177,20	22,50	77,50	
< N°200			610,20	77,50		
TOTAL			787,40	100,00		

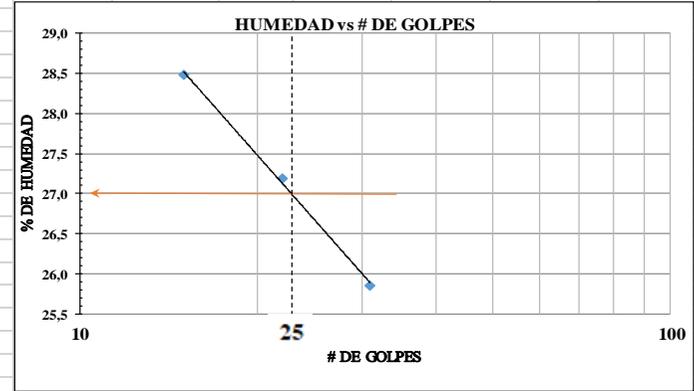
PESO ANTES DEL LAVADO	787,40	gr	ÁRIDO
PESO DESPUES DEL LAVADO	177,20	gr	GRAVA
			ARENA
			FINOS
			100 %



HUMEDAD NATURAL (ASTM D2216)						
N° TARRO	N° GOLPES	PESO HUMEDO	PESO SECO	PESO TARRO	% DE HUMEDAD	% PROMEDIO
43		99,29	97,15	27,09	3,05	
44		109,52	107,11	29,09	3,09	3,07

LIMITE LIQUIDO (ASTM D4318)						
N°	N°	PESO	PESO	PESO	%	%
TARRO	GOLPES	HUMEDO	SECO	TARRO	DE HUMEDAD	PROMEDIO
27	31	48,07	43,95	28,02	25,86	
31	22	48,14	43,67	27,23	27,19	
29	15	43,93	40,09	26,61	28,49	
						27,18

LIMITE PLASTICO (ASTM D4318)						
N°	N°	PESO	PESO	PESO	%	%
TARRO	GOLPES	HUMEDO	SECO	TARRO	DE HUMEDAD	PROMEDIO
30		17,55	16,97	13,36	16,07	
32		17,38	16,85	13,48	15,73	
						15,90



CLASIFICACIÓN DE SUELOS MUESTRA M01		
SUCS	CL	
AASTHO	Suelos Limosos	A-4
HUMEDAD NATURAL:	3,22	%
LIMITE LIQUIDO:	27,18	%
LIMITE PLASTICO:	15,90	%
INDICE PLASTICO:	11,28	%
INDICE DE GRUPO:	7	

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

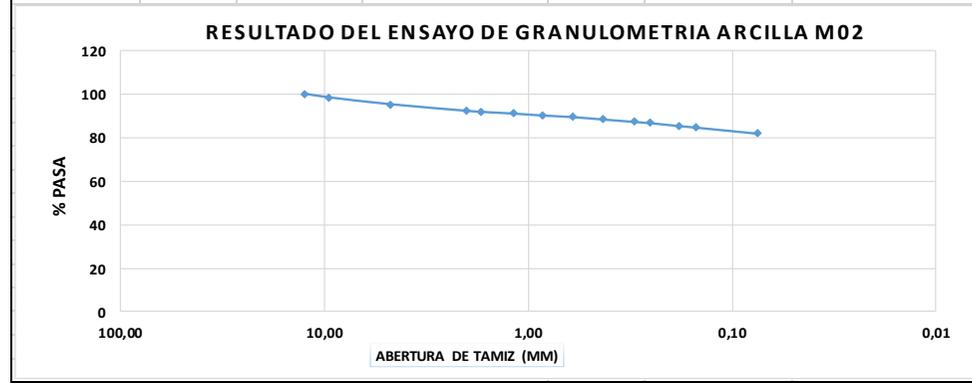
EXTENSIÓN MORONA SANTIAGO

OBJETIVO	Realizar una caracterización fisicoquímica y fisicomecánicas de las arcillas a partir de ensayos de difracción de Rayos X, Límite de Atterberg, Absorción y Compresión Simple.						
PROVINCIA	Morona Sntiago	TOMA DE MUESTRA	Afloramiento	PROYECTO	Tesis de Grado		
CANTÓN	Morona	PROFUNDIDAD	0,3cm 6m	ENSAYADO POR	Robert. W.		
PARROQUIA	Río Blanco	PROYECCIÓN	Datum UTM	FECHA DE TOMA	28/10/2017	MUESTRA	N° 02 Arcilla roja, Lutita Negra, Arcilla Crema Limo café-gris
SECTOR	Paus	COORDENADAS	815476,39 9739851,39	FECHA DE ENSAYO	1/11/2017	CÓDIGO	228102017

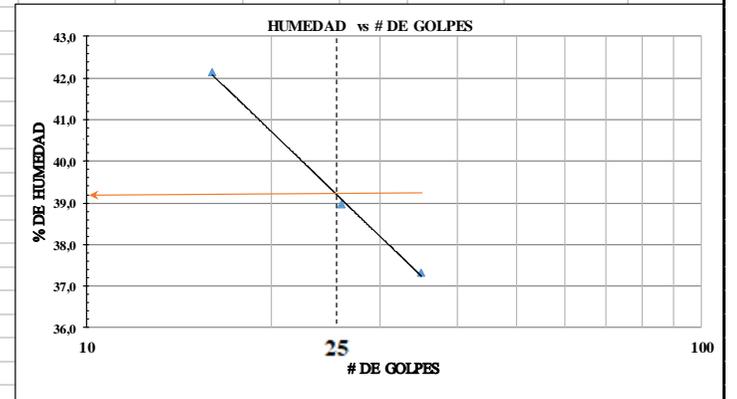
ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

