



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE MORONA SANTIAGO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA MINAS

**CARACTERIZACIÓN DE LA ARCILLA PARA LOZA Y USO
REFRACTARIO UBICADO EN LA PARROQUIA SANGAY,
CANTÓN PALORA, PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN MINAS

AUTORAS: SHELZYNE ARIANA LOJA GÓMEZ

MIRIAN ESTHER PAPUE MEJÍA

DIRECTOR: Ing. JEFFERSON ANDRÉS CARRANCO LÓPEZ, M.Sc.

Macas – Ecuador

2023

©2023, Shelyne Ariana Loja Gómez & Mirian Esther Papue Mejía

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

Nosotras, Shelyne Ariana Loja Gómez y Mirian Esther Papue Mejía, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autoras asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Macas, 28 de noviembre de 2023.



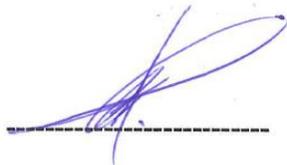
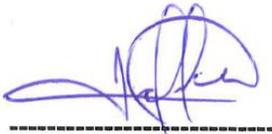
Shelyne Ariana Loja Gómez
C. I: 1450048275



Mirian Esther Papue Mejía
C. I: 1400954044

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE MORONA SANTIAGO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA MINAS

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **CARACTERIZACIÓN DE LA ARCILLA PARA LOZA Y USO REFRACTARIO UBICADO EN LA PARROQUIA SANGAY, CANTÓN PALORA, PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO**, realizado por las señoritas: **SHELYNE ARIANA LOJA GÓMEZ** y **MIRIAN ESTHER PAPUE MEJÍA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Gregory Guillermo Cuesta Andrade, MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 -----	2023-11-28
Ing. Jefferson Andrés Carranco López, MSc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 -----	2023-11-28
Ing. Richard Vicente Calderón Córdova, MSc. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 -----	2023-11-28

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo de titulación a mis padres Benito y Alicia, por los valores que me han inculcado, por todo su amor, sacrificios y apoyo incondicional que me han brindado. A mis hermanas Gina y Janela por su apoyo y motivación para que no desmaye y logre alcanzar uno de mis anhelados objetivos, a mis hermanos Alexander y Anthony a quienes quiero mostrar que con esfuerzo y dedicación se puede lograr las metas que nos planteamos, a mis sobrinos, de manera especial a Valentina que ha sido mi motivo de lucha y constancia, a mis amigos que siempre estuvieron presentes en cualquier situación que se me presentara, a mi compañera de tesis que fue siempre un apoyo incondicional durante esta travesía; y, por último, a mi compañero fiel por su compañía inquebrantable y su amor incondicional durante todas las noches de desvelo, su presencia en mi vida ha sido una fuente constante de alegría y apoyo emocional, gracias Sam.

Ariana

A Jehová Dios por darme salud y vida, a mis padres Luis Papue y Rosa Mejía por inculcarme buenos valores, a mis hermanos; Sandro, Adrian, Dori, Silvana, Elvis, Dennis, Jimson y Jhon por motivarme a seguir con mis estudios, los que están fuera del país gracias por ayudarme económicamente y poder culminar con mis estudios, como también a Paul por darme su apoyo incondicional, a mis amigos que siempre están acompañándome, en especial a mi compañera de tesis por estar pendiente de todos los procesos para la culminación de nuestro trabajo, por ultimo a mi hijo Pablito que es la luz que llego a darle sentido a mi vida. Gracias amor ¡Te amo!

Mirian

AGRADECIMIENTO

Agradecemos infinitamente a Dios, por darnos salud y vida, sus bendiciones derramadas sobre nosotras y también las herramientas necesarias para poder culminar nuestros estudios. A nuestros padres, por ser nuestro pilar fundamental y por todo el apoyo que nos han dado a lo largo de nuestra carrera universitaria, al director de nuestro trabajo de titulación, Ing. Jefferson Andrés Carranco López y asesora Ing. Mónica Patricia Feijoo Álvarez, como también al Ing. Juan Pablo Lozano por brindarnos su asesoría, tiempo, y conocimientos para el desarrollo de nuestro trabajo de titulación.

A la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, a sus docentes que han contribuido de manera directa en nuestra formación como profesionales para obtener una mejor calidad de vida y la de nuestra familia.

Al Gobierno Autónomo Descentralizado de Morona Santiago por facilitarnos con los ensayos de laboratorio, en especial a los ingenieros Luis Quisirumbay e Carlos Sarmiento por su paciencia, tiempo y guiarnos paso a paso en todos los procesos.

Ariana, Mirian

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Planteamiento del problema.....	4
1.3. Justificación.....	4
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	5
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	5

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Área de estudio.....	6
2.1.1. <i>Ubicación</i>	6
2.1.2. <i>Acceso</i>	7
2.1.3. <i>Clima</i>	8
2.1.4. <i>Temperatura</i>	9
2.2. Marco geológico.....	10
2.2.1. <i>Geología regional</i>	11
2.2.1.1. <i>Basamento Metamórfico</i>	12
2.2.1.2. <i>Formación Pumbuiza</i>	12
2.2.1.3. <i>Formación Macuma</i>	12
2.2.1.4. <i>Formación Santiago</i>	12
2.2.1.5. <i>Formación Chapiza</i>	12
2.2.1.6. <i>Formación Hollín</i>	13
2.2.1.7. <i>Formación Napo</i>	13

2.2.1.8.	<i>Formación Tena</i>	13
2.2.1.9.	<i>Formación Tiyuyacu</i>	14
2.2.1.10.	<i>Formación Chalcana</i>	14
2.2.1.11.	<i>Formación Arajuno</i>	14
2.2.1.12.	<i>Formación Curaray</i>	15
2.2.1.13.	<i>Formación Mesa</i>	15
2.2.1.14.	<i>Formación Mera</i>	15
2.2.1.15.	<i>Volcánicos Cuaternarios</i>	15
2.2.1.16.	<i>Rocas Plutónicas</i>	15
2.2.1.17.	<i>Estructura</i>	16
2.2.2.	<i>Geología local</i>	18
2.2.3.	<i>Geomorfología</i>	19
2.2.4.	<i>Descripción de minerales arcillosos</i>	20
2.2.4.1.	<i>Estructura y composición de la arcilla</i>	21
2.2.4.2.	<i>Minerales de Caolín</i>	22
2.2.4.3.	<i>Minerales de Esmectita</i>	22
2.2.4.4.	<i>Illita</i>	22
2.2.4.5.	<i>Clorita</i>	23
2.2.4.6.	<i>Palygorskita: Sepiolita</i>	23
2.2.5.	<i>Propiedades Físicas</i>	23
2.2.5.1.	<i>Densidad</i>	23
2.2.5.2.	<i>Granulometría</i>	23
2.2.5.3.	<i>Plasticidad</i>	24
2.2.5.4.	<i>La Resistencia a la Compresión simple</i>	25
2.2.5.5.	<i>Espectro Electromagnético y Rayos X</i>	26
2.2.5.6.	<i>Espectroscopia de Fluorescencia de Rayos X</i>	26
2.2.5.7.	<i>Difracción de Rayos X (XRD o DRX)</i>	27
2.2.6.	<i>Clasificación de las arcillas según el sistema SUCS</i>	27

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	29
3.1.	Metodología del Proyecto Técnico	29
3.2.	Universo y Muestra	30
3.3.	Preparación de muestras	30
3.4.	Descripción de fichas de muestreo	30
3.5.	Tipo de Muestreo	31

3.6.	Ensayos de parámetros físicos	31
3.6.1.	<i>Ensayo granulométrico mediante cribado ASTM-D422</i>	32
3.6.2.	<i>Ensayo Granulométrico mediante el hidrómetro ASTM-422</i>	33
3.6.3.	<i>Ensayos de limite líquido, plástico e Índice de plasticidad ASTM 4318</i>	35
3.7.	Ensayos de cuantificación y cualificación química	36
3.7.1.	<i>Ensayo de Análisis SEM</i>	36
3.7.2.	<i>Ensayo de análisis de fluorescencia de rayos X</i>	36
3.8.	Ensayo de resistencia y capacidad de absorción de un ladrillo de arcilla	37
3.8.1.	<i>Ensayo de absorción del ladrillo NTE INEN 296</i>	37
3.8.2.	<i>Ensayo de esfuerzo a compresión simple</i>	37

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	39
4.1.	Ensayos de parámetros físicos	39
4.1.1.	<i>Muestra LAPM-001</i>	39
4.1.2.	<i>Muestra LAPM-002</i>	41
4.1.3.	<i>Muestra LAPM-003</i>	42
4.1.4.	<i>Muestra LAPM-004</i>	44
4.1.5.	<i>Muestra LAPM-005</i>	46
4.1.6.	<i>Muestra LAPM-006</i>	49
4.1.7.	<i>Muestra LAPM-007</i>	51
4.1.8.	<i>Muestra LAPM-008</i>	53
4.1.9.	<i>Muestra LAPM-009</i>	55
4.1.10.	<i>Muestra LAPM-010</i>	57
4.1.11.	<i>Muestra LAPM-011</i>	59
4.1.12.	<i>Muestra LAPM-012</i>	61
4.1.13.	<i>Muestra LAPM-013</i>	63
4.1.14.	<i>Muestra LAPM-014</i>	65
4.1.15.	<i>Muestra LAPM-015</i>	67
4.2.	Análisis de arcillas	69
4.3.	Categorización de tipo de arcillas	72
4.3.1.	<i>Lapm-003 (FM. Mera)</i>	72
4.3.2.	<i>Lapm-011(FM. Tena)</i>	75
4.4.	Resistencia y absorción de ladrillos.....	78
4.4.1.	<i>Resistencia a la compresión uniaxial simple</i>	78
4.4.2.	<i>Porcentaje de Absorción</i>	78

4.5.	Mapas de Resultados	79
-------------	----------------------------------	-----------

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	84
5.1.	Conclusiones.....	84
5.2.	Recomendaciones.....	86

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Coordenadas de Área de estudio.	7
Tabla 2-2:	Clasificación de suelos M.I.T. (Instituto Tecnológico de Massachusetts)	24
Tabla 2-3:	Resumen de Clasificación de suelos.....	24
Tabla 2-4:	Símbolos para el Grupo de Suelos Arenosos.	28
Tabla 2-5:	Símbolos para suelos limosos y arcillosos.	28
Tabla 3-1:	Ficha de Muestreo, ejemplo de la muestra LAPM001.	30
Tabla 4-1:	Granulometría Muestra LAPM-001.	39
Tabla 4-2:	Coefficientes de uniformidad y curvatura.	40
Tabla 4-3:	Límites de Atterberg muestra LAPM-001.....	40
Tabla 4-4:	Granulometría Muestra LAPM-002.	41
Tabla 4-5:	Coefficientes de uniformidad y curvatura	42
Tabla 4-6:	Límites de Atterberg muestra LAPM-002.....	42
Tabla 4-7:	Granulometría Muestra LAPM-003.	42
Tabla 4-8:	Coefficientes de uniformidad y curvatura	43
Tabla 4-9:	Límites de Atterberg muestra LAPM-003.....	43
Tabla 4-10:	Índice de Plasticidad LAPM-003.	44
Tabla 4-11:	Granulometría Muestra LAPM-004.	44
Tabla 4-12:	Coefficientes de uniformidad y curvatura.	45
Tabla 4-13:	Límites de Atterberg muestra LAPM-004.....	45
Tabla 4-14:	Índice de Plasticidad LAPM-004.	46
Tabla 4-15:	Granulometría Muestra LAPM-005.	47
Tabla 4-16:	Coefficientes de uniformidad y curvatura.	47
Tabla 4-17:	Límites de Atterberg muestra LAPM-005.....	48
Tabla 4-18:	Índice de Plasticidad LAPM-005.	48
Tabla 4-19:	Granulometría Muestra LAPM-006.	49
Tabla 4-20:	Coefficientes de uniformidad y curvatura.	50
Tabla 4-21:	Límites de Atterberg muestra LAPM-006.....	50
Tabla 4-22:	Índice de Plasticidad LAPM-006.	50
Tabla 4-23:	Granulometría Muestra LAPM-007.	51
Tabla 4-24:	Coefficientes de uniformidad y curvatura.	52
Tabla 4-25:	Límites de Atterberg muestra LAPM-007.....	52
Tabla 4-26:	Índice de Plasticidad LAPM-007.	52
Tabla 4-27:	Granulometría Muestra LAPM-008.	53
Tabla 4-28:	Coefficientes de uniformidad y curvatura.	53

Tabla 4-29:	Límites de Atterberg muestra LAPM-008.....	54
Tabla 4-30:	Índice de Plasticidad LAPM-008.	54
Tabla 4-31:	Granulometría Muestra LAPM-009.	55
Tabla 4-32:	Coeficientes de uniformidad y curvatura.	55
Tabla 4-33:	Límites de Atterberg muestra LAPM-009.....	56
Tabla 4-34:	Índice de Plasticidad LAPM-009.	56
Tabla 4-35:	Granulometría Muestra LAPM-010.	57
Tabla 4-36:	Coeficientes de uniformidad y curvatura.	57
Tabla 4-37:	Límites de Atterberg muestra LAPM-010.....	58
Tabla 4-38:	Índice de Plasticidad LAPM-010.	58
Tabla 4-39:	Granulometría Muestra LAPM-011.	59
Tabla 4-40:	Coeficientes de uniformidad y curvatura	60
Tabla 4-41:	Límites de Atterberg muestra LAPM-011.....	60
Tabla 4-42:	Índice de Plasticidad LAPM-011	60
Tabla 4-43:	Granulometría Muestra LAPM-012.	61
Tabla 4-44:	Coeficientes de uniformidad y curvatura	61
Tabla 4-45:	Límites de Atterberg muestra LAPM-012.....	62
Tabla 4-46:	Índice de Plasticidad LAPM-012	62
Tabla 4-47:	Granulometría Muestra LAPM-013.	63
Tabla 4-48:	Coeficientes de uniformidad y curvatura.	63
Tabla 4-49:	Límites de Atterberg muestra LAPM-013.....	64
Tabla 4-50:	Índice de Plasticidad LAPM-013.	64
Tabla 4-51:	Granulometría Muestra LAPM-014.	65
Tabla 4-52:	Coeficientes de uniformidad y curvatura.	65
Tabla 4-53:	Límites de Atterberg muestra LAPM-014.....	66
Tabla 4-54:	Índice de Plasticidad LAPM-014.	66
Tabla 4-55:	Granulometría Muestra LAPM-015.	67
Tabla 4-56:	Coeficientes de uniformidad y curvatura.	67
Tabla 4-57:	Límites de Atterberg muestra LAPM-015.....	68
Tabla 4-58:	Índice de Plasticidad LAPM-015.	68
Tabla 4-59:	Resumen de ensayos para arcillas.	69
Tabla 4-60:	Estadística Descriptiva de índices de plasticidad Fm. Mera	71
Tabla 4-61:	Estadística Descriptiva de índices de plasticidad Fm. Tena	71
Tabla 4-62:	Resultados de análisis cuantitativo mediante SEM.	73
Tabla 4-63:	Compuestos y Elementos químicos de la muestra LAPM-003 obtenidos mediante el ensayo de FRX.	74
Tabla 4-64:	Nomenclatura de minerales arcillosos.....	75

Tabla 4-65:	Resultados de análisis cuantitativo mediante SEM.....	76
Tabla 4-66:	Compuestos y Elementos químicos de la muestra LAPM-011 obtenidos mediante el ensayo de FRX.	76
Tabla 4-67:	Composición química de las Beidellitas.....	77
Tabla 4-68:	Resumen ensayo de compresión uniaxial simple.	78
Tabla 4-69:	Porcentaje de Absorción.....	79
Tabla 4-70:	Tabla de Resultados.....	83