TAMIZ	ABERTURA (mm)	GRANULOMETRÍA (ASTM D422)				% QUE PASA	% ESPECIFICADO
		PESO RET. PARCIAL	PESO RET. ACUMULADO	% RETENIDO	%		
1/2"	12,50	-	0,0	0,00	100,00		
3/8"	9,52	8,40	8,4	1,65	98,35		
N°4	4,75	15,80	24,2	4,76	95,24		
N°10	2,00	15,20	39,4	7,75	92,25		
N°12	1,7	2,4	41,80	8,23	91,77		
N°16	1,18	4,00	45,80	9,01	90,99		
N°20	0,85	4,00	50,20	9,88	90,12		
N°30	0,60	3,80	54,00	10,63	89,37		
N°40	0,43	5,40	59,40	11,69	88,31		
N°50	0,30	5,60	65,00	12,79	87,21		
N°60	0,25	3,00	68,00	13,38	86,62		
N°80	0,18	6,60	74,60	14,68	85,32		
N°100	0,15	3,40	78,00	15,35	84,65		
N°200	0,075	13,80	91,80	18,06	81,94		
< N°200			416,40	81,94			
TOTAL			508,20				

PESO ANTES DEL LAVADO	508,20	gr	ÁRIDO	
PESO DESPUES DEL LAVADO	91,80	gr	GRAVA	4,76 %
			ARENA	13,30 %
			FINOS	81,94 %
				100 %



HUMEDAD NATURAL (ASTM D2216)						
N°	N°	PESO HUMEDO	PESO SECO	TARRO	% DE HUMEDAD	% PROMEDIO
22		109,02	106,21	27,93	3,59	
23		75,23	72,20	27,52	6,78	5,19
LIMITE LIQUIDO (ASTM D4318)						
40	35	49,06	43,44	28,38	37,32	
41	26	51,00	44,17	26,64	38,96	
42	16	46,63	40,52	26,02	42,14	
						39,47
LIMITE PLASTICO (ASTM D4318)						
22		18	17,18	13,51	22,34	
23		18,11	17,28	13,59	22,49	
						22,42



CLASIFICACION:		
SUCS	CL	
AASTHO	Suelos Arcillosos	A-6
HUMEDAD NATURAL:	5,19 %	
LIMITE LIQUIDO:	39,47 %	
LIMITE PLASTICO:	22,42 %	
INDICE PLASTICO:	17,05 %	
INDICE DE GRUPO:	14	

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

EXTENSIÓN MORONA SANTIAGO

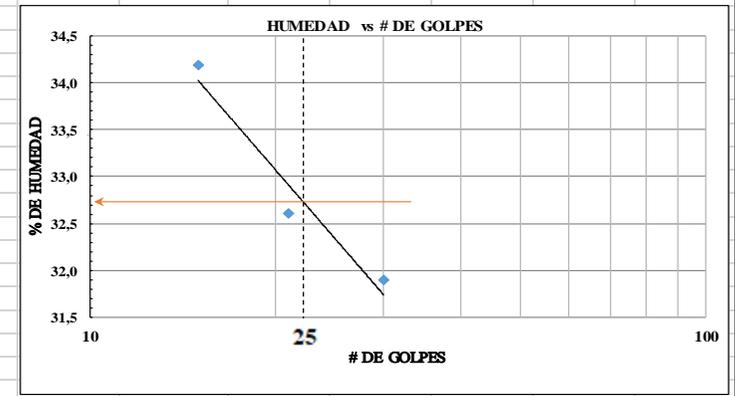
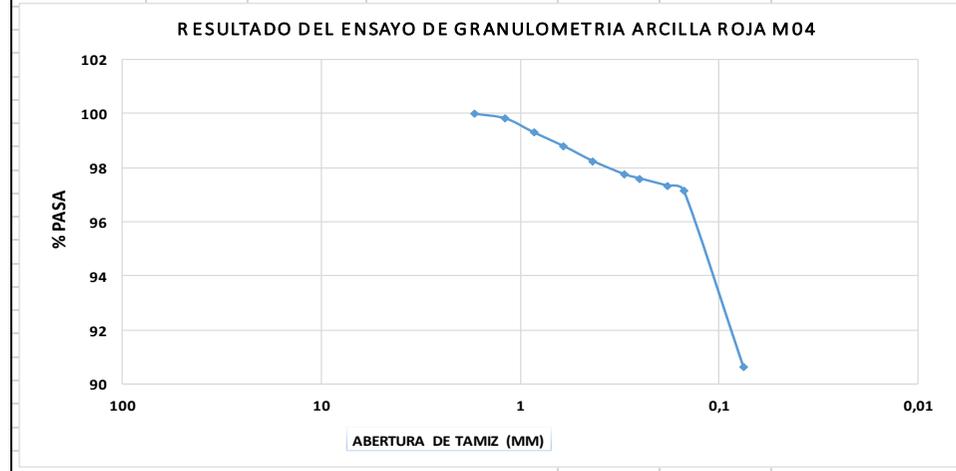
OBJETIVO	Realizar una caracterización fisicoquímica y fisicomecánicas de las arcillas a partir de ensayos de difracción de Rayos X, Límite de Atterberg, Absorción y Compresión Simple.						
PROVINCIA	Morona Sntiago	TOMA DE MUESTRA	Calicata	PROYECTO	Tesis de Grado		
CANTÓN	Morona	PROFUNDIDAD	1m	ENSAYADO POR	Robert. W.	USO	Fabrica de Ladrillo Artesanal
PARROQUIA	Río Blanco	PROYECCIÓN	Datum UTM WGS 84 Zon.	FECHA DE TOMA	29/10/2017	MUESTRA	N° 04 Arcilla Roja
SECTOR	Arapicos	COORDENADAS	815207,54 9736473,07	FECHA DE ENSAYO	6/11/2017	CÓDIGO	429102017

ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RET. PARCIAL	GRANULOMETRÍA (ASTM D422)		
			PESO RET. ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA
N°12	1,7	-	0,00	0,00	100,00
N°16	1,18	0,59	0,59	0,18	99,82
N°20	0,85	1,70	2,29	0,69	99,31
N°30	0,6	1,68	3,97	1,20	98,80
N°40	0,43	1,79	5,76	1,75	98,25
N°50	0,3	1,58	7,34	2,23	97,77
N°60	0,25	0,53	7,87	2,39	97,61
N°80	0,18	0,90	8,77	2,66	97,34
N°100	0,15	0,57	9,34	2,83	97,17
N°200	0,075	21,53	30,87	9,36	90,64
< N°200			298,92	90,64	
TOTAL			329,79		

HUMEDAD NATURAL (ASTM D2216)						
N°	N°	PESO HUMEDO	PESO SECO	TARRO	% DE HUMEDAD	%
TARRO	GOLPES					PROMEDIO
37		131,95	115,96	27,39	18,05	
38		106,58	94,60	27,58	17,88	17,96
LIMITE LIQUIDO (ASTM D4318)						
27	30	51,80	46,05	28,02	31,89	
28	21	51,40	45,76	28,46	32,60	
29	15	50,20	44,19	26,61	34,19	
						32,89
LIMITE PLASTICO (ASTM D4318)						
33		18,61	17,76	13,42	19,59	
35		19,03	18,17	13,67	19,11	
						19,35

PESO ANTES DEL LAVADO	329,79	gr	ÁRIDO
PESO DESPUES DEL LAVADO	30,87	gr	GRAVA
			ARENA 9,33 %
			FINOS 90,67 %
			100 %



CLASIFICACION:		
SUCS	CL	
AASTHO	Suelos Limosos	A-5
HUMEDAD NATURAL:	17,96	%
LIMITE LIQUIDO:	32,89	%
LIMITE PLASTICO:	19,35	%
INDICE PLASTICO:	13,54	%
INDICE DE GRUPO:	12	

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

EXTENSIÓN MORONA SANTIAGO

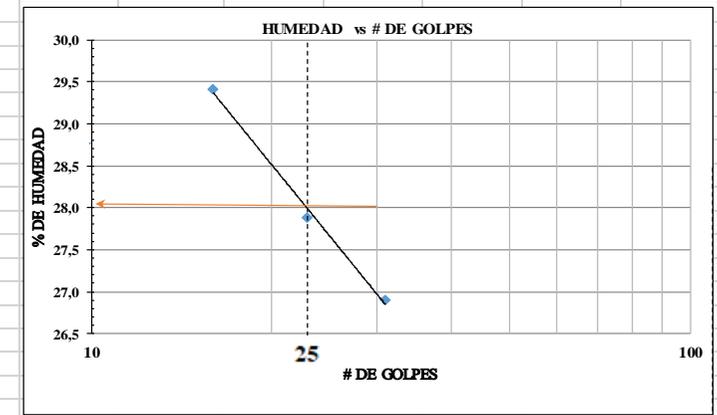
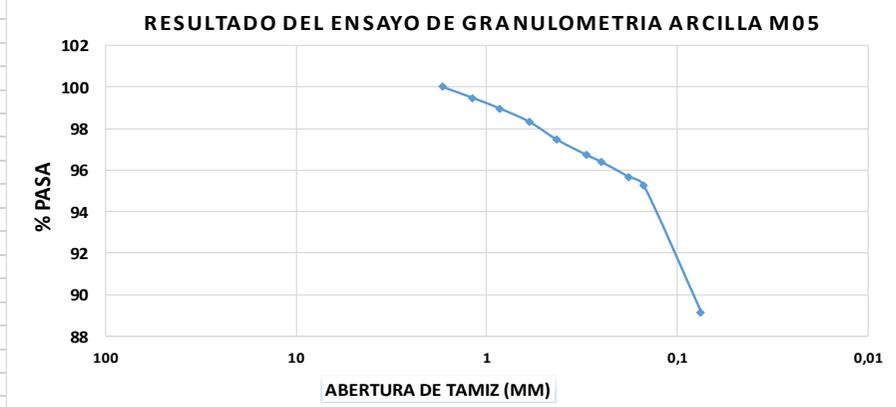
OBJETIVO	Realizar una caracterización fisicoquímica y fisicomecánicas de las arcillas a partir de ensayos de difracción de Rayos X, Límite de Atterberg, Absorción y Compresión Simple.						
PROVINCIA	Morona Sntiago	TOMA DE MUESTRA	Afloramiento	PROYECTO	Tesis de Grado		
CANTÓN	Morona	PROFUNDIDAD	2m	ENSAYADO POR	Robert. W.	USO	Fabrica de Ladrillo Artesanal
PARROQUIA	Río Blanco	PROYECCIÓN	Datum UTM WGS 84 Zona 17	FECHA DE TOMA	31/10/2017	MUESTRA	N° 05 Lutita Negra
SECTOR	Paus	COORDENADAS	815476,39 9739851,39	FECHA DE ENSAYO	7/11/2017	CÓDIGO	531102017

ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

GRANULOMETRÍA (ASTM D422)						
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RET. PARCIAL	PESO RET. ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA	% ESPECIFICADO
N°12	1,7	-	0,00	0,00	100,00	
N°16	1,18	1,73	1,73	0,53	99,47	
N°20	0,85	1,68	3,41	1,04	98,96	
N°30	0,6	2,05	5,46	1,67	98,33	
N°40	0,43	2,81	8,27	2,53	97,47	
N°50	0,3	2,41	10,68	3,27	96,73	
N°60	0,25	1,12	11,80	3,61	96,39	
N°80	0,18	2,35	14,15	4,33	95,67	
N°100	0,15	1,40	15,55	4,76	95,24	
N°200	0,075	19,90	35,45	10,85	89,15	
< N°200			291,21	89,15		
TOTAL			326,66			