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Mapa de Ubicación de la zona de estudio.....	6
Ilustración 2-2:	Mapa del Clima de Morona Santiago.....	8
Ilustración 2-3:	Mapa de Isoyetas.....	9
Ilustración 2-4:	Mapa de Isotermas.....	10
Ilustración 2-5:	Columna Estratigráfica Cuenca Oriente.....	17
Ilustración 2-6:	Mapa Geológico del Área de Estudio.....	18
Ilustración 2-7:	Mapa Geomorfológico del área de estudio.....	19
Ilustración 2-8:	Esquema de lámina de octaedros.....	21
Ilustración 2-9:	Esquema de lámina de tetraedros.....	21
Ilustración 2-10:	Límites de Atterberg.....	25
Ilustración 2-11:	Carta de Plasticidad.....	25
Ilustración 4-1:	Curva Granulométrica muestra LAPM-001.....	40
Ilustración 4-2:	Curva Granulométrica muestra LAPM-002.....	41
Ilustración 4-3:	Curva Granulométrica muestra LAPM-003.....	43
Ilustración 4-4:	Carta de Plasticidad LAPM-003.....	44
Ilustración 4-5:	Curva Granulométrica muestra LAPM-004.....	45
Ilustración 4-6:	Carta de Plasticidad LAPM-004.....	46
Ilustración 4-7:	Curva Granulométrica muestra LAPM-005.....	47
Ilustración 4-8:	Carta de Plasticidad LAPM-005.....	48
Ilustración 4-9:	Curva Granulométrica muestra LAPM-006.....	49
Ilustración 4-10:	Carta de Plasticidad LAPM-006.....	50
Ilustración 4-11:	Curva Granulométrica muestra LAPM-007.....	51
Ilustración 4-12:	Carta de Plasticidad LAPM-007.....	52
Ilustración 4-13:	Curva Granulométrica muestra LAPM-008.....	53
Ilustración 4-14:	Carta de Plasticidad LAPM-008.....	54
Ilustración 4-15:	Curva Granulométrica muestra LAPM-009.....	55
Ilustración 4-16:	Carta de Plasticidad LAPM-009.....	56
Ilustración 4-17:	Curva Granulométrica muestra LAPM-010.....	57
Ilustración 4-18:	Carta de Plasticidad LAPM-010.....	58
Ilustración 4-19:	Curva Granulométrica muestra LAPM-011.....	59
Ilustración 4-20:	Carta de Plasticidad LAPM-011.....	60
Ilustración 4-21:	Curva Granulométrica muestra LAPM-012.....	61
Ilustración 4-22:	Carta de Plasticidad LAPM-012.....	62
Ilustración 4-23:	Curva Granulométrica muestra LAPM-013.....	63

Ilustración 4-24: Carta de Plasticidad LAPM-013.	64
Ilustración 4-25: Curva Granulométrica muestra LAPM-014.	65
Ilustración 4-26: Carta de Plasticidad LAPM-014.	66
Ilustración 4-27: Curva Granulométrica muestra LAPM-015.	67
Ilustración 4-28: Carta de Plasticidad LAPM-015.	68
Ilustración 4-29: Distribución de suelos (SUCS).	70
Ilustración 4-30: Carta de plasticidad.	70
Ilustración 4-31: Histograma de I. Plasticidad Fm. Mera.	72
Ilustración 4-32: Histograma de I. Plasticidad Fm. Tena.	72
Ilustración 4-33: Micrografías obtenidas para la muestra LAPM-003 (Fm. Mera) mediante SEM con una magnificación de 200 y 1100 X.	73
Ilustración 4-34: Fotografía en campo de la muestra LAPM-003.	74
Ilustración 4-35: Micrografías obtenidas para la muestra LAPM-011 (Fm. Tena) mediante SEM con una magnificación de 400 y 1500 X.	75
Ilustración 4-36: Fotografía en campo de la muestra LAPM-011.	77
Ilustración 4-37: Mapa de Resultados Límites de Atterberg.	80
Ilustración 4-38: Mapa de Resultados Límites de Atterberg.	81
Ilustración 4-39: Mapa de Resultados Mineralógicos.	82

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A:	FICHAS DE MUESTREO
ANEXO B:	RECOLECCIÓN DE MUESTRAS
ANEXO C:	ENSAYO LIMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO
ANEXO D:	ENSAYO DE HIDROMETRÍA
ANEXO E:	ENSAYO SEM Y FLORESCENCIA RAYO X
ANEXO F:	ELABORACIÓN DEL LADRILLO
ANEXO G:	ENSAYO DE ABSORCIÓN
ANEXO H:	ENSAYO DE COMPRESIÓN
ANEXO I:	MAPA DE RESULTADOS

RESUMEN

Gracias a investigaciones previas de prospección de minerales arcillosos se ha identificado un depósito de arcilla, que bajo estudios preliminares presenta características interesantes para la industria cerámica. Por lo tanto, el objetivo fue caracterizar las propiedades físicas de la arcilla localizada en la Parroquia Sangay, Cantón Palora, Provincia de Morona Santiago; mediante ensayos de granulometría, ensayo de límites de Atterberg y ensayos mineralógicos (Fluorescencia de RX, SEM) para la elaboración de loza y uso refractario en la prueba de un ladrillo. La metodología se basó en un tipo de investigación aplicada, ya que buscó la aplicación de los conocimientos que se adquieren con respecto a la materia prima estudiada, basándose en observaciones y muestreo de materiales, realizando el estudio en 3 etapas incluyendo recopilación de información, exploración y muestreo en campo para concluir con la evaluación de las propiedades físicas y mineralógicas mediante ensayos de laboratorio; dentro de los ensayos se realizó: Ensayos de humedad, Densidad, Granulometría fina y gruesa, Límites de Atterberg, análisis SEM, análisis de Fluorescencia de Rayos X (FRX), Absorción de mampostería y resistencia de mampostería. Obteniendo como resultado que se identificó que predomina la presencia de materiales areno arcillosos bien gradados de baja plasticidad seguidos por suelos areno limosos bien gradados de alta plasticidad; se clasificó las muestras de acuerdo con las formaciones geológicas presentes (Mera, Tena) identificando que las arcillas de la formación Mera pertenecen al grupo de los caolines (Anauxita), a su vez la arcilla de la formación Tena pertenece al grupo de los caolines y también minerales del grupo de las esmectitas (Beidellita). Concluyendo que los mapas de la distribución de las características de las 15 muestras analizadas como la clasificación SUCS, índice de plasticidad y caracterización de arcilla, dentro de lo cual se pudo evidenciar la diferencia entre las dos formaciones antes mencionadas; esta información servirá como herramienta para futuras evaluaciones en la industria cerámica.

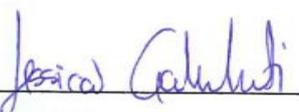
Palabras clave: <ARCILLAS>, <FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX)>, <MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO (SEM)>, <LOZA>, <USO REFRACTARIO>, <LÍMITES DE ATTERBERG>, <MINERALOGÍA DE ARCILLAS>, <CERÁMICA>, <MAMPOSTERÍA>.



ABSTRACT

Thanks to previous clay mineral prospecting research, it was identified a clay deposit, which presents interesting characteristics based on preliminary studies for the ceramic industry. Therefore, the objective was to characterize the physical properties of the clay located in Sangay civil parish, Palora canton, Morona Santiago province; by means of granulometry tests, Atterberg limits test and mineralogical tests (RX Fluorescence, SEM) to elaboration of earthenware and refractory use for a brick test. The methodology was based on applied research, as it aimed to apply the knowledge acquired about the raw material studied. It was based on observations and sampling of materials; the study was conducted through 3 stages including information gathering, exploration and field sampling to conclude with the evaluation of physical and mineralogical properties through laboratory tests. Within the tests were performed: Moisture tests, Density, Fine and Coarse Granulometry, Atterberg Limits, SEM analysis, X-Ray Fluorescence (XRF) analysis, Masonry Absorption and Masonry Resistance. As a result, it was identified that the presence of well graded clayey sandy materials of low plasticity predominates, followed by well graded silty sandy soils of high plasticity. The samples were classified according to the present geological formations (Mera, Tena) by identifying that the clays of the Mera formation belong to the kaolin group (Anauxite), as well as the clay of the Tena formation belongs to the kaolin group and also minerals of the smectite group (Beidellite). In conclusion, the maps regarding the distribution of the 15 samples characteristics which were analyzed as well as the SUCS classification, plasticity index and clay characterization, it could be evidenced the difference between the two aforementioned formations. This information will be advantageous as a tool for future evaluations in the ceramic industry.

Keywords: <CLAYS>, <X-RAY FLUORESCENCE (XRF)>, <SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM)>, <EARTHENWARE>, <REFRACTORY USE>, <ATTERBERG LIMITS>, <MINERALOGY OF THE CLAYS>, <CERAMIC>, <MASONRY>.



Lic. Jessica Galimberti Mg.

CI 175646848-2

INTRODUCCIÓN

El estudio a continuación ronda entorno a minerales naturales que tuvieron origen hace millones de años, presentando características peculiares de composición y formación relacionadas con el desarrollo del planeta tierra. Estos minerales desde un punto de vista antropológico han sido los materiales predilectos para la manufactura de utensilios de cocción, vasijas de almacenamiento y piezas finas de porcelana para fines ornamentales (Domínguez y Schufter, 1992, p. 1).

En contemporaneidad se ha incorporado el uso de arcilla en nuevas tecnologías como polímeros con suavidad al tacto y propiedades mecánicas mejoradas, resistentes a la temperatura y al desgaste, convertidores catalíticos en control de emisiones en motores de combustión, etc. Sin duda alguna los materiales arcillosos forman parte activa de la historia de la evolución humana.

Cabe acotar que la formación de estos minerales tienen su génesis a partir de rocas formadas de magma procedentes de la corteza terrestre (SIMA y SIAL), lo que aporta una variedad amplia de minerales que han sufrido intemperismo, meteorización y transporte (Domínguez y Schufter, 1992, p. 3).

Dentro de esta investigación se aborda el estudio de minerales arcillosos ubicados en Ecuador, específicamente en la Provincia de Morona Santiago, continuando la línea de investigación del corredor Palora-San Juan Bosco, cuyo objetivo es fortalecer la industria cerámica en la Provincia, aprovechando los recursos minerales de la región.

Dentro de la investigación de Jaramillo (2015) se enuncia un depósito de minerales arcillosos ubicados en el sector Nuevo Amundalo, dentro de la jurisdicción del cantón Palora; como se menciona anteriormente los minerales arcillosos son muy variados y cuentan con características muy peculiares que los proveen de distintas aplicaciones.

Dentro de las formaciones geológicas relacionadas a depósitos de arcilla en el sector de Nuevo Amundalo se encuentran: la Formación Arajuno (MA) con arcillas, areniscas y lignito; junto a la formación Tena (KPCT) con lutitas y capas rojas (Jaramillo, 2015, p. 1).

La provincia de Morona Santiago en los últimos 40 años ha sido la más grande productora de materia prima para la industria cerámica, aportando el 60% del material a empresas como EDESA, Franz Viegner, RIALTO, Italpiso, Graiman y Cerámica Andina (Jaramillo, 2015, p. 1).

Mediante un análisis específico a las propiedades físicas, mineralógicas y granulométricas que poseen las arcillas ubicadas en el sector Nuevo Amundalo, en la parroquia Sangay, Cantón Palora, Provincia de Morona Santiago; Se pretende identificar las principales aplicaciones de los minerales arcillosos permitiendo la extracción de la materia prima priorizando la rentabilidad y beneficio económico en la zona prospectada previamente en la investigación de Jaramillo (2015).

La parroquia Sangay del Cantón Palora evidencia presencia de material arcilloso con características de alta plasticidad, coloración clara y excelente resistencia a altas temperaturas, tentativamente el material puede ser empleado para fabricación de pavimentos, ladrillera de alta calidad, loza, porcelana sanitaria y materiales refractarios.

A pesar de la identificación del recurso natural, queda en evidencia la carencia de información sobre las características granulométricas, plasticidad, resistencia al fuego, composición mineralógica, dentro de la categorización de la materia prima, dicha información permite conocer mejor el recurso, garantizando una mejor negociación y comercialización.

Para lo cual dentro del proyecto se pretende realizar ensayos físicos, entre los cuales se evaluará el color, los límites de Atterberg, ensayos de contracción en secado y quemado, junto con el análisis de distribución granulométrica mediante el uso de tamices finos para el materia superior a la malla 200 complementado con el ensayo de hidrometría para partículas inferiores a 0.075 mm, también se analizará la mineralogía química mediante fluorescencia de rayos x y la técnica del SEM (Microscopio Electrónico de barrido) determinando posteriormente el comportamiento en la formación de cerámica (Zea, 2005, p. 5).

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

Las primicias de la investigación parten de la información y estudios recopilados por la jurisdicción del CREA (Centro de reconversión económica del Azuay, Cañar y Morona Santiago), dentro del año 1987; con datos diagnósticos del sector minero (Jaramillo, 2015, p. 2).

Dentro de los aportes de la investigación se recopiló datos de geología regional, minería regional y datos de exploración en campo, mediante esta línea base Jaramillo (2015) en su investigación: Materias primas para la industria cerámica en el corredor Palora-San Juan Bosco de la provincia de Morona Santiago, identifica zonas con alta potencialidad dentro de esta amplia área de estudio. El enfoque fue claro hacia minerales para la industria cerámica, abriendo pautas a futuras investigaciones a detalle.

Dicha investigación levanta la información con 26 muestras de varios afloramientos en los siguientes cantones: Palora, Huamboya, Morona, Sucua, Logroño, Méndez, Tiwintza, Limón Indanza y San Juan Bosco, recalcando que en el cantón Logroño no se encontró materiales aptos para la cerámica (Jaramillo, 2015, p. 29).

Dentro del inventario de materias primas no metálicas generado por Jaramillo con el código de muestra “JGJA024” en fase de investigación prospectiva identifica el mineral Arcillita.

Las coordenadas del hallazgo fueron tomadas en el Datum WGS84; X (h): 0829014; Y (v): 9813074.

Este mineral se emplaza en el sector Nuevo Amundalo, parroquia Sangay, Cantón Palora perteneciente a la provincia Morona Santiago; dentro de la investigación se identificó por las siguientes características:

- Alta Plasticidad
- Color Blanco tras cocción.
- Grano finísimo.
- Encogimiento de 11% a 1200 °C.
- Poroso entre 10-20% de absorción.

Concluyendo inicialmente que el material es apto para la fabricación de pavimentos, ladrillería de alta calidad, loza, porcelana sanitaria y materiales refractarios, mezclas con otros minerales para aportar plasticidad (Jaramillo, 2015, p. 114).

1.2. Planteamiento del problema

Gracias a investigaciones previas de prospección de minerales arcillosos se ha identificado un depósito de arcilla, que bajo estudios preliminares presenta características interesantes para la industria cerámica.

Para reducir el riesgo dentro de un posible proyecto de interés económico y social es necesario recolectar más información que aporte de datos técnicos (propiedades físicas) para enfocar la materia prima a un sector concreto, dicha información debe aportar con características como granulometría, mineralogía, comportamiento físico (límites de Atterberg, resistencia al calor), esta información debe poseer menos incertidumbre para lo cual se requiere un estudio a detalle.

Mediante la información requerida se puede distinguir si la materia prima es óptima para la manufactura de loza, pavimentos, ladrillera, porcelana sanitaria y materiales refractarios.

1.3. Justificación

La información relevante sobre el potencial minero no metálico de la Provincia Morona Santiago no se encuentra difundido entre la población, pasando sin relevancia dentro de las actividades económicas de la población, entre las causas se encuentra la carencia de estudios técnico detallados que categorizan los usos de los distintos materiales arcillosos, de esta forma sean considerados como recursos del medio físico dentro de la planificación estratégica provincial (Pino, Mejía y Jaramillo, 2019, p. 15).

Las arcillas son la principal materia prima para la fabricación de cerámicos, este material se encuentra dentro de todo tipo de formación rocosa, de cualquier etapa de formación. Es por ello que las características físicas, químicas y mineralógicas varían ampliamente incluso dentro de un mismo depósito mineral, siendo clara la necesidad de caracterizar la materia prima (Amado, Villafrades y Tuta, 2011, p. 37).

Las principales propiedades que influyen en la categorización de las arcillas son la composición química, física y mineralógica, debido a que estas influyen en la calidad de la cerámica. Por ejemplo, la presencia de illita brinda características refractarias, coloraciones claras y buenas resistencia mecánica; La presencia de illita y montmorillonita confiere alta plasticidad lo cual puede ser perjudicial para la producción cerámica en altas proporciones (Amado, Villafrades y Tuta, 2011, p. 38).

Estos hechos ratifican que la arcilla no es un material definido específicamente al estar constituido por varios tipos de materiales minerales en varias proporciones (Ramos et al., 2002, p. 17).

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Caracterizar las propiedades físicas de la arcilla localizada en la Parroquia Sangay, Cantón Palora, Provincia de Morona Santiago; mediante ensayos de granulometría, ensayo de límites de Atterberg y ensayos mineralógicos (Fluorescencia de RX, SEM) para la elaboración de loza y uso refractario en la prueba de un ladrillo.

1.4.2. Objetivos específicos

- Muestrear depósitos de arcilla en una zona reportada en estudios previos de Nuevo Amundalo, localizada en la Parroquia Sangay, Cantón Palora, Provincia de Morona Santiago.
- Caracterizar el material de arcilla mediante los ensayos de hidrometría, color, límites de Atterberg, clasificación de suelo según el sistema SUCS, la técnica SEM, absorción y resistencia para un prototipo de ladrillo.
- Elaborar un mapa que represente gráficamente la distribución espacial de las propiedades físicas de las arcillas estudiadas.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Área de estudio

2.1.1. Ubicación

La ubicación del área de estudio se encuentra geográficamente dentro de la República del Ecuador, emplazada en la costa Oeste de Sudamérica, entre Colombia y Perú.

Dentro del ambiente geológico conocido como Oriente, hacia el este de la cordillera de los Andes, específicamente en la zona Sur Oriental, Provincia de Morona Santiago, Cantón Palora, parroquia Sangay, en el sector Nuevo Amundalo (Ilustración 2-1), las coordenadas del área de estudio se describen en la tabla 2-1.

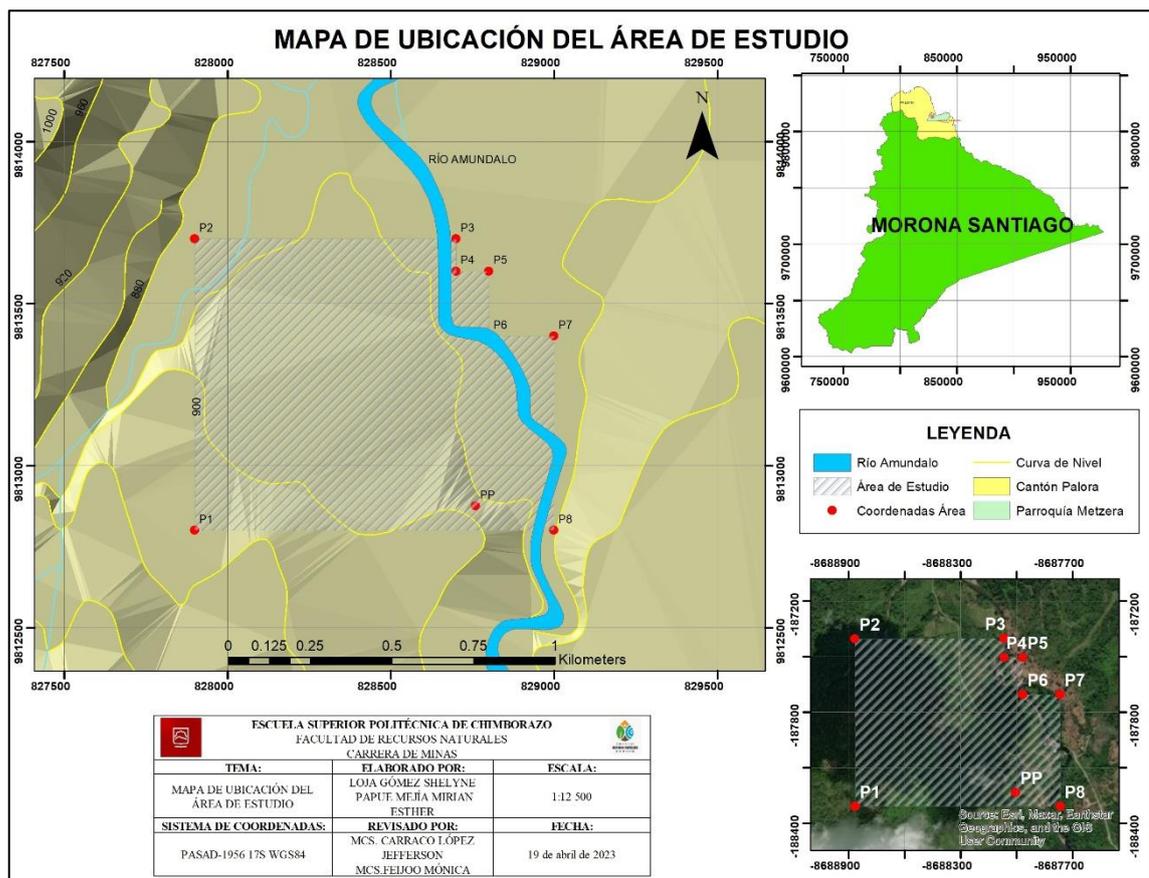


Ilustración 2-1: Mapa de Ubicación de la zona de estudio.

Realizado por: Loja, A. & Papue, M. 2023.

Tabla 2-1: Coordenadas de Área de estudio.

COORDENADAS ÁREA DE ESTUDIO					
PROVINCIA		CANTÓN		PARROQUIA	
MORONA SANTIAGO		PALORA		SANGAY	
COORDENADAS PSAD-56			COORDENADAS WGS-84		
PUNTO	X	Y	PUNTO	X	Y
PP	828760	9812875	PP	828509	9812509
1	827900	9812800	1	827649	9812434
2	827900	9813700	2	827649	9813334
3	828700	9813700	3	828449	9813334
4	828700	9813600	4	828449	9813234
5	828800	9813600	5	828549	9813234
6	828800	9813400	6	828549	9813034
7	829000	9813400	7	828749	9813034
8	829000	9812800	8	828749	9812434

Realizado por: Loja, A., & Papue, M, 2023.

2.1.2. Acceso

La accesibilidad cuenta con una conexión mediante la Troncal Amazónica entre la ciudad de Puyo y Macas, mediante las siguientes rutas:

- Ruta ciudad de Macas – área de estudio: Avanzamos por la troncal amazónica en dirección hacia la ciudad del Puyo hasta llegar al Km 88, luego giramos hacia la izquierda y tomamos la vía hacia el cantón Palora, avanzamos hacia la cabeza cantonal de Palora que lleva el mismo nombre, posteriormente tomamos una vía de tercer orden hacia la comunidad de Amundalo, avanzamos una distancia de 6 km, llegamos a una intersección y giramos hacia la derecha, finalmente avanzamos 2 km hasta llegar al puente sobre el río Metzera, y llegamos al punto central de la zona de prospección.
- Ruta ciudad del Puyo – área de estudio: Avanzamos por la troncal amazónica en dirección hacia la ciudad de Macas hasta llegar al Km 38, luego giramos hacia la derecha y tomamos la vía hacia el cantón Palora, avanzamos hacia la cabeza cantonal de Palora que lleva el mismo nombre, posteriormente tomamos una vía de tercer orden hacia la comunidad de Amundalo, avanzamos una distancia de 6 km, llegamos a una intersección y giramos hacia la derecha, finalmente avanzamos 2 km hasta llegar al puente sobre el río Metzera, y llegamos al punto central de la zona de prospección.

2.1.3. Clima

En la provincia de Morona Santiago existen 4 tipos de climas: 1) El clima superhúmedo con pequeño déficit de agua. Mesotérmico templado frío; 2) El clima superhúmedo con pequeño déficit de agua. Mesotérmico templado cálido; 3) El clima superhúmedo sin déficit de agua. Megatérmico o cálido; 4) El clima superhúmedo sin déficit de agua. Mesotérmico templado cálido. El área sujeta a estudio posee un clima Super húmedo sin déficit de agua, Megatérmico o Cálido (Ilustración 2-2).

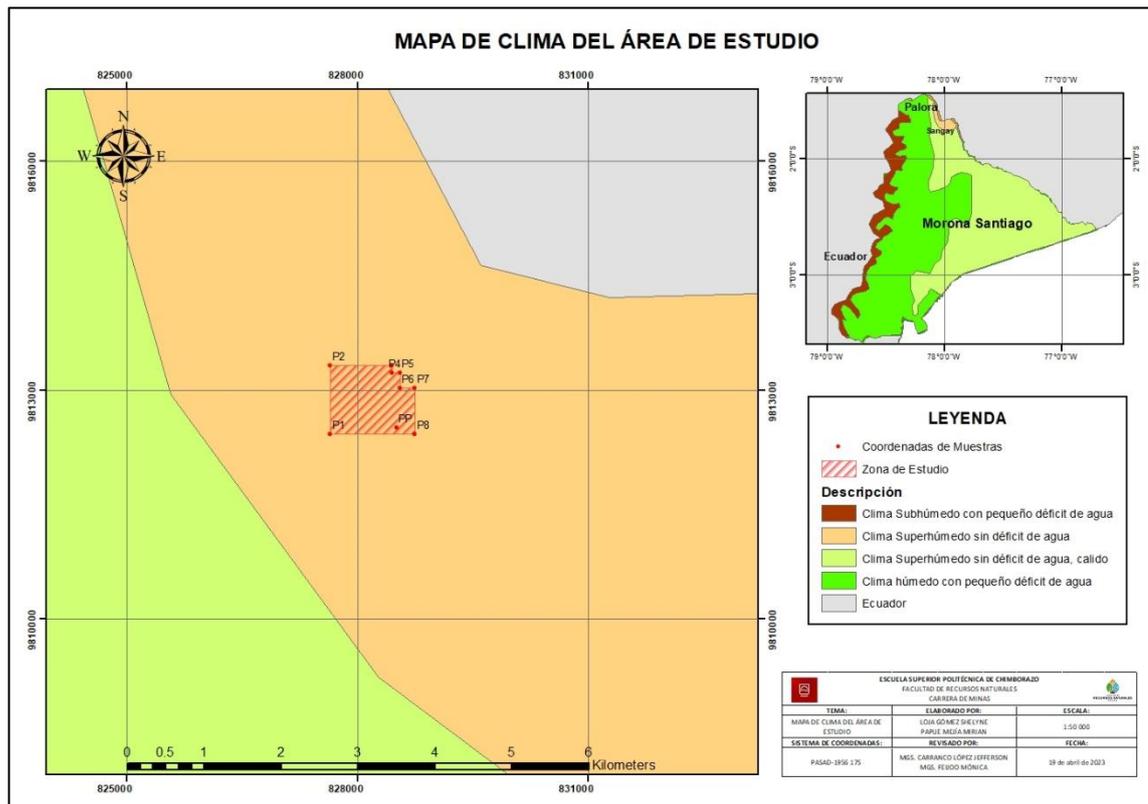


Ilustración 2-2: Mapa del Clima de Morona Santiago.

Fuente: (Jaramillo, 2015).

Realizado por: Loja, A. & Papue, M, 2023.

Según la estación meteorológica ubicada en la parroquia Santa Ana, misma que se encuentra cerca del área de estudio, se tienen los siguientes datos:

- Precipitación: el área de estudio presenta una precipitación media mensual entre 280 y 300mm (3871,3 mm anual) (Ilustración 2-3). Debido al sistema hidrológico del Amazonas, las precipitaciones son permanentes durante todo el año, siendo los meses con lluvias abril, mayo y junio.

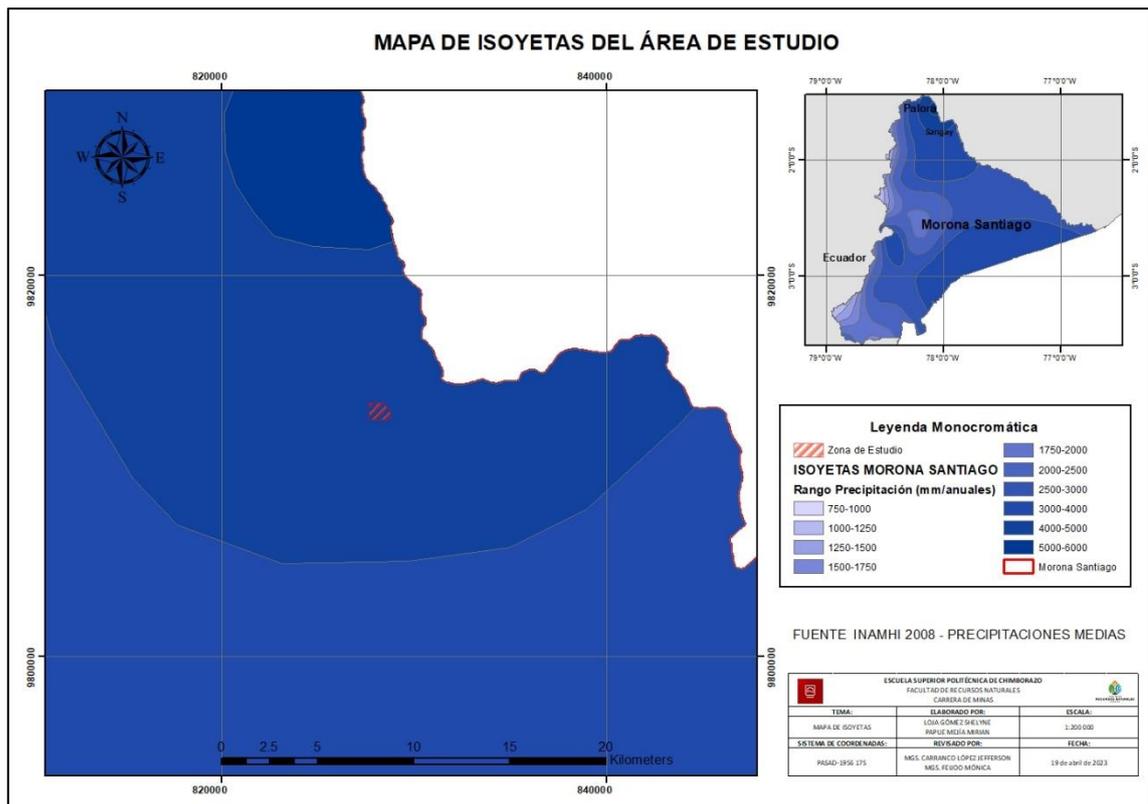


Ilustración 2-3: Mapa de Isoyetas.

Fuente: INAMHI, 2008.

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

2.1.4. *Temperatura*

De acuerdo con la información bibliográfica levantada de estudios y planes de ordenamiento territorial de la zona, tenemos que la Temperatura de la zona decrece en 0,1 grados respecto a la altitud. Esta variable se debe a factores como; orografía, altitud, estación del año y hora del día, registrándose los meses de septiembre, octubre, noviembre, diciembre, enero y febrero con las mayores temperaturas. Según la información presentada por el INAMHI en 2008 el área de estudio está expuesto a una temperatura en el rango de 20 a 22 °C (Ilustración 2-4).