HUMEDAD NATURAL (ASTM D2216)						
N°	N°	PESO HUMEDO	PESO SECO	TARRO	% DE HUMEDAD	% PROMEDIO
21		119,85	115,03	28,20	5,55	
33		98,64	95,02	28,27	5,42	5,49
LIMITE LIQUIDO (ASTM D4318)						
39	31	49,69	45,02	27,66	26,90	
41	23	48,15	43,46	26,64	27,88	
42	16	49,34	44,04	26,02	29,41	
						28,07
LIMITE PLASTICO (ASTM D4318)						
30		18,86	18,03	13,36	17,77	
38		16,63	15,71	10,57	17,90	
						17,84

PESO ANTES DEL LAVADO	326,66 gr	ÁRIDO	
PESO DESPUES DEL LAVADO	35,45 gr	GRAVA	
		ARENA	10,85 %
		FINOS	89,15 %
			100 %



CLASIFICACION:		
SUCS	CL	
AASTHO	Suelos Limosos	A-4
HUMEDAD NATURAL:	5,49 %	
LIMITE LIQUIDO:	28,07 %	
LIMITE PLASTICO:	17,84 %	
INDICE PLASTICO:	10,23 %	
INDICE DE GRUPO:	8	

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

EXTENSIÓN MORONA SANTIAGO

PROYECTO **TESIS DE GRADO**
SECTOR **ARAPICOS**

YACIMIENTO **Arcilla**
ORIGEN **ALUVIAL AFLORAMIENTO**

MUESTRA No. **M01**
PROFUNDIDAD **0,30m** **2,50 m**

FECHA DE ENSAYO **25 de noviembre de 2017**
ENSAYADO POR **Sr: Carlos. S. y Robert. W.**
USO PROPUESTO **Fábrica de Ladrillo Artesanal**

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Arcilla Café Rojiza y Limo Verde

OBJETIVO

Realizar una caracterización fisicoquímica y fisicomecánicas de las arcillas a partir de ensayo de Absorción.

LUGAR DE ENSAYO

LABORATORIO DE SUELOS DEL GAD PROVINCIAL DE MORONA SANTIAGO

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

	AGREGADO FINO			
	3/8"	y es pasante del tamiz N°		
Materia que pasa el tamiz N°			200,00	
"A" peso en el aire de la muestra secada al horno			482,40	gr
"B" peso en el aire de la muestra saturada			500,00	gr
"C" peso en el agua de la muestra saturada			294,40	gr
Gravedad Específica de la masa	A	=	482,40	=
	B-C		500,00 294,40	= 2,35
Gravedad Específica s.s.s	B	=	500,00	=
	B-C		500,00 294,40	= 2,43
Gravedad Específica aparente	A	=	482,40	=
	(B-C) - (500-A)		205,60 17,60	= 2,57
% de absorción	B-A	X 100	500,00 482,40	=
	A		482,40	= 3,65
	ESTUDIANTE		DIRECTOR	
	Sr. Robert Wisum		Ing.: Edgar Ramiro Pino Loza	

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

EXTENSIÓN MORONA SANTIAGO

PROYECTO **TESIS DE GRADO**
SECTOR: **ARAPICOS**

YACIMIENTO **Arcilla**
ORIGEN **ALUVIAL AFLORAMIENTO**
FECHA DE ENSAYO **16 de noviembre de 2017**
ENSAYADO POR **Sr: Carlos. S. y Robert. W.**
USO PROPUESTO **Fábrica de Ladrillo Artesanal**

MUESTRA No. **M02**
PROFUNDIDAD **0,30m 5m**
CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Arcilla Roja, Arcilla Crema, Lutita Negra, Limo Café-Gris

OBJETIVO

Realizar una caracterización fisicoquímica y fisicomecánicas de las arcillas a partir de ensayo de Absorción.

LUGAR DE ENSAYO

LABORATORIO DE SUELOS DEL GAD PROVINCIAL DE MORONA SANTIAGO
ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

		AGREGADO FINO			
Materia que pasa el tamiz N°	3/8"		y es pasante del tamiz N°	200,00	
"A" peso en el aire de la muestra secada al horno				482,00	gr
"B" peso en el aire de la muestra saturada				500,00	gr
"C" peso en el agua de la muestra saturada				291,20	gr
Gravedad Específica de la masa:	A		=	482,00	
	B-C		=	500,00 291,20	= 2,31
Gravedad Específica s.s.s	B		=	500,00	
	B-C		=	500,00 291,20	= 2,39
Gravedad Específica aparente	A		=	482,00	
	(B-C) - (500-A)		=	482,00 291,20	= 2,53
% de absorción	B-A		X 100	=	
	A			500,00 482,00	= 3,73
	ESTUDIANTE			DIRECTOR	
	Sr. Robert Wisum			Ing.: Edgar Ramiro Pino Loza	

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

EXTENSIÓN MORONA SANTIAGO

PROYECTO **TESIS DE GRADO**
SECTOR: **ARAPICOS**

YACIMIENTO: **Arcilla café-Rojiza**
ORIGEN: **ALUVIAL AFLORAMIENTO**
FECHA DE ENSAYO : **13 de noviembre de 2017**

MUESTRA No. **M03**
PROFUNDIDAD **3m**

ENSAYADO POR: **Robert. W.**
USO PROPUESTO: **Fábrica de Ladrillo Artesanal**

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Arcilla Café-rojiza

OBJETIVO

*Realizar una caracterización fisicoquímica y fisicomecánicas de las arcillas a partir de ensayo de **Absorción**.*

LUGAR DE ENSAYO

LABORATORIO DE SUELOS DEL GAD PROVINCIAL DE MORONA SANTIAGO
ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

		AGREGADO FINO			
Materia que pasa el tamiz N°	3/8"			200,00	
"A" peso en el aire de la muestra secada al horno				479,20	gr
"B" peso en el aire de la muestra saturada				500,00	gr
"C" peso en el agua de la muestra saturada				295,40	gr
Gravedad Específica de la masa:	A			479,20	
	B-C	=	500,00	295,40	= 2,34
Gravedad Específica s.s.s	B			500,00	
	B-C	=	500,00	295,40	= 2,44
Gravedad Específica aparente	A			479,20	
	(B-C) - (500-A)	=	204,60	20,80	= 2,61
% de absorción	B-A			500,00	479,20
	A	X 100 =	479,20		= 4,34
ESTUDIANTE		DIRECTOR			
Sr. Robert Wisum		Ing.: Edgar Ramiro Pino Loza			