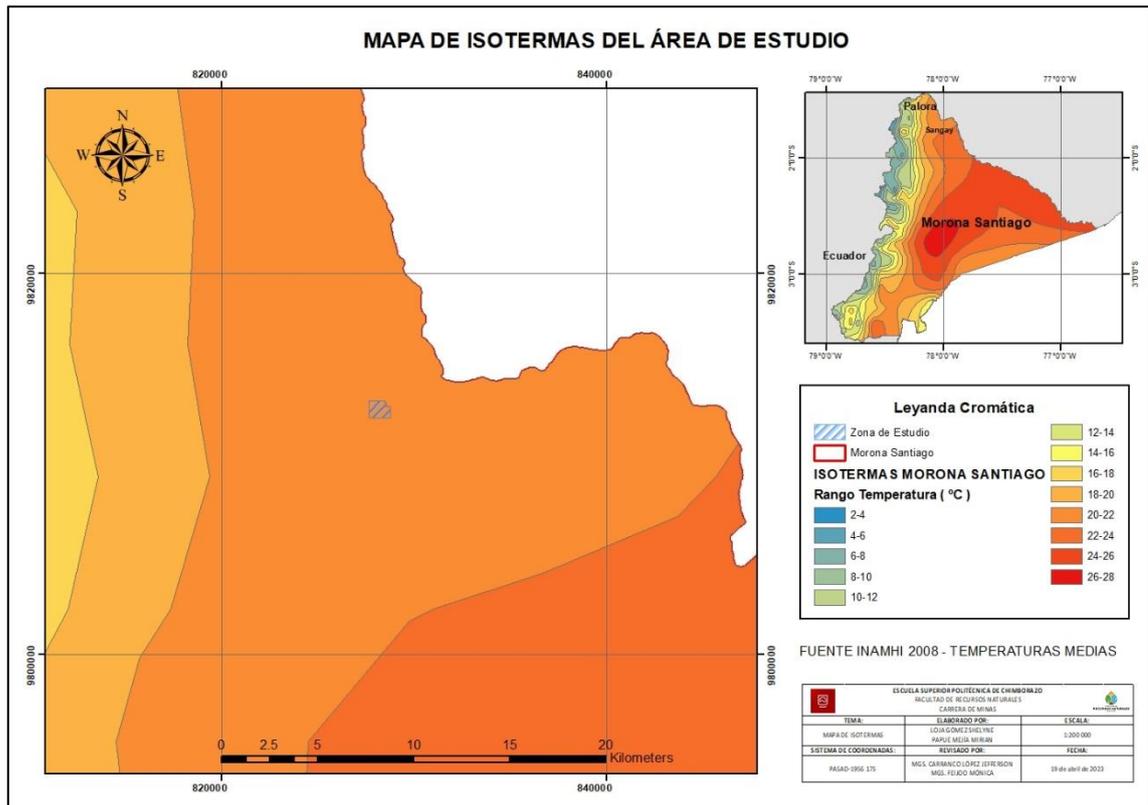


Ilustración 2-4: Mapa de Isothermas.

Fuente: INAMHI, 2008.

Realizado por: Loja, A. & Papue, M., 2023.

2.2. Marco geológico

En breves rasgos Ecuador está ubicado en una posición geológica que incluye parte de un centro de dispersión oceánica activa, la zona de rift de las Galápagos (Placa de Cocos y Placa de Nazca). Junto a parte de un área de subducción activa de corteza oceánica (Nazca) sobre el extremo Oeste de la placa Sudamericana (Baldock, 1982, p. 4).

Dentro de la región ecuatoriana también se produce una importante transición desde los Andes Centrales, con litosfera continental en la costa, hacia los Andes Norteños con una densa corteza oceánica debajo de la costa, posiblemente se debe a una falla transformacional actualmente inactiva y oculta con rumbo NNE, esta falla separa corteza continental de la corteza oceánica Mesozoica trasladada y acrecionada a la placa Sudamericana (Baldock, 1982, p. 4).

Los basaltos Piñon de la costa ecuatoriana representan a esta antigua corteza oceánica. Dentro de la cordillera Occidental, fallas interactuando entre si emplazaron una secuencia volcánica cretácica de arco de islas, contra el eje metamórfico de la cordillera Real.

En gran parte del Ecuador los arcos volcánicos son corteza continental engrosada, sin embargo, en el Norte los arcos se alinean al Oeste de la sutura y se sobreponen directamente a la litósfera oceánica acrecionada.

La cordillera Andina divide al Ecuador continental en tres regiones geológicas y geomorfológicas distintas. El oriente al este de la Cordillera Real incluye una parte plana de cuenca Amazónica Superior y la zona subandina de plegamiento, levantamiento y corrimiento.

Desde un punto de vista estratigráfico el Oriente representa una cuenca sedimentaria pericratónica, de tras arco, en la cual la plataforma paleozoica y los sedimentos del mesozoico inferior, se depositaron sobre el cratón de Guayana.

El volcanismo del cretácico inferior fue seguido por la sucesión continental del cenozoico. La zona subandina fue deformada por el cinturón de pliegues y corrimientos tras arco, durante la orogénesis del terciario y se encuentra separada por de la cordillera Real por un importante sistema de fallas y corrimientos, en el plazo del cual tres complejos batolitos Granitoides han sido instruidos por el tectonismo principalmente (Baldock, 1982, p. 5).

2.2.1. Geología regional

Una orientación geológicamente se puede dividir en dos: una plataforma tectónica estable y una zona subandina, relacionada con la estructura de los Andes (Litherland, Aspden y Jemielita, 1994, p. 12).

En el Mesozoico Superior, las condiciones continentales fueron seguidas por una transgresión marina del Cretácico que depositó sedimentos delgados sin presencia de rocas volcánicas (8 tectónicas de placas), las Formaciones Hollín, Napo y Tena, sobre una amplia cuenca de antepaís. Los sedimentos cenozoicos se depositan en el extremo oriente del Ecuador con un espesor de 1500 a 2000 metros en una cuenca de largo posterior alargada (Baby, Rivadeneira y Barragán, 2004, p. 19).

En las condiciones marinas del Jurásico Inferior y Cretácico Superior contrastan con los depósitos del Jurásico Superior; Cretácico Inferior y Terciario, que son predominantes aguas dulces y salobres. Las rocas paleozoicas no metamorfoseadas están expuestas solo en la zona subandina, probablemente en forma de depósitos de plataformas delgadas que se superponen al basamento precámbrico en lugares debajo de una gruesa capa mesozoica terciaria (Vallejo et al., 2021, p. 5)

2.2.1.1. Basamento Metamórfico

Afloramientos de lechoso rocoso metamórficos: se han registraron lutitas en pozos de perforación en Tiputini y otros lugares cubiertos por la Formación la Hollín. Se desconoce si se trata de rocas cristalinas precámbricas (Escudo Guyana) expuestas en el sureste de Colombia (Litherland, Aspden y Jemielita, 1994, p. 12).

2.2.1.2. Formación Pumbuiza

Formada por pizarra de color gris o negro en manchas de areniscas de grafito y cuarcita duras y de grano fino. Forma un núcleo de bloque anticlinal, falla en bloques en el levantamiento Cutucú en la zona subandina y representa la roca más antigua de la región (Litherland, Aspden y Jemielita, 1994, p. 12).

2.2.1.3. Formación Macuma

Así como la Formación Pumbuiza está expuesta solo en la zona Subandina e incluye una secuencia de calizas bioclásticas de 1500 metros de espesor con capas intermedias de margas de esquisto y areniscas de grano fino del periodo Carbonífero Superior, esta se divide en dos miembros que continúan estas secuencias (Litherland, Aspden y Jemielita, 1994, p. 12).

2.2.1.4. Formación Santiago

Es una serie de fuertes calizas marinas de color negro a gris del Jurásico Inferior, intercaladas con lutitas, areniscas y rocas piroclásticas que conforman la mayor parte de las montañas de Cutucú. Al este del afloramiento, está compuesto por una serie de calizas silíceas grises, areniscas calcáreas y lutitas negras (Vallejo et al., 2021, p. 5).

La secuencia está completamente plegada y fallada, pero su espesor varía de 1000 a 2700 metros según Gaibor et al (2008), su base no está expuesta y los afloramientos de las formaciones Pumbuiza y Macuma están directamente superpuestos por las capas rojas de Chapiza.

2.2.1.5. Formación Chapiza

Esta formación es de origen Jurásico Medio al Cretácico Inferior, en un ambiente no marino, constituida por secuencias sedimentarias clásticas continentales (capas rojas) superpuestas por depósitos clásticos y piroclásticos (Miembro Misahualli). Esta ampliamente expuesto en la zona

subandina del sur de Ecuador, en las montañas de Cutucú, pero ausente en el lado oeste, donde la Formación Santiago está recubierta directamente por cuarcita de la Formación Hollín (Vallejo et al., 2021, p. 5).

Existen epitermales y pórfidos de cobre, depósitos fruta del norte y mirador, formadas en las rocas del jurásico subyacente a la formación Hollín y mapeadas en la formación Chapiza (Vallejo et al., 2021, p. 5).

La formación se divide en tres: la Chapiza inferior de color rojo grisáceo con un espesor máximo de 1500 metros, representado por lutitas, arenisco y fino blandas de anhidrita, dolomita y yeso. La Chapiza superior o miembro Misahualli alcanza una profundidad de 2000 metros y está formada por lutitas rojas, areniscas y conglomerados entre varias capas con tobas moradas, grises y verdes, brechas de toba y basaltos depositados en cuencas de extensión (Baldock, 1982, p. 19).

2.2.1.6. Formación Hollín

Sus areniscas cuarzosas blancas epicontinentales, relativamente delgadas, cubren una variedad de rocas en toda la región ecuatorial oriental. Subyacen a la mayor parte de la costa este y forman un reservorio rocoso en los campos del noreste de Ecuador (Baby, Rivadeneira y Barragán, 2004, p. 19).

2.2.1.7. Formación Napo

Formada por una serie de lutitas negras, calizas de color gris a negro y areniscas calcáreas. El espesor de la formación varía desde menos de 200 metros hasta más de 700 metros. Se divide en 3 unidades: la base del Napo compuesta por areniscas, lutitas y calizas que se entrecruzan con las facies costeras que predominan hacia el este; Napo inferior con un espesor de 60 a 250 metros incluye areniscas, lutitas, margas y calizas menores; la Napo media con espesor promedio de 75 a 90 metros, compuesto por calizas masivas de color gris a muy estratificadas y alto Napo de 0 a 320 metros de espesor, es una serie de duras argilitas negras, lutitas verdosas y grises, intercaladas con calizas y areniscas (Baby, Rivadeneira y Barragán, 2004, p. 19).

2.2.1.8. Formación Tena

Sin embargo, los estratos rojos aparentemente consistentemente superpuestos al Napo, el cambio abrupto en las facies y en la cima erosiva de la secuencia del Napo hay un cambio importante en la sedimentación en la mayor parte del campaniense con sedimentos del Tena volviéndose más fríos y delgados hacia el este, lo que sugiere un origen occidental de los materiales clásticos.

La litología de la Tena es una lutita con capas alterna de areniscas y varios conglomerados a una profundidad de 200 metros por debajo y 150 metros por encima. Las margas y las calizas arenosas se encuentran en menores cantidades. El color característico es el marrón rojizo, que va del rojo ladrillo pálido al violeta.

Parte de este color se debe a la meteorización cuando este fresco, el residuo es negro, verde o ligeramente rojo. Indican sedimentación en agua dulce a salobre con horizontes marinos delgados. Esta formación marca el fin de los sedimentos marinos y el comienzo de las condiciones no marinas. Este cambio se produjo al rápido levantamiento de los Andes y su transformación en un sistema flexible de cuencas de antepaís (Vallejo et al., 2021, p. 6).

Marca la regresión marina y la formación de la naciente cadena montañosa cuya erosión se ha convertido en la principal fuente de material clástico para la cuenca oriental (Baby, Rivadeneira y Barragán, 2004, p. 19).

2.2.1.9. Formación Tiyuyacu

El Tiyuyacu es una secuencia de estratos rojos formados por gruesos conglomerados basales cubiertos por areniscas intercaladas con lutitas rojas, verdes y grises; el espesor varía desde menos de 100 metros hasta más de 250 metros. Al sur del río Pastaza un tramo similar recibe el nombre de Cuzutca, aunque Tiyuyacu también ha sido incluida con una litología de conglomerados de arenisca y lutita de color verdoso a rojas (Baldock, 1982, p. 22).

2.2.1.10. Formación Chalcana

Esta formación Chalcana consiste en una sucesión de estratos rojos de varias arcillas rojizas con yeso y parece superponerse transitoriamente al Tiyuyacu. En el noreste los depósitos de transición de lutitas de color marrón y gris verdoso, con pequeñas cantidades de aluvión y areniscas, probablemente pertenecen a la formación Orteguaza de Colombia (Baldock, 1982, p. 24).

2.2.1.11. Formación Arajuno

Existe una clara conexión que separa la Formación Arajuno de la Chalcana, aunque en el sur este cambio es temporal. La Arajuno es una gruesa capa de más de 1000m de altura, caracterizada por una variación litológicas, dividido en tres partes: arenisca inferior, intercalada con conglomerado y arcilla bentónicas, fila central y arcilla roja, yeso debajo toba arriba de arenisca con lignito marrón (Baldock, 1982, p. 24).

2.2.1.12. *Formación Curaray*

Esta Formación se encuentra al este del Oriente, donde la mayor parte del territorio está cubierto de densos bosques o cubiertos de finos suelos aluviales. Esta constituido con arcilla claramente estratificada de color rojo verdoso y azulado, yeso intercalado con capas de areniscas de grano fino; los niveles de toba y carbonatos marrones son comunes (Baldock, 1982, p. 24).

2.2.1.13. *Formación Mesa*

La formación consta de una serie de terrazas desecadas formadas por sedimentos clásticos de espesor moderado formados por la erosión continua de la cordillera. Hay terrazas que están señaladas por evidencia de fallas y levantamientos parcialmente cubiertas por depósitos del Cuaternario posteriores (Baldock, 1982, p. 25).

2.2.1.14. *Formación Mera*

La Formación Mera consta de depósitos en terrazas más jóvenes de conos, areniscas y lutitas al pie de las atribuciones que datan de fechas posteriores por fallas y levantamientos, y están más repartidas que otras mesas de terrazas. Hacia el este, los sedimentos de la terraza disminuyeron gradualmente en espesor, tamaño de grano y elevación, culminando en un aluvión cuaternario parcialmente reelaborado en la cuenca actual (Baldock, 1982, p. 25).

2.2.1.15. *Volcánicos Cuaternarios*

Las secuencias volcánicas Cuaternarias desde Sumaco hasta reventador cubren gran parte de la sucesión Cretácica en el levantamiento del Napo, culminando en conos de brecha simétricos y parcialmente erosionados. Tanto el Sumaco como el Reventador se consideran activos. Sumaco es el único lugar donde predominan los basaltos alcalino insaturado, mientras que el Reventador está formado por basaltos andesíticos más comunes con una alta proporción de depósitos piroclásticos y laharíticos. (Baldock, 1982, p. 25).

2.2.1.16. *Rocas Plutónicas*

De norte a sur se les conoce como Batolitos de Zamora, Abitagua y la Cuchilla a la Bonita. Todos los batolitos son cuerpos enormes y alargados que apuntan al NNE y se cree que pertenecen al mismo periodo de magmatismo, sin embargo. La información sobre su composición y edad se

limita en gran medida al granito central de Abitagua atravesado por el estrecho de Baños-Puyo y Baeza-Tena (Baldock, 1982, p. 26).

2.2.1.17. *Estructura*

La cuenca oriental fue dividida en dos provincias estructurales por sucesivos eventos tectónicos que representaron periodos posteriores en el desarrollo del cinturón móvil andino. La zona subandina fue fuertemente afectada por plegamiento y cabalgamiento en una deformación del cinturón posterior al Arco, afectándola en menos medida el metamorfismo debido al levantamiento y flexión del Plioceno del Napo y Cutucú. La separación entre el cinturón tectónico subandino y el Oriente mismo coincide aproximadamente con el buzamiento de la Zona Bobonaza- Coca acompañado por el importante cinturón más oriental, y superficialmente el empuje es evidente. En el Paleozoico fue una región aparentemente estable que soporto la sedimentación y también se formó en el borde del cratón Precámbrico. Posteriormente, eventos orogénicos (brasileños/Pan Africano) y varíticos influyeron en el cinturón móvil andino del Paleozoico y formaron una Proto cordillera que resulto en un desplazamiento hacia el este del eje de sedimentación.

El levantamiento del Cretácico Tardío de la Proto Cordillera y parte del Oriente está indicado por clásticos del oeste de la Formación Tena, y por la erosión diferencial de la lutita del Alto Napo. Em el Mestrichtiense y Paleoceno hubo tectonismo y posterior levantamiento en el cinturón andino y fallamiento sin sedimentación. Un empuje inicial de alto ángulo con fallas inclinadas hacia el oeste en el borde oriental de frente andino contribuyo al levantamiento de la cresta; el diastrafismo resultó en algunos dobleces y deformaciones suaves.

La cuenca oriental se puede dividir en dos provincias estructurales distintas, formadas principalmente por tectónica Cenozoica y Neógeno. Antes del plegamiento inca, los eventos tectónicos en el Oriente fueron el resultado de fractura vertical de bloques no sedimentarios, posiblemente en forma extendida con un lecho de roca cristalina dura. Los eventos posteriores, debido a fuerzas comprensivas, tangenciales y verticales, afectaron principalmente la parte occidental de la cuenca oriental donde la región subandina se formó por levantamientos entre regiones de empuje importantes (Baldock, 1982, p. 26).

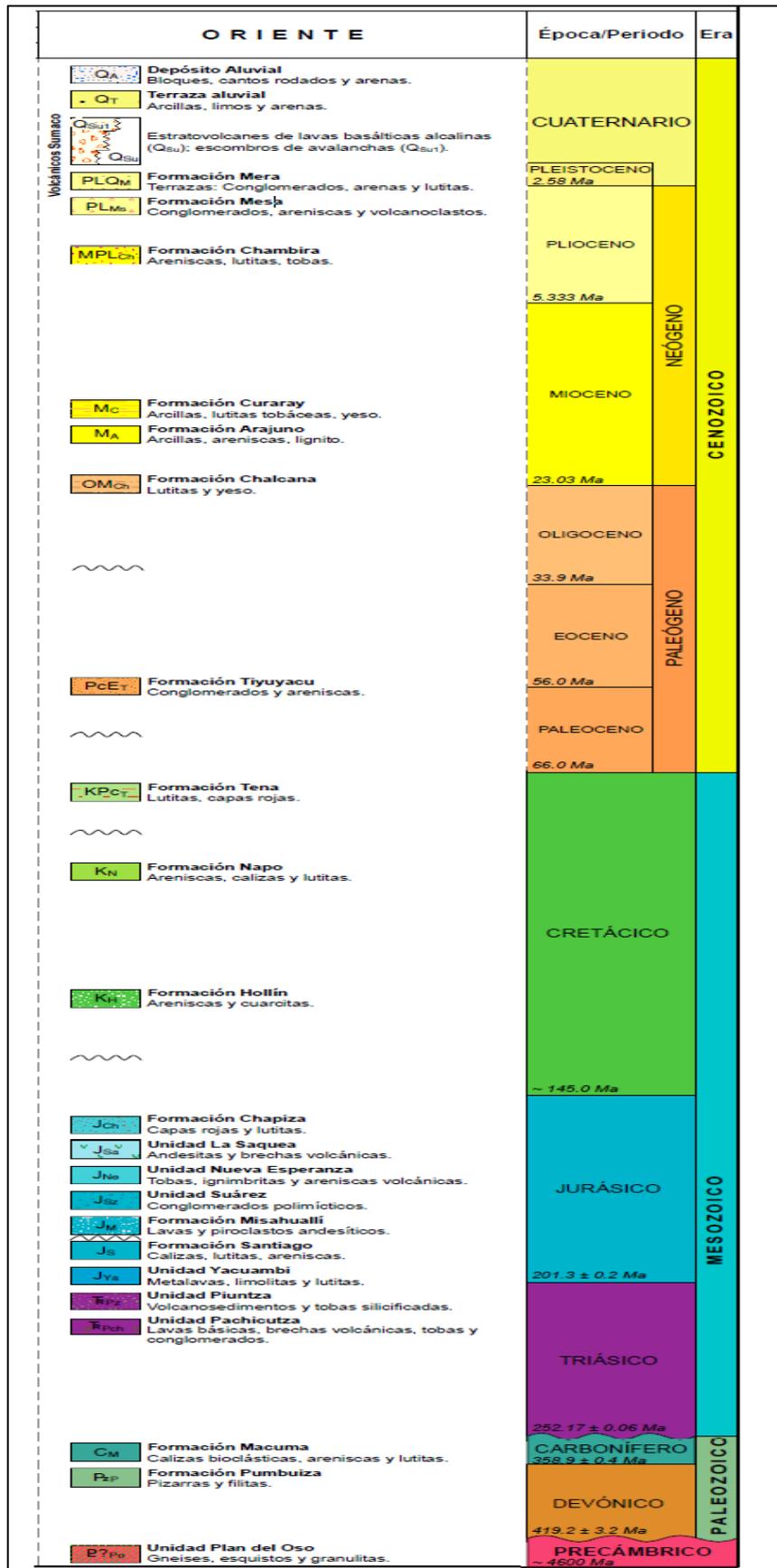


Ilustración 2-5: Columna Estratigráfica Cuenca Oriente.

Fuente: Mapa Geológico de la República del Ecuador (INIGEMM), 2017.

2.2.2. Geología local

El área de estudio presenta el flujo del Río Amundalo, es una zona que alberga sedimentos y formaciones (desde la más antigua a la más joven) que datan del Mesozoico (Cretácico) hasta el Cenozoico (Pleistoceno-Cuaternario).

La Formación Tena se emplaza en el cretácico, en donde se visualizan lutitas y capas rojas, los tamaños de grano son finos o delgados, la tonalidad de los sedimentos varía entre café-rojizo, de pálido a ladrillo rojizo y púrpura (relacionada con meteorización) (Baldock, 1982, p. 21).

Esta formación marca el fin de la sedimentación marina dentro de la cuenca Oriente, suceso que se desprende como respuesta del levantamiento acelerado de los Andes y un cambio a un sistema de cuenca de antepaís flexural (Vallejo et al., 2021, p. 6).

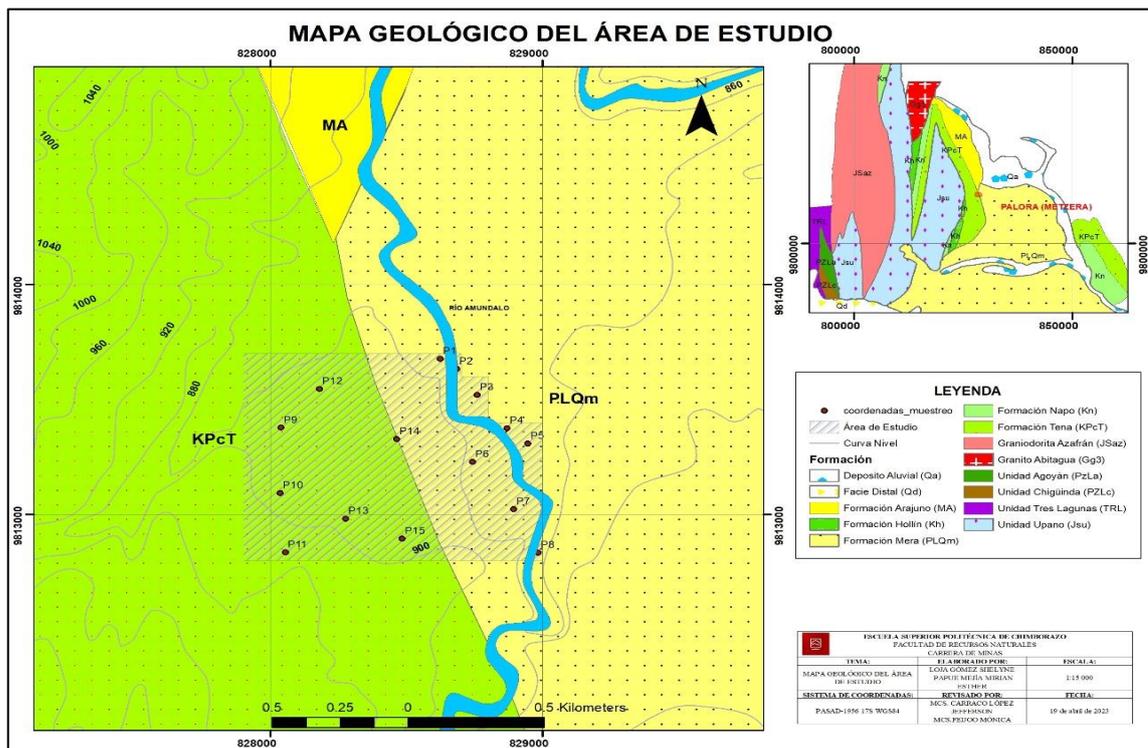


Ilustración 2-6: Mapa Geológico del Área de Estudio.

Fuente: Mapa Geológico de la República del Ecuador (INIGEMM), 2017.

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

La Formación Arajuno compuesta por arcillas, areniscas y lignito, presumiendo que el material arcilloso ha sido transportado por corrientes fluviales por el lecho del Río Amundalo, La formación Arajuno se divide en tres: la arenisca inferior consta de intercalaciones de

conglomerados y bentoníticas, la unidad del medio es arcilla roja, la base es yeso, la superior es toba y la parte superior esta dividida en arenisca de lignito (Baldock, 1982, p. 24).

Formación Mera principalmente compuestos de abanicos de piedemonte cuaternarios, Terrazas jóvenes, areniscas tobáceas y arcillas, la pendiente de la transición al aluvión cuaternario en la parte actual de la cuenca (Baldock, 1982, p. 25).

El posible enriquecimiento de la zona se podría deber a transportación fluvial de los minerales arcillosos de la formación Araujuno, las arcillas depositadas en las formaciones Mera y Tena se categorizan en capítulos posteriores como arcillas del grupo caolín y del grupo esmécticas, con coloraciones de rojizas a rojizas claras.

2.2.3. Geomorfología

El área de estudio se encuentra a una altura en el rango de 840 a 1000 m.s.n.m. en cercanía a la red de drenaje fluvial del Río Pastaza que va en sentido NW-SE. En el área se encuentran los siguientes dominios fisiográficos: Medio aluvial Amazónico, Vertientes externas de la Cordillera Real, Amazonia Periandino (Val, Andrade y Calle, 2015, p. 21).

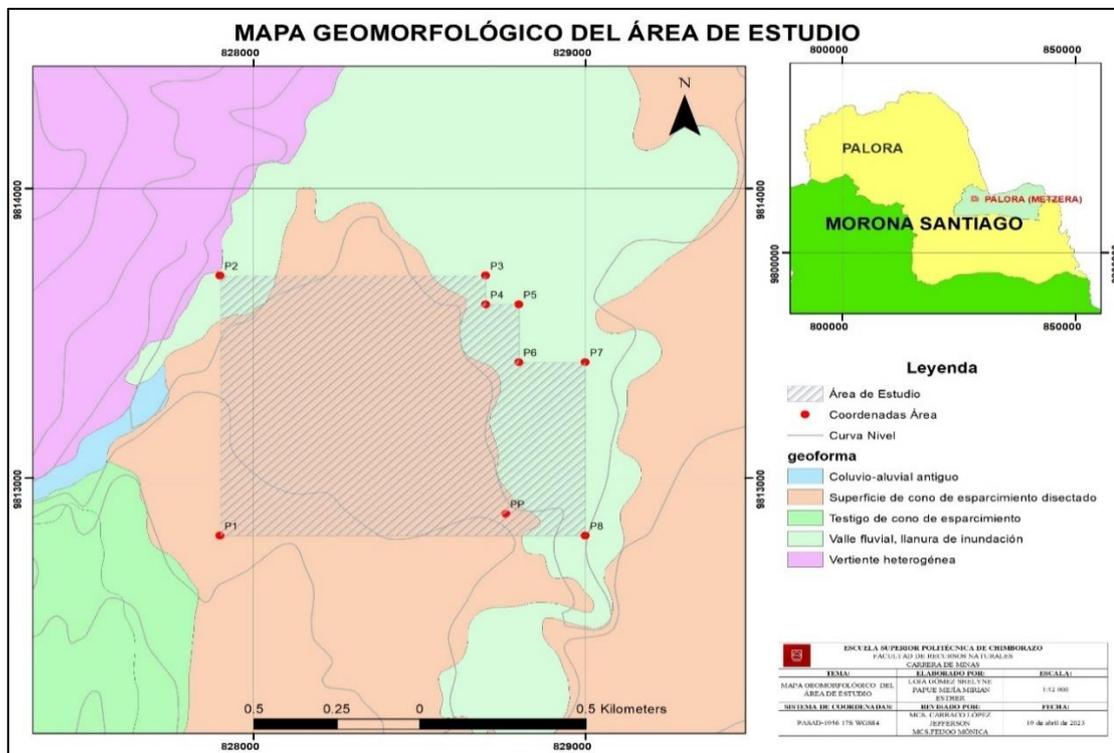


Ilustración 2-7: Mapa Geomorfológico del área de estudio.

Fuente: SIGTIERRAS, 2017.

Realizado por: Loja, A. & PAPAUE, M., 2023.

Los principales dominios fisiográficos son el medio aluvial amazónico y Amazonia Periandina, depósitos de génesis fluvial, las principales geoformas son: valle fluvial, llanura de inundación, superficie de cono de esparcimiento disectado, pendiente de suave a media y se visualiza areniscas con conglomerados, presente estratificación cruzada, las formas de los drenajes son meándrico y dendrítico.

2.2.4. Descripción de minerales arcillosos

Dentro de las generalidades de las arcillas y minerales arcillosos deben definirse los términos básicos relativos. Un material arcilloso es cualquier material arcilloso, natural, terroso y de grano fino, como lo enuncia Grim en 1962. La arcilla es un término para nombrar petrográficamente a una roca y también se usa como un término de tamaño de partícula. El término arcilla no define genéticamente a un material ya que se usa para productos residuales de meteorización, materiales alterados hidrotermalmente y depósitos sedimentarios (Murray, Haydn, 2007, p. 10).

La escala de Wentworth, 1992 define el grado de arcilla como más fino que 4 mm, mientras que científicos de arcilla generalmente consideran 2 mm como el límite superior al grado de tamaño de arcilla.

Las arcillas consisten en un pequeño grupo de partículas cristalinas muy finas de uno o más miembros de un grupo de minerales que se conocen comúnmente como minerales arcillosos.

Son silicatos de aluminio hidratados y en algunos casos el hierro y el magnesio sustituyen al aluminio o elementos alcalinos y alcalinotérreos. Los grupos de minerales arcillosos son caolín, esmectita, palygorskita-sepiolita, illita, clorita y arcillas mixtas (Murray, Haydn, 2007, p. 2).

Las propiedades de estas arcillas son muy diferentes y están relacionadas con su estructura y composición, la composición mineral arcillosa se relaciona con la abundancia relativa y la identidad de los minerales arcillosos presentes. La composición de los minerales no arcillosos también es importante ya que pueden afectar significativamente las propiedades de un material arcilloso.