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

EXTENSIÓN MORONA SANTIAGO

PROYECTO *TESIS DE GRADO* **YACIMIENTO:** *ARAPICOS*
SECTOR: *ARAPICOS* **ORIGEN:** *ALUVIAL CALICATA*
MUESTRA No. *MO4* **FECHA DE ENSAYO :** *14 de noviembre de 2017*
PROFUNDIDAD *1m 2,50m* **ENSAYADO POR:** *Robert. W.*
CARACTERISTICAS DEL MATERIAL *Arcilla Café Rojiza y Crema*
USO PROPUESTO: *Fábrica de Ladrillo Artesanal*
OBJETIVO *Realizar una caracterización fisicoquímica y fisicomecánicas de las arcillas a partir de ensayo de Absorción.*
LUGAR DE ENSAYO *LABORATORIO DE SUELOS DEL GAD PROVINCIAL DE MORONA SANTIAGO*
ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

	AGREGADO FINO			
Materia que pasa el tamiz N°	3/8"		200,00	
"A" peso en el aire de la muestra secada al horno		y es pasante del tamiz N°	484,60	gr
"B" volumen de probeta			500,00	gr
"C" peso en gramos de agua añadida			223,80	gr
Gravedad Específica de la masa	A	=	484,60	=
	B-C	=	500,00	223,80
				1,75
Gravedad Específica s.s.s	B	=	500,00	=
	B-C	=	500,00	223,80
				1,81
Gravedad Específica aparente	A	=	484,60	=
	(B-C) - (500-A)	=	276,20	15,40
				1,86
% de absorción	B-A	X 100	500,00	484,60
	A	=	484,60	3,18
ESTUDIANTE				DIRECTOR
Sr. Robert Wisum				Ing.: Edgar Ramiro Pino Loza

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

PROYECTO	TESIS DE GRADO	EXTENSIÓN MORONA SANTIAGO	
SECTOR:	ARAPICOS	YACIMIENTO	Lutita Negra
		ORIGEN	ALUVIAL AFLORAMIENTO
MUESTRA No.	M05	FECHA DE ENSAYO	17 de noviembre de 2017
PROFUNDIDAD	2m	ENSAYADO POR	Robert. W.
CARACTERISTICAS DEL MATERIAL		USO PROPUESTO	Fábrica de Ladrillo Artesanal
LUGAR DE ENSAYO			Lutita Negra
OBJETIVO			LABORATORIO DE SUELOS DEL GAD PROVINCIAL DE MORONA SANTIAGO
			<i>Realizar una caracterización fisicoquímica y fisicomecánicas de las arcillas a partir de ensayo de Absorción.</i>

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

AGREGADO FINO					
Materia que pasa el tamiz N°	3/8"	y es pasante del tamiz N°	200,00		
"A" peso en el aire de la muestra secada al horno			489,80	gr	
"B" peso en el aire de la muestra saturada			500,00	gr	
"C" peso en el agua de la muestra saturada			296,20	gr	
Gravedad Específica de la masa	$\frac{A}{B-C}$	=	$\frac{489,80}{500 - 296,20}$	=	2,40
Gravedad Específica s.s.s	$\frac{B}{B-C}$	=	$\frac{500}{500 - 296,20}$	=	2,45
Gravedad Específica aparente	$\frac{A}{(B-C) - (500-A)}$	=	$\frac{489,80}{203,80 - 10,20}$	=	2,53
% de absorción	$\frac{B-A}{A} \times 100$	=	$\frac{500 - 489,80}{489,80}$	=	2,08
	ESTUDIANTE		DIRECTOR		
	Sr. Robert Wisum		Ing.: Edgar Ramiro Pino Loza		

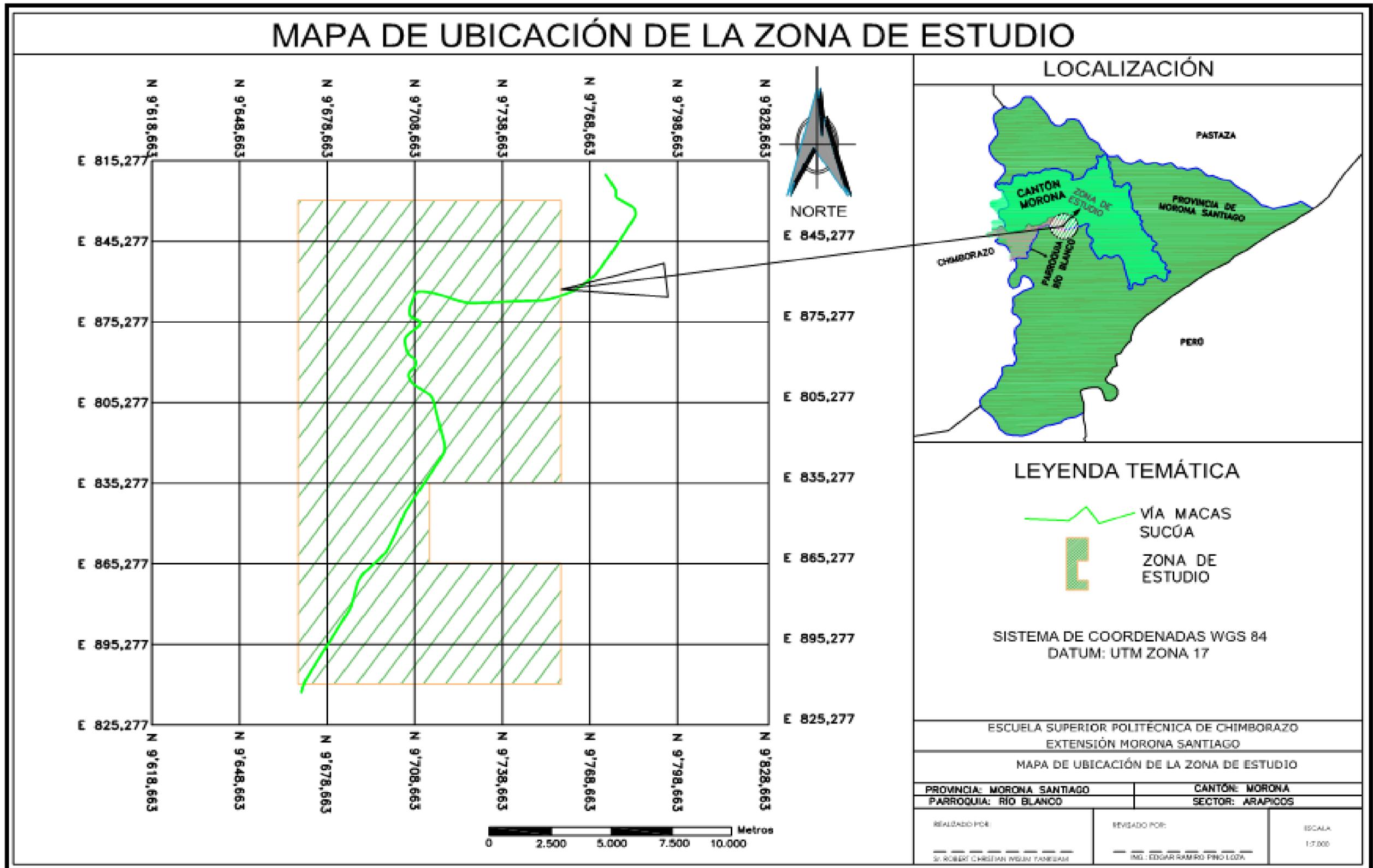
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