La textura de la arcilla hace referencia a la distribución del tamaño de las partículas, su forma y la orientación de las partículas entre sí y las fuerzas que las unen.

2.2.4.1. Estructura y composición de la arcilla

Las propiedades físicas y químicas de un mineral arcilloso dependen en particular de su estructura y composición. Grim en el año 1962 propuso una clasificación de arcilla como base para delinear la nomenclatura y las diferencias entre los diversos minerales de arcilla.

La estructura de la arcilla está conformada por dos unidades básicas, una lámina octaédrica y una lámina tetraédrica. La hoja octaédrica se compone de oxígenos e hidroxilos en los que los átomos de aluminio, hierro y magnesio están dispuestos en coordinación octaédrica. La segunda unidad es la capa tetraédrica de sílice en la que el átomo de silicio está equidistante de cuatro oxígenos o posiblemente hidroxilos compuestos en forma de tetraedro con el átomo de sílice en el centro. Estos tetraedros están dispuestos para formar una red hexagonal, la lámina tetraédrica de sílice y la lámina octaédrica se unen compartiendo los oxígenos o hidroxilos en los extremos superiores para formar una capa de mineral arcilloso.

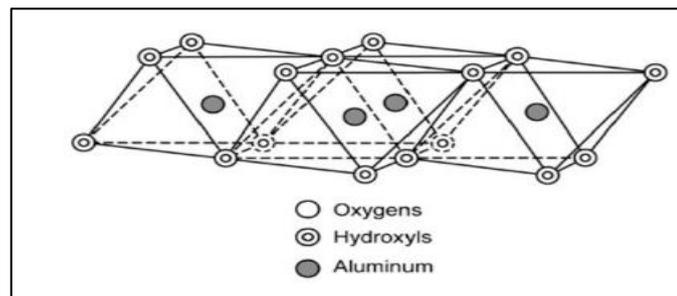


Ilustración 2-8: Esquema de lámina de octaedros.

Fuente: Murray, 2007.

La estructura y composición de las principales arcillas industriales: caolines, esmécticas y paligorskita-sepiolita son muy diferentes, aunque todas están compuestas por láminas octaédricas y tetraédricas como sus unidades básicas, la disposición y composición de sus láminas explican la mayoría de sus diferentes propiedades físicas y químicas (Murray, Haydn, 2007, p. 8).

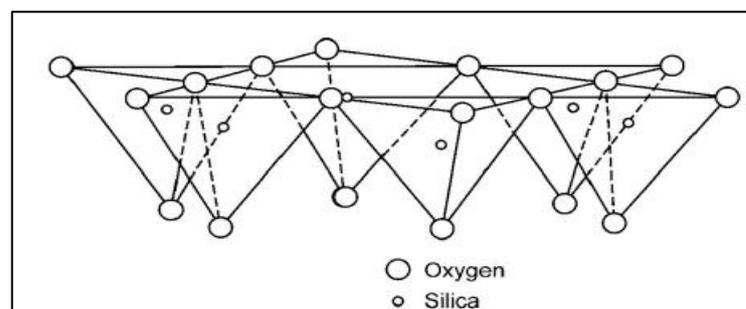


Ilustración 2-9: Esquema de lámina de tetraedros.

Fuente: Murray, 2007.

2.2.4.2. *Minerales de Caolín*

La estructura básica del mineral de caolín que comprende los minerales caolinita, dickita, nacrita y halloysita es una capa de una sola hoja tetraédrica y una sola hoja octaédrica. Estas dos unidades se combinan para formar una sola unidad en la que las puntas de los tetraedros de sílice se unen con la hoja octaédrica (Murray, Haydn, 2007, p. 9).

La fórmula estructural de la caolinita es $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ y la composición química teórica es SiO_2 , 46.54%; Al_2O_3 , 39.50%; y H_2O , 13.96%.

Solo 2 tercios de las posiciones octaédricas se ocupan por un átomo de aluminio. Los átomos de aluminio se rodean por 4 oxígenos y ocho hidroxilos. Las diferencias en los minerales de caolín son la forma en que las capas unitarias se apilan una encima de la otra (Murray, Haydn, 2007, p. 11).

2.2.4.3. *Minerales de Esméctica*

Los principales minerales de esmectita son la montmorillonita de sodio, la montmorillonita de calcio, la saponita (montmorillonita de magnesio), la nontronita (montmorillonita de hierro), la hectorita (montmorillonita de litio) y la beidellita (montmorillonita de aluminio). Los minerales de esmectita tiene una estructura ortogonal central que consta de dos laminas tetraédricas de sílice sumadas a una lámina octaédrica central, su nomenclatura de capa es 2:1 en donde las moléculas de agua y cationes ocupan el espacio entre capas. La fórmula teórica es $(\text{OH})_4\text{Si}_8\text{Al}_4\text{O}_{20}\text{NH}_2\text{O}$ (capa intermedia) y la composición teórica sin capa intermedia es SiO_2 , 66.7%; Al_2O_3 , 28.3%; y H_2O , 5%. Sin embargo, existen variantes de sustitución considerable en la hoja octaédrica y algo en la hoja tetraédrica. En la hoja tetraédrica, el aluminio sustituye al silicio hasta en una 15% y el magnesio se sustituye en las placas octaédricas y hierro por el aluminio (Murray, H., 2007, p. 14).

2.2.4.4. *Illita*

La illita o también conocida como mica son minerales clasificados como arcillas que su estructura 2:1 es muy similar a las esmectitas, con la diferencia que el catión de la capa intermedia es potasio. (Murray, Haydn, 2007, p. 15).

Esto genera que la estructura no sea expansible, ni sus cationes intercambiables (Domínguez y Schuffer, 1992, p. 22).

2.2.4.5. *Clorita*

El clorito está presente en las lutitas y en capas subyacentes que asociadas en vetas de carbón. Los cloritos son minerales arcillosos tienen su diferencia con los cloritos bien cristalizados en que las capas se apilan al azar y algo de hidratación. Es un mineral de capa 2:1 con una capa intermedia de brucita $\text{MG}(\text{OH})_2$. Existe una gran variedad de sustituciones en los cationes de las cloritas. Su composición generalmente se muestra cómo $(\text{OH})_4(\text{SiAl})_9(\text{Mg Fe})_6\text{O}_{20}$ (Murray, H., 2007, p. 18).

2.2.4.6. *Palygorskita: Sepiolita*

Son silicatos de capa 2:1. Las láminas tetraédricas están juntas en dos dimensiones. Sin embargo, son diferentes de otros minerales arcillosos en las láminas octaédricas están continuas en una dimensión y las láminas tetraédricas se dividen en cintas por la inversión periódica de filas de tetraedros (Murray, Haydn, 2007, p. 20).

2.2.5. *Propiedades físicas*

Los suelos comprenden 3 fases: sólida, líquida y gaseosa. Dentro de la sólida se encuentran las partículas minerales del suelo; la líquida compuesta por el agua libre; la fase gaseosa comprende sobre todo el aire, pero pueden estar presentes otros gases como vapores sulfurosos, anhídridos carbónicos, etc. (Duque et al., 2002, p. 8).

2.2.5.1. *Densidad*

Esta se define como la relación entre la masa de una muestra de suelo con el volumen que ocupa dicha masa, debido a las 3 fases de los suelos existe 2 tipos de densidades conocidas: densidad real que se refiere a la densidad del total de las partículas del suelo (sin considerar las fases gaseosas o líquidas) y se especifica por la relación entre la masa de partículas sólidas y el volumen del sólido, rechazando espacios porosos, sus unidades son g/cm^3 .

La densidad aparente o de volumen del suelo es la relación entre la masa seco del suelo y el volumen aparente total del suelo, incluyendo el volumen del sólido como el de los espacios porosos (fases líquidas y gaseosas).

2.2.5.2. *Granulometría*

También conocido como análisis mecánico donde se determina el rango de tamaño de partículas que conforman un suelo, expresado como un porcentaje de la masa seca total, este ensayo se debe

a que inicialmente en la ingeniería de suelos se relacionaba la distribución granulométrica con el comportamiento principal de los suelos, sin embargo, este razonamiento ha sido desmentido con el pasar de los años (Badillo y Rodríguez, 2005, p. 97).

El comportamiento mecánico e hidráulico está principalmente definido por la compacidad de los granos y su orientación. Características que se eliminan al realizarse la determinación de granulometría. Sin embargo, mediante esta determinación se puede clasificar a los suelos en función a granulometría.

Tabla 2-2: Clasificación de suelos M.I.T. (Instituto Tecnológico de Massachusetts)

Tamaño en mm								
2	0.6	0.2	0.06	0.02	0.006	0.002	0.0006	0.0002
Gruesa	Media	Fina	Grueso	Medio	Fino	Gruesa	Media	Fina (coloides)
Arena			Limo			Arcilla		

Fuente: (Badillo y Rodríguez, 2005, p. 99).

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

Tabla 2-3: Resumen de Clasificación de suelos.

	BRITÁNICO	AASHTO	ASTM	SUCS
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Grava	60-2	75-2	>2	75-4,75
Arena	2-0,06	2-0,05	2-0,075	4,75-0,075
Limo	0,06-0,002	0,05-0,002	0,075-0,005	<0,075 FINOS
Arcilla	<0,002	<0,002	<0,005	

Fuente: (Duque et al., 2002).

Los métodos de análisis granulométrico comprenden 2 tipos de ensayos: el tamizado para partículas gruesas-granulares y el de sedimentación para la fracción más fina de limos y arcillas.

2.2.5.3. Plasticidad

La característica de la plasticidad es su capacidad para resistir deformaciones rápidas, carecer de rebote elástico, exhibir una variación volumétrica mínima y no resistir ni al colapso ni al agrietamiento.

Existe una relación entre la plasticidad y las propiedades fisicoquímicas en el comportamiento mecánico de las arcillas, la plasticidad está relacionada con el contenido de partículas finas en forma laminar, se conoce que ejerce una influencia importante en la compresibilidad del suelo. Cuando el contenido de agua es muy alto, el suelo y el agua fluyen en forma líquida, que dependen del contenido de H₂O, el comportamiento del suelo se clasifica en cuatro estados.

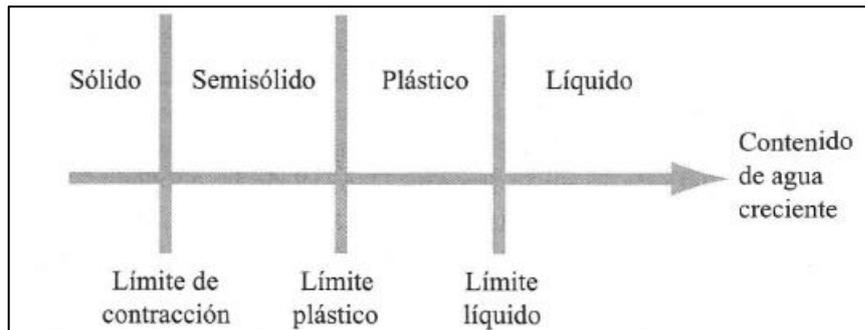


Ilustración 2-10: Límites de Atterberg.

Fuente: (Braja M, 2016, p. 27).

Los límites líquido y plástico son determinados por medio de pruebas de laboratorio que proporcionan información de la naturaleza de los suelos cohesivos. Las pruebas se han recopilado para correlacionar varios parámetros físicos del suelo, así como para la identificación del mismo. Casagrande en 1932 estudió la relación del índice de plasticidad contra el límite líquido de una amplia variedad de suelos proponiendo una carta de plasticidad caracterizada por la línea empírica A ($PI=0.73(LL-20)$) que separa las arcillas inorgánicas de los limos orgánicos.

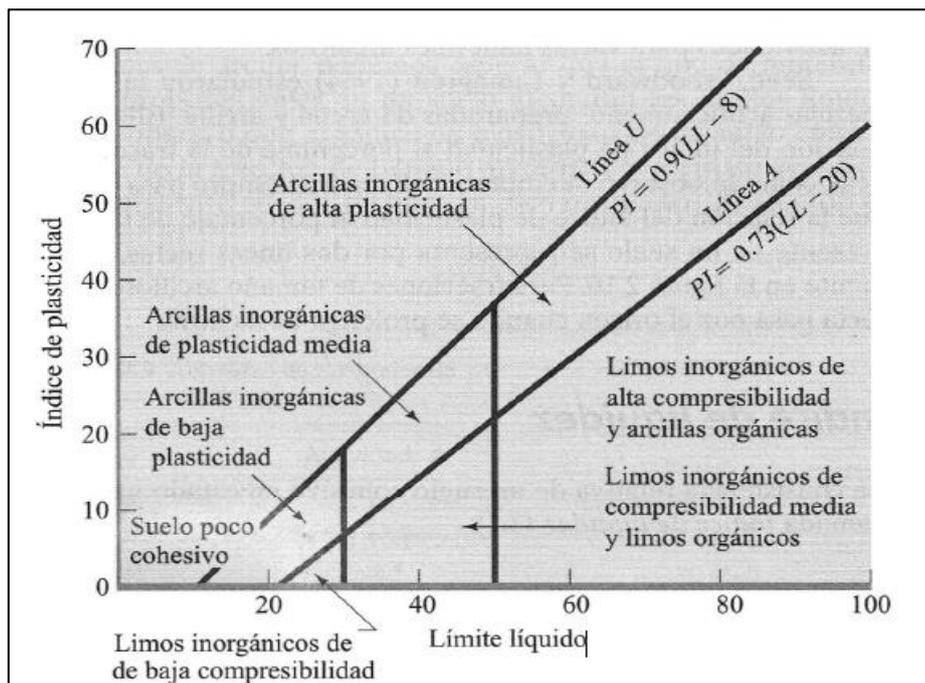


Ilustración 2-11: Carta de Plasticidad

Fuente: (Braja M, 2016, p. 34).

2.2.5.4. La Resistencia a la compresión simple

En la construcción la norma NEC-Vivienda expone que las unidades básicas de mampostería confinadas deben cumplir con las resistencias mínimas de compresión uniaxial simple,

incluyendo así bloques de arcilla o ladrillos. La resistencia a la compresión simple se define como la unidad de fuerza máxima que soporta un área antes de sufrir el fracturamiento. La norma expone que para unidades de ladrillo macizo deben poseer una resistencia a la compresión simple de al menos 2 Mpa.

2.2.5.5. Espectro electromagnético y rayos X

El conocimiento de la distribución de los átomos, iones o moléculas en la estructura de los cristales de sólidos, se basa en gran medida en el análisis y aplicación de rayos X, descubiertos por Rontgen en 1895, tienen aplicación en campos muy variados, como cristalografía, metalurgia, etc (Besoain, 1985, p. 984).

Las primeras aplicaciones en estudios en arcilla se realizaron en 1923 en Suecia por el científico Hadding y en 1924 en Alemania. Determinando la existencia de material cristalino en la fracción fina de diferentes arcillas.

La arquitectura de los cristales de arcillas se basa en la distribución periódica de los átomos, iones o moléculas. Distribuciones regulares separadas por distancias constantes y características, en un diagrama de difracción estos espacios constantes se traducen en una disposición característica de máximos (picos) identificando así cualitativamente el tipo de cristal. Además ya que la intensidad de estos picos es proporcional al número de planos que difractan es posible una evaluación cuantitativa.

Los R-X son parte del espectro electromagnético, situados en la región de ondas cortas de 0.01 a 100 Å. ($1 \text{ \AA} = 1 \times 10^{-7} \text{ mm}$).

2.2.5.6. Espectroscopia de fluorescencia de rayos X

El principio que emplea la reflexión del haz primario de rayos X es conocido desde el año 1971, este procedimiento consiste en producir la excitación de la muestra con rayos X primarios provocando condiciones de reflexión total. Para lo cual se deposita pequeñas cantidades de muestra en una superficie ópticamente reflectora permitiendo una cuantificación y cualificación de las estructuras cristalinas de los minerales.

Fluorescencia de rayos es una técnica espectroscópica que utiliza una fuente de rayos X para producir haces secundarios o fluorescentes a partir de una muestra. A partir de la transición se dispersa en forma de fotones secundarios, fluorescentes o X radiación, su longitud de onda característica depende del gradiente de energía de los orbitales de los electrones involucrados y

su intensidad esta directamente relacionada con la concentración del elemento en dicha muestra.

2.2.5.7. *Difracción de Rayos X (XRD o DRX)*

Se obtiene información detallada sobre la estructura cristalina de la muestra y se puede utilizar para identificar las fases presentes. XRD o DRX.

Este principio se usa en el microscopio electrónico de barrido (SEM) donde se aplica energía cinética para generar señales sobre la interacción de los electrones. Estos electrones son electrones secundarios, retrodispersados y retrodispersados difractados que se emplean para ver elementos cristalizados y fotones. Estos se deben a las señales de datos se encuentran los rayos x que determinan la composición de la muestra, combinando esta información con la imagen y topografía de la estructura se accede a una descripción única del espécimen.

2.2.6. *Clasificación de las arcillas según el sistema SUCS.*

Los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje coherente para expresar las características generales de los suelos de forma clara y concisa. Existen 2 sistemas que usan la distribución granulométrica y la plasticidad de los suelos, estos son el sistema AASHTO y el sistema SUCS (Sistema unificado de clasificación de suelos). El sistema SUCS es comúnmente usado por ingenieros geotécnicos (Braja M, 2016, p. 34).

Fue propuesto inicialmente por Casagrande en 1942 y fue revisado en 1952 por la Oficina de Restauración de Estados Unidos, clasificando los suelos en 2 grandes categorías.

1. Suelos de grano grueso que son de naturaleza tipo grava y arena con menos del 50% que pasa por la malla N° 200, los símbolos del grupo empiezan con los prefijos G o S, G para grava o suelo gravoso y S para arena o suelo arenoso.
2. Los suelos de grano fino que más del 50 % pasa por la malla N° 200, con símbolos M, para limo inorgánico, C para arcillas inorgánicas u O para limos y arcillas orgánicos. El símbolo Pt se usa para turbas, lodos y otros suelos altamente orgánicos.

Existen otros símbolos también empleados para la clasificación:

W: Bien graduado

P: Mal graduado

L: Baja plasticidad (límite líquido menor a 50)

H: Alta plasticidad (límite líquido mayor a 50)

Tabla 2-4: Símbolos para el Grupo de Suelos Arenosos.

Símbolo de Grupo	Criterios
SW	Menos de 5% pasa la malla No. 200; $C_u = D_{60} / D_{10}$ mayor que o igual a 6; $C_z = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ entre 1 y 3.
SP	Menos de 5% pasa la malla No. 200; no cumple ambos criterios para SW.
SM	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A; o índice de plasticidad menor que 4.
SC	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican arriba de la línea A; índice de plasticidad mayor que 7
SC-SM	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL-ML
SW-SM	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SM
SW-SC	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SC
SP-SM	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SM
SP-SC	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SC

Fuente: (Braja M, 2016, p. 40).

Tabla 2-5: Símbolos para suelos limosos y arcillosos.

Símbolo de Grupo	Criterios
CL	Inorgánico; $LL < 50$; $PI > 7$; se grafica sobre o arriba de la línea A
ML	Inorgánico; $LL < 50$; $PI < 4$; o se grafica debajo de la línea A
OL	Orgánico; $LL - \text{seco en horno} / (LL - \text{sin secar}) < 0.75$; $LL < 50$
CH	Inorgánico; $LL \geq 50$; PI se grafica sobre o arriba de la línea A
MH	Inorgánico; $LL \geq 50$; PI se grafica debajo de la línea A
OH	Orgánico; $LL - \text{seco en horno} / (LL - \text{sin secar}) < 0.75$; $LL \geq 50$
CL-ML	Inorgánico; se grafica en la zona sombreada
Pt	Turba, lodos y otros suelos altamente orgánicos

Fuente: (Braja M, 2016, p. 40).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Metodología del Proyecto Técnico

Para este proyecto técnico se empleó una metodología de investigación aplicada, documental, de campo y descriptiva:

- El Proyecto se basa en un tipo de investigación aplicada, ya que busca la aplicación de los conocimientos que se adquieren con respecto a la materia prima estudiada.
- La investigación a su vez es de carácter documental ya que sigue una serie de documentos previos que facilitan la ubicación de la zona de estudio, así como antecedentes relevantes en la misma.
- Investigación de Campo: el proyecto se basa en observaciones y muestreo de materiales in-situ que permiten coincidir en conclusiones con intereses económicos.
- Investigación Descriptiva: el proyecto procura describir las características principales de los materiales arcillosos en la zona de estudio con el fin de centrarlos en un marco económico-industrial.

Fases de la investigación:

- Fase Documental o Levantamiento de información: La investigación toma sus inicios en investigaciones exploratorias partiendo de una línea base definida, mediante la cual se delimita la zona de estudio.
- Fase de Campo: En esta fase se accedió a la zona de estudio con etapas de reconocimiento del sector y su comunidad, donde se gestionaron los permisos para el muestreo de materiales arcillosos a orillas del Río Amundalo.
- Fase de Laboratorio: Esta fase toma inicio una vez terminado el trabajo en campo, se emplearon las 15 muestras recolectadas para conocer las propiedades físicas, químicas y mineralógicas de los materiales arcillosos.
- Fase de Gabinete: En la fase final se lleva a cabo el procesamiento de datos y se obtienen las principales conclusiones y recomendaciones de la investigación.

3.2. Universo y Muestra

El universo de estudio se centra en las formaciones Tena, Mera y Arajuno (mesozoico al cenozoico) en la República del Ecuador, Provincia de Morona Santiago, Cantón Palora, Parroquia Sangay, sector Nuevo Amundalo. La zona de estudio se emplaza en la orilla occidental del Río Amundalo.

El área de estudio posee una extensión de 92 hectáreas de afloramiento, de las cuales se recolectó 15 muestras de manera Aleatoria.

La recolección aleatoria se debe a la geomorfología del área de estudio como a la accesibilidad para llevar a cabo el muestreo.

3.3. Preparación de muestras

Una vez identificada el punto seleccionado para el levantamiento de la muestra, se selecciona 6 kilogramos de material aproximadamente, la muestra busca ser lo más representativa posible para que el resultado de los ensayos brinde una perspectiva cercana a la realidad del depósito.

Las muestras seleccionadas se guardan en una funda plástica y se envuelve en una segunda cobertura con su respectivo código de etiquetado, los códigos siguen la siguiente nomenclatura LAPM-00#.

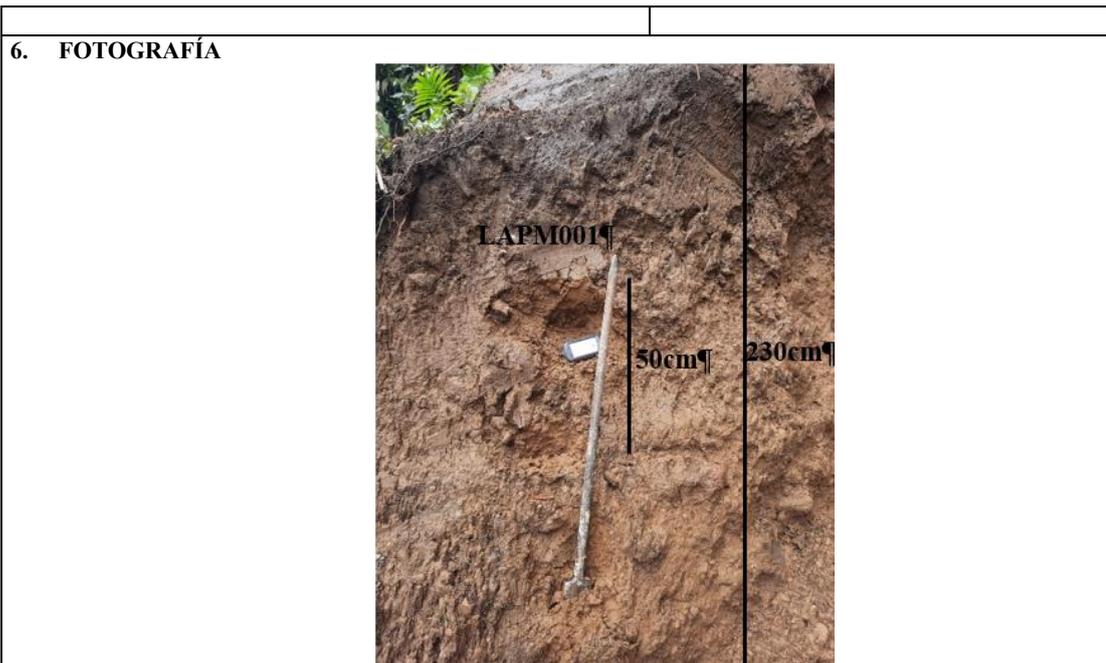
En el estudio se levanta 15 muestras de material arcilloso.

3.4. Descripción de fichas de muestreo

Para la ficha de muestreo se ha diseñado una tabla 3.1 que alberga los datos más relevantes en contexto a la muestra, su ubicación y características geológicas como macroscópicas.

Tabla 3-1: Ficha de Muestreo, ejemplo de la muestra LAPM001.

DESCRIPCIÓN DE MUESTRA		
1. CÓDIGO • LAPM001 Material: Arcilla	2. UBICACIÓN Provincia: Morona Santiago Cantón: Palora Parroquia: Sangay Sector: Nuevo Amundalo	3. COORDENADAS: PSAD 56 X(h): 17S 828623 Y(v): 17S 9813678
4. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE LA MUESTRA Color: café rojizo Estructura: Suelo		5. CLASIFICACIÓN DEL SUCS Suelo de categoría SC arena arcillosa de baja plasticidad, no uniforme, mal graduado y la fracción final no presenta plasticidad.



Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

3.5. Tipo de Muestreo

La modalidad de selección de muestras se decidió en función a las características morfológicas del terreno y la accesibilidad al punto de cada muestra, eligiendo un muestreo aleatorio para el carácter prospectivo del mineral arcilloso, esto es posible debido al conocimiento geológico de las formaciones que conforman el área de estudio.

En instancias más específicas de exploración y evaluación se recomienda definir una red de muestreo geométrica que describa de mejor manera la distribución espacial del mineral.

3.6. Ensayos de parámetros físicos

Recopiladas las muestras en la fase de laboratorio se procedió a tomar datos del material en estado natural, tales como: densidad aparente, % humedad, etc.

Con las muestras cuarteadas y secas hasta un peso constante se determina la distribución granulométrica mediante tamizado para la fracción gruesa de gravas y arenas; la fracción de limos y arcillas pasante la malla #200 se determina mediante el ensayo del hidrómetro con base a la guía ASTM-D422.

De esta forma se obtiene la curva granulométrica con datos importante como: Coeficiente de Curvatura y Coeficiente de Uniformidad. En cuanto a la determinación de los límites líquidos,

plásticos e índice de plasticidad se siguió la guía ASTM-D4318 con los ensayos de Casa grande, bajo estos parámetros se clasificó las muestras mediante la normativa SUCS.

3.6.1. Ensayo granulométrico mediante cribado ASTM-D422

Este ensayo se usa para obtener las fracciones relacionadas a los tamaños de partícula de suelo hasta la malla N° 200, los retenidos en cada malla se pesan y el porcentaje que representan en relación al peso total de la muestra se suma a los porcentajes retenidos en las mallas de mayor diámetro; el complemento a 100% de esa cantidad da el porcentaje de suelo pasante menor a ese diámetro, obteniendo un punto de la curva acumulativa para cada diámetro (Badillo y Rodríguez, 2005, p. 102).

Equipos:

Balanza, Juego de Tamices, Cepillo de limpieza, Horno, Tamizador, recipientes de aluminio.

Procedimiento:

1. Anote el peso de cada tamiz, así como la bandeja inferior que se va a utilizar en el análisis.
2. Registrar el peso de la muestra de suelo seco.
3. Asegurarse de la limpieza de los tamices y móntelos en orden ascendente de numeración en los tamices de Tyler (10,18,45,60,80,230), colocar la bandeja debajo del tamiz de menor abertura y verter la muestra de suelo cuidadosamente, al final colocar la tapa.
4. Colocar la pila de tamices en el agitador mecánico y agitar durante 10 minutos.
5. Retirar la pila de la coctelera y pesar cuidadosamente el peso de cada tamiz con el suelo retenido incluyendo la bandeja inferior.
6. El análisis se realiza en función al peso de suelo en cada tamiz, la suma de todas las fracciones retenidas debe ser aproximadamente igual al valor inicial de la muestra.
7. Calcular el porcentaje retenido en cada tamiz dividiendo el peso retenido por la masa original de la muestra.
8. Calcular el porcentaje pasante comenzando con 100% y disminuyendo el porcentaje retenido en cada tamiz como un procedimiento acumulativo.
9. Crear una gráfica semilogarítmica del tamaño de partícula vs. el porcentaje pasante.
10. Calcular el Coeficiente de Curvatura (Cc) y Coeficiente de Uniformidad (Cu).

Las curvas granulométricas se usan para comparar distintos tipos de suelos, considerando 3 parámetros básicos del suelo, que se determinan a partir de las curvas granulométricas, estos parámetros son (Braja M, 2016, p. 12):

- Diámetro Efectivo
- Coeficiente de uniformidad

- Coeficiente de curvatura

El diámetro en la curva de distribución del tamaño de las partículas correspondiente al 10% de finos se define como diámetro efectivo.

El coeficiente de uniformidad está dado por la relación:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Donde:

Cu= Coeficiente de uniformidad

D60= Diámetro correspondiente al 60% de finos en la curva de distribución granulométrica.

D10= Diámetro correspondiente al 10% de finos en la curva de distribución granulométrica.

El coeficiente de curvatura se expresa como:

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}}$$

Donde:

Cc= Coeficiente de curvatura

D60= Diámetro correspondiente al 60% de finos en la curva de distribución granulométrica.

D10= Diámetro correspondiente al 10% de finos en la curva de distribución granulométrica.

D30= Diámetro correspondiente al 30% de finos en la curva de distribución granulométrica.

3.6.2. Ensayo Granulométrico mediante el hidrómetro ASTM-422

EL objetivo del ensayo es determinar el porcentaje de partículas de suelo de diámetro inferior a 2 milímetros (limos, arcillas y coloides).

Equipos:

Hidrómetro 152H, Balanza de precisión, Agitador eléctrico, Cilindros graduados de capacidad de 1000ml, termómetro de precisión, cronometro, reloj, tamiz número 200, tamizador mecánico, Agua destilada, Frasco lavador, Agente defloculante (Hexametafosfato de sodio al 4%), escalímetro de precisión, horno, utensilios de uso general.

El hidrómetro debe estar calibrado para lo cual existe un procedimiento:

- 1 Determinación del volumen del bulbo del hidrómetro.
2. Determinación del área del cilindro.

3. Medir la distancia desde el cuello del bulbo hasta la punta inferior del bulbo, esta distancia se denomina h.

4 Calcular la distancia efectiva (L) para cada una de las marcas de longitud aparente (R) mediante la siguiente ecuación:

$$L = R + \frac{h}{2} - \frac{Vb}{2a}$$

5. Corrección por menisco (Cm): para esta corrección se mide la diferencia entre las dos mediciones del densímetro ocasionado por el efecto de tensión superficial del agua.

6. Corrección por Temperatura (Ct): esta corrección es necesaria debido a que la temperatura afecta a la viscosidad y densidad del agua y el volumen del hidrómetro.