EXTENSIÓN MORONA SANTIAGO

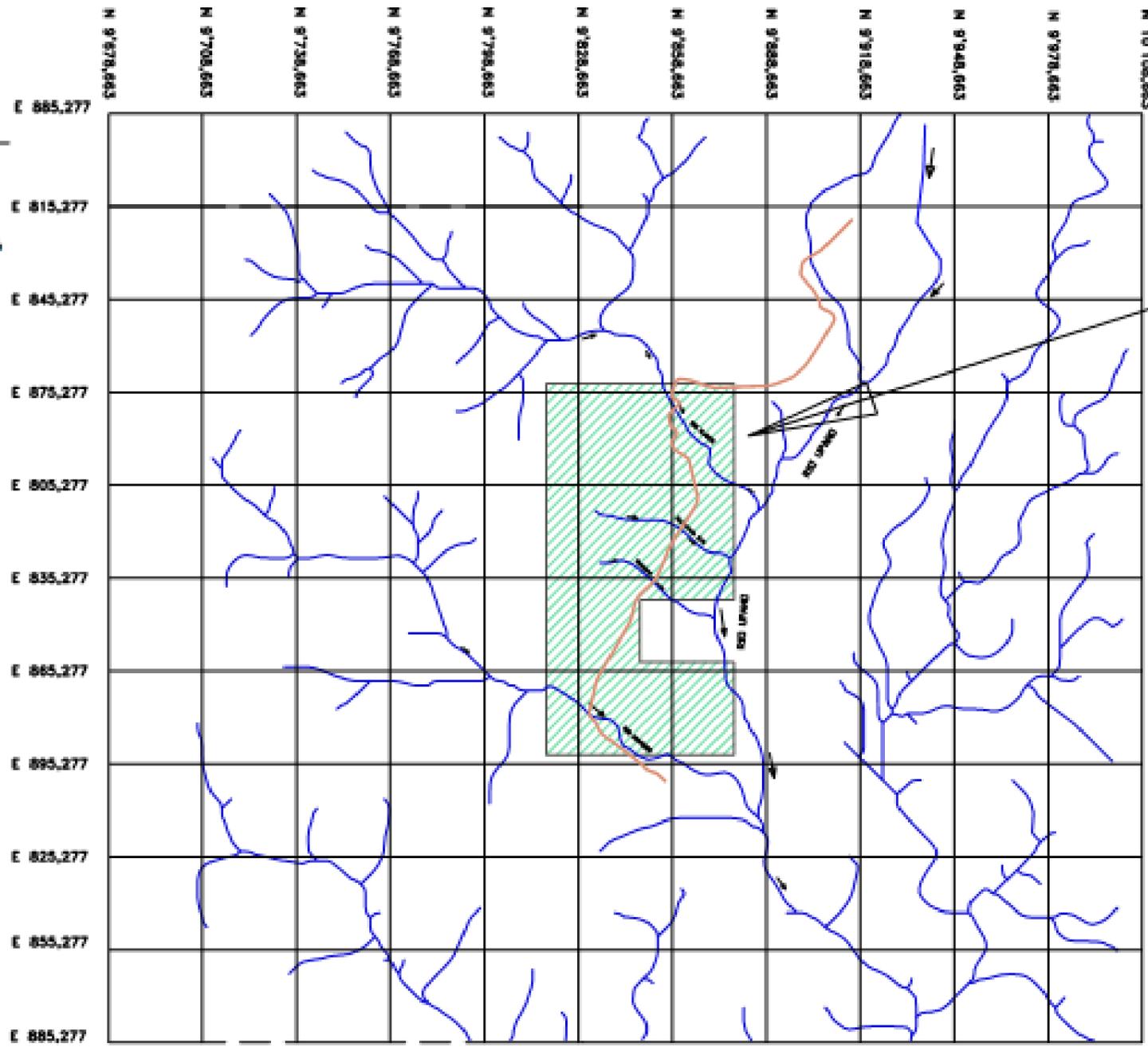
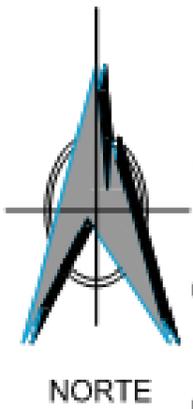
PROYECTO	TESIS DE GRADO	YACIMIENTO	Sílice Café-Rojizo
SECTOR:	ARAPICOS	ORIGEN	AFLORAMIENTO
MUESTRA No.	M06	FECHA DE ENSAYO	23 de noviembre de 2017
PROFUNDIDAD	30 m	ENSAYADO POR	Robert. W.
CARACTERISTICAS DEL MATERIAL		USO PROPUESTO	Fábrica de Ladrillo Artesanal
OBJETIVO	<i>Realizar una caracterización fisicoquímica y fisicomecánicas de las arcillas a partir de ensayo de Absorción.</i>		
LUGAR DE ENSAYO	LABORATORIO DE SUELOS DEL GAD PROVINCIAL DE MORONA SANTIAGO		
	ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA		

		AGREGADO FINO			
Materia que pasa el tamiz N°	3/8"	y es pasante del tamiz N°	200,00		
"A" peso en el aire de la muestra secada al horno			479,60	gr	
"B" peso en el aire de la muestra saturada			500,00	gr	
"C" peso en el agua de la muestra saturada			309,40	gr	
Gravedad Específica de la masa	A	=	479,60	B-C	= 2,52
			500	309,40	
Gravedad Específica s.s.s	B	=	500	B-C	= 2,62
			500	309,4	
Gravedad Específica aparente	A	=	479,60	(B-C) - (500-A)	= 2,82
			190,60	20,40	
% de absorción	B-A	X 100	500,00	A	= 0,43
			479,60		
ESTUDIANTE			DIRECTOR		
Sr. Robert Wisum			Ing.: Edgar Ramiro Pino Loza		

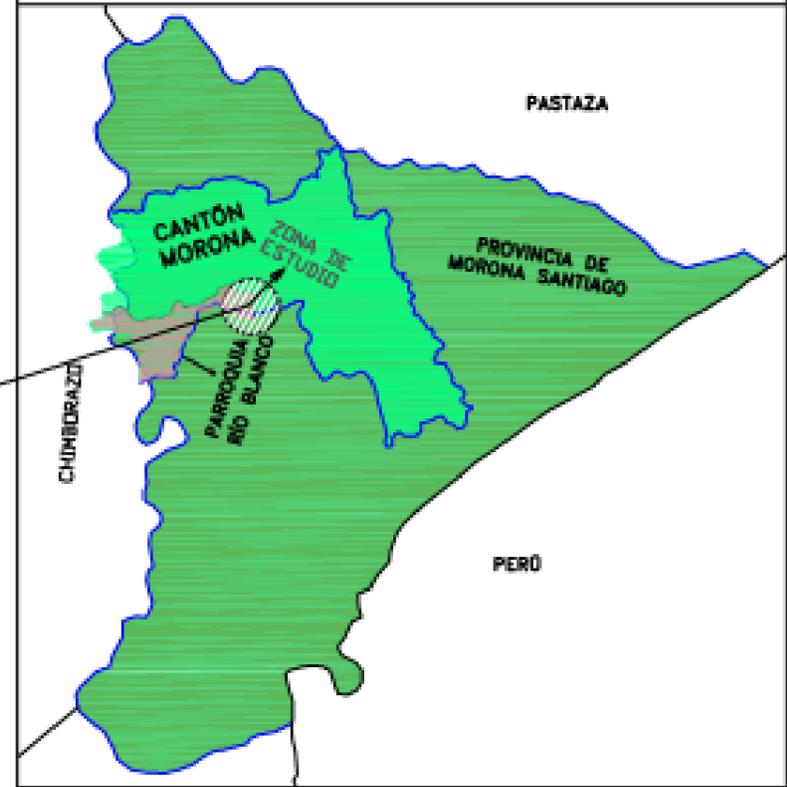
Mapas de la zona de estudio (C)



MAPA HIDROGRÁFICO DE LA ZONA DE ESTUDIO



LOCALIZACIÓN



LEYENDA TEMÁTICA

- ZONA DE ESTUDIO
- Vía
- Ríos Principal
- Ríos Tributario

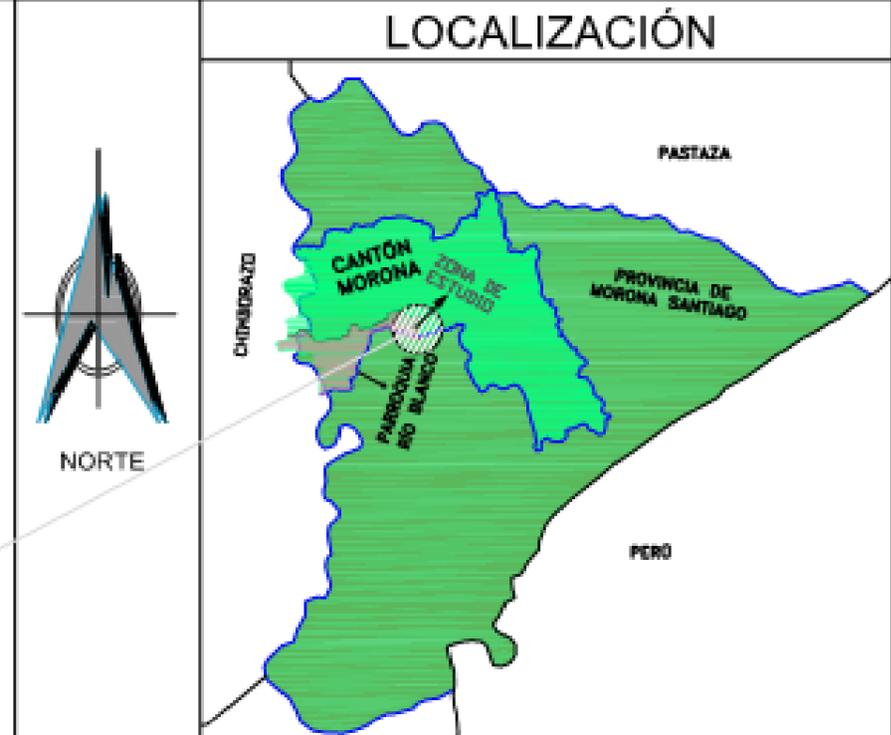
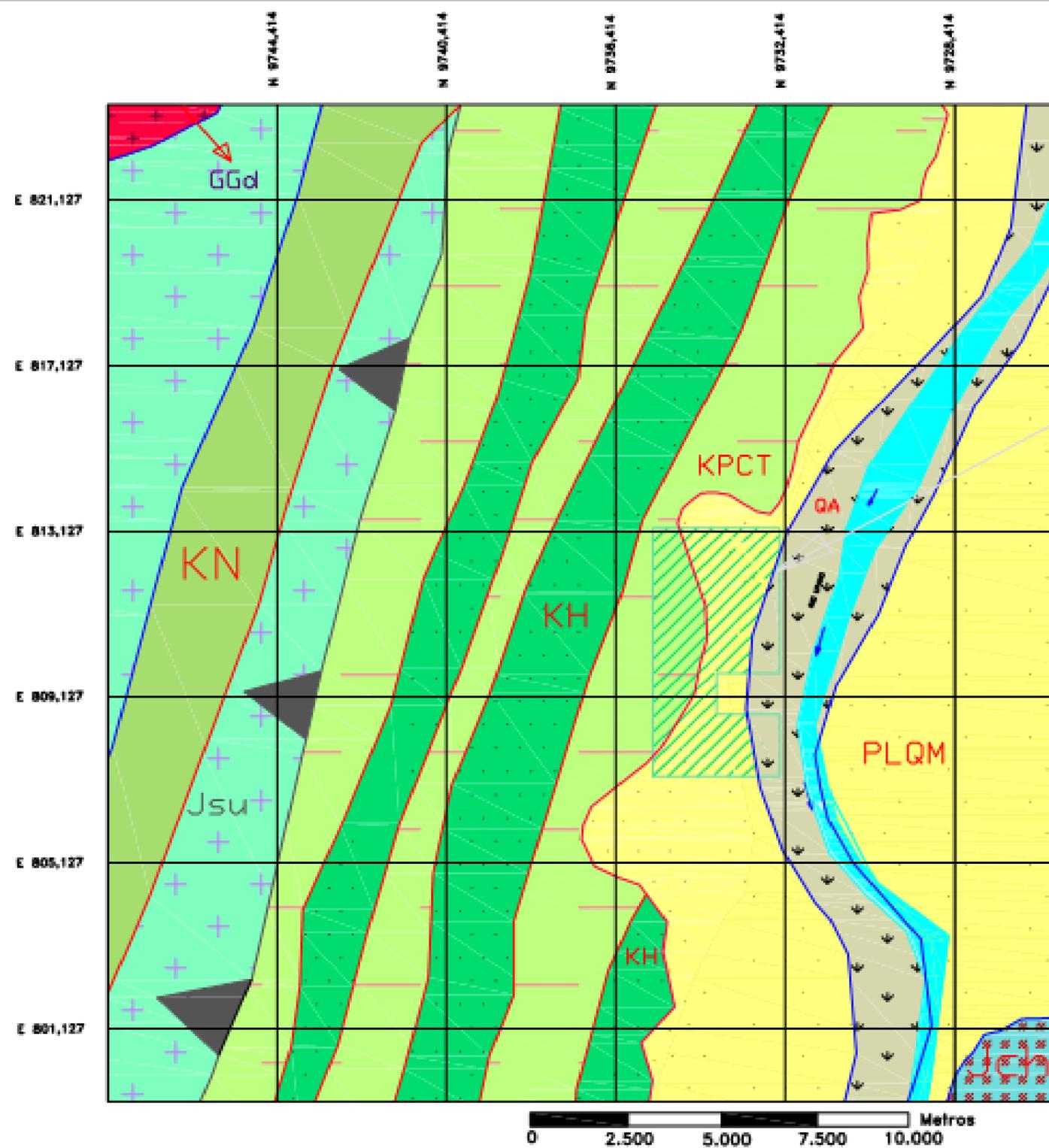
SISTEMA DE COORDENADAS WGS 84
DATUM: UTM ZONA 17

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
EXTENSIÓN MORONA SANTIAGO

MAPA HIDROGRÁFICO

PROVINCIA: MORONA SANTIAGO		CANTÓN: MORONA	
PARRQUJA: RIO BLANCO		SECTOR: ARAPIÇOS	
REALIZADO POR:	REVISADO POR:	ESCALA:	
ING. ROBERT CHRISTIAN INSIUN YANQUAN	ING. EDGAR RAMIRO PINO LOZA	1:25.000	

MAPA GEOLÓGICO REGIONAL



LEYENDA TEMÁTICA

	Depósitos Aluviales Bloques, Cantos rodados y arenas.		KPCT Formación Tena Lujas, capas rojas.
	Formación Mera Conglomerados, arenas y Lujas.		KN Formación Napo Areniscas, Calizas y Lujas.
	Formación Chapín Capas rojas y Lujas.		Jsu Unidad Upano Esquistos, metales y metagranitos.
	Formación Halls Arenas y Cuarcitas.		Granodiorita
	Faja Incaica		Río Upano

SISTEMA DE COORDENADAS WGS 84
DATUM: UTM ZONA 17

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
EXTENSIÓN MORONA SANTIAGO

MAPA GEOLÓGICO REGIONAL

PROVINCIA MORONA SANTIAGO		CANTÓN MORONA
PARRAGUIA: RÍO BLANCO		SECTOR: ARAPICOS
REALIZADO POR: Sr. ROBERT CHRISTIAN WISUM YANKUAMI	REVISADO POR: ING. EDGAR RAMIRO PINO LOZA	ESCALA: 1:50.000

MODELO GEOLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