7. Corrección por defloculante (Cd): esta corrección se debe a la alteración de la densidad del agua sin defloculante.

Procedimiento del Ensayo:

La muestra debe pasar el tamiz número 200 (0.074 mm). A continuación, en una balanza se pesan 50 gramos de arcilla, se agrega 200 ml de agua destilada con 125 ml del agente defloculante (agente dispersador de los grupos) y se satura por un periodo de al menos 18 horas.

Pasado el tiempo de saturación se remueve la muestra y se transfiere al vaso de agitación, lavando los residuos con agua oxigenada se agita por un lapso de entre 5 a 10 minutos.

Se rellena el cilindro con agua destilada hasta completar 900 ml, se procede a homogenizar el contenido del cilindro batiendo en un periodo de un minuto.

Se rellena con agua destilada el cilindro hasta la medida de 1000ml.

Inmediatamente se coloca en marcha el cronometro y se sumerge el hidrómetro hasta a flotar.

Se toma lecturas del hidrómetro a 1 y 2 minutos, luego se toma la lectura de la temperatura del ensayo.

Se reinicia el test para ahora tomar lecturas entre: 5 a 30 minutos, 1 a 24 horas donde el hidrómetro se sumerge en suspensión.

Posteriormente se realiza el análisis de las correcciones tomando en cuenta Cm, Cd, Ct para correlacionar con las ecuaciones de stock la distancia con el diámetro de sedimentación.

3.6.3. Ensayos de límite líquido, plástico e Índice de plasticidad ASTM 4318

El límite plástico se determina presionando alternativamente juntos y rodar en un cilindro de 3.2 mm (1/8 pulg.) de diámetro una pequeña porción de suelo de plástico hasta que el contenido de agua se reduce a un punto en el que el hilo se desmorona y no puede ya ser presionado y laminados de nuevo. El índice de plasticidad se calcula como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

Equipos:

Dispositivo de límite líquido, Herramienta de ranurado, Calibre, recipiente contenedor de agua, Balanza de precisión, Mezcla y almacenamiento de contenedores, Placa de vidrio para suelo, Espátula, Tamiz, Botellas de agua, Horno de secado.

Procedimiento Límite Líquido:

1. Mezclar la muestra de 100g de material con agua y lo colocamos en una copa de casa grande.
2. Batir con una espátula hasta que se homogénea la muestra.
3. Colocar agua de 1ml a 3ml sucesivamente hasta obtener una pasta. Dejar reposar por unas horas.
4. Usar una espátula y colocar una parte de la mezcla preparada al recipiente del límite líquido.
5. En forma de palmaditas con la espátula deslizar el material hasta que tenga plana la superficie de la muestra.
6. Con la espátula realizar una ranura por la mitad y con el acanalador cortar la muestra.
7. Verificar el calibrado del equipo de casa grande, luego se comienza a dar los golpes, hasta que cierre la ranura, con un aproximado de 25 a 35 golpes hasta cerrar la ranura.

Procedimiento límite plástico:

1. Seleccionar una porción de 1,5 g a 2.0. Formar con la parte seleccionada una masa elipsoidal.
2. Para la preparación de la muestra se utilizó un método manual el mismo que consistió en enrollar la masa con la palma de la mano o los dedos en la placa de vidrio haciendo la suficiente presión para rodar la masa en un hilo de diámetro mismo que sea uniforme en toda su longitud.
3. Recoger las porciones del hilo que se desmoronaron y colóquelos en un recipiente con un peso conocido, cubrir inmediatamente el recipiente.
4. En el caso de que se requiera repetir el ensayo utilizar los pasos del 1 al 5 utilizando como mínimo 6 g de material.

3.7. Ensayos de cuantificación y cualificación química

3.7.1. Ensayo de Análisis SEM

Mediante el análisis del microscopio electrónico de barrido se obtiene imágenes de alta definición con tecnología electrónica que imprimen fotografías microscópicas de las muestras analizadas, las muestras analizadas fueron:

LAMP-003 de la formación Mera

LAMP-011 de la formación Tena

La elección de las muestras se basa en el criterio del índice de plasticidad, eligiendo las muestras con el rango de plasticidad más alto para cada formación.

Con las imágenes se puede identificar las estructuras características propias de cada tipo de arcilla facilitando su categorización, a esto se le suma el análisis de refracción de rayos x que permiten identificar los componentes químicos expresados en el porcentaje de átomos presentes.

Los ensayos se procesaron en el software JOEL EDS System.

3.7.2. Ensayo de análisis de fluorescencia de rayos X

Mediante el análisis de Fluorescencia de rayos x se puede contrastar los resultados del análisis mediante el microscopio electrónico de barrido (SEM). El análisis químico de las muestras se determinó en el equipo de Fluorescencia de rayos X S8 Tiger, con el programa Spectra Pluss.

Las muestras fueron analizadas mediante pastillas prensadas utilizando el método QuantExpress.

Los resultados se presentan como óxidos mediante cálculo estequiométrico a partir del análisis elemental.

El equipo de FRX lee los elementos de la tabla periódica presentes en las muestras desde el sodio hasta el uranio.

Las muestras analizadas fueron:

LAPM-003 de la formación Mera.

LAMP-011 de la formación Tena.

3.8. Ensayo de resistencia y capacidad de absorción de un ladrillo de arcilla

3.8.1. Ensayo de absorción del ladrillo NTE INEN 296

El ensayo de absorción se basa en determinar la diferencia en la calidad de las muestras de ladrillo antes y después de la inmersión en agua para determinar al valor de absorción de humedad hasta que el cambio de masa fuera constante.

Los equipos utilizados son:

Balanza, Horno, Agua, Recipientes de laboratorio.

La muestra de ladrillos para un lote de producción de hasta 35000 piezas es de 5 unidades según el INEN NTE 292 (Marín, 2022, p. 54).

Antes que nada, se secaron los ladrillos hasta obtener una masa constante, para que al ser pesada cada pieza de ladrillo no difiera en valor más del 0.1%. Luego, las muestras de ladrillos se sumergieron en agua a una temperatura de 15 °C a 30 °C durante 24 horas. Finalizado el tiempo, los ladrillos se sacaron del agua y se dejaron secar durante 5 minutos, posteriormente se secaron con una toalla las superficies y se procedieron a pesaron al instante.

El porcentaje de absorción se calcula según la siguiente fórmula:

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

Donde:

P1 = masa de la muestra desecada

P2 = masa de la muestra después de 24 horas sumergida en agua

El promedio de los porcentajes de absorción de las cinco muestras representa el porcentaje total de absorción de humedad del lote de ladrillos inspeccionados.

3.8.2. Ensayo de esfuerzo a compresión simple

Según la norma técnica NTE INEN 294, el ensayo de fuerza de compresión se puede realizar en cualquier máquina de compresión que disponga de placas con rótulas de segmentos esféricos, siempre que la superficie de contacto del rodamiento sea similar o superior que la de la muestra prueba (Marín, 2022, p. 55).

Se usaron 5 piezas enteras y sin defectos visuales las cuales se dividieron en dos partes con caras planas y paralelas, con una sierra manual se realizó el corte teniendo como resultado probetas de 0.15 metros y 0.15 metros de superficie a la cual se atribuirá la fuerza uniaxial.

En el laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Pavimentos del Consejo Provincial de Morona Santiago, se realizaron pruebas de resistencias a la compresión de los ladrillos fabricados, bajo la guía y supervisión de los responsables del laboratorio, para el cual se realizó el siguiente procedimiento:

- La probeta se colocó en la placa de la máquina, garantizando de que la probeta este centrada contra la rótula y que la carga sea aplicada correctamente.
- La normativa establece que se puede aplicar fuerza a cualquier velocidad durante un mínimo de 1 minuto y un máximo de 2 minutos, este proceso se muestra en el Anexo H.

La resistencia a la compresión se calcula según la siguiente ecuación:

$$C = \frac{P}{A}$$

Donde:

C = La resistencia a la compresión o presión medida de MegaPascales.

P = La carga de rotura o fuerza aplicada sobre la probeta en Newtons.

A = Área de la sección sobre la que se aplica la fuerza en metros cuadrados.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Ensayos de parámetros físicos

Mediante un análisis granulométrico mixto se determinó la curva granulométrica de las 15 muestras de estudio, clasificando al material en granulometría gruesa superior a la malla 230 mediante el método del cribado mientras que la fracción fina se determinó mediante el análisis del hidrómetro.

Los ensayos de límites de Atterberg se realizaron mediante la metodología de Casa Blanca bajo la norma ASTM-4318. Con las valoraciones de curva granulométrica y límites de Atterberg fue posible obtener una clasificación de suelo para cada muestra según los parámetros SUCS.

4.1.1. Muestra LAPM-001

La muestra LAPM-001 presenta la siguiente distribución granulométrica:

Tabla 4-1: Granulometría Muestra LAPM-001.

Abertura (mm)	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
2	24,35	11,953	11,953	88,047
1	39,98	19,625	31,578	68,422
0,355	54,71	26,855	58,433	41,567
0,25	15,15	7,437	65,870	34,130
0,18	9,64	4,732	70,602	29,398
0,063	9,89	4,855	75,457	24,543
0,051	22,77	11,177	86,634	13,366
0,036	0,56	0,273	86,907	13,093
0,023	0,53	0,258	87,165	12,835
0,014	5,26	2,582	89,747	10,253
0,010	4,21	2,066	91,813	8,187
0,007	3,16	1,549	93,362	6,638
0,005	3,10	1,520	94,882	5,118
0,004	3,22	1,579	96,461	3,539
0,002	3,49	1,713	98,173	1,827
Masa total	203,72			

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

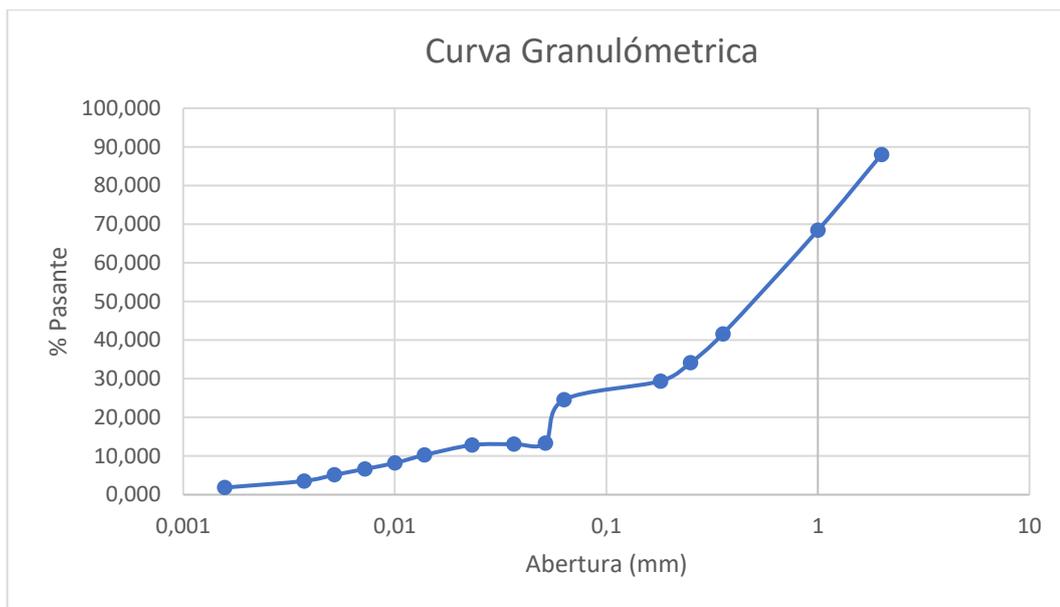


Ilustración 4-1: Curva Granulométrica muestra LAPM-001.

Realizado por: Loja, A. & Papue, M, 2023.

Tabla 4-2: Coeficientes de uniformidad y curvatura.

Coeficiente	Valor
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	59,8
Coeficiente de Curvatura (Cc)	3,4

Realizado por: Loja, A. & Papue, M, 2023.

En cuanto a límites de Atterberg se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4-3: Límites de Atterberg muestra LAPM-001.

HUMEDAD NATURAL SATURADA (ASTM D2216)						
N°	N°	PESO	PESO	PESO	%	%
TARRO	GOLPES	HÚMEDO	SECO	TARRO	DE HUMEDAD	PROMEDIO
21		135,80	76,60	28,20	122,31	
22		131,60	73,80	27,93	126,01	124,16
LIMITE LIQUIDO (ASTM D4318)						
NO LIQUIDO						
LIMITE PLÁSTICO (ASTM D4318)						
NO PLÁSTICO						

Realizado por: Loja, A. & Papue, M, 2023.

En función a los datos obtenidos se determina la muestra LAPM-001 como un suelo de categoría SC según la clasificación de suelos SUCS, arena arcillosa de baja plasticidad, esto se debe a que

es un suelo grueso donde el porcentaje de finos menores a 0.074 mm pasantes es de 25 %, es un suelo no uniforme, mal graduado en el cual la fracción fina no presentó plasticidad.

4.1.2. Muestra LAPM-002

La muestra LAPM-002 presenta la siguiente distribución granulométrica:

Tabla 4-4: Granulometría Muestra LAPM-002.

Abertura (mm)	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
2	33,56	20,720	20,720	79,280
1	11,93	7,366	28,085	71,915
0,355	34,35	21,208	49,293	50,707
0,25	10,52	6,495	55,788	44,212
0,18	6,49	4,007	59,795	40,205
0,063	15,12	9,335	69,130	30,870
0,0517	23,82	14,708	83,838	16,162
0,0368	1,08	0,668	84,506	15,494
0,0233	1,05	0,648	85,155	14,845
0,0138	3,16	1,950	87,104	12,896
0,0099	3,16	1,949	89,053	10,947
0,0072	4,21	2,598	91,651	8,349
0,0052	3,13	1,930	93,581	6,419
0,0037	3,19	1,967	95,548	4,452
0,0016	3,49	2,154	97,702	2,298
Masa total	161,97			

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

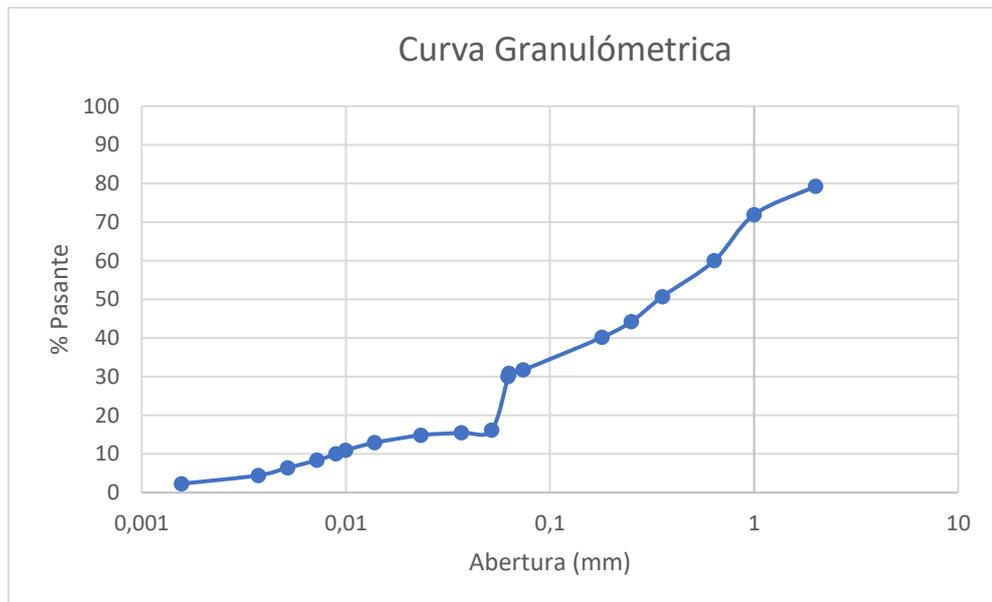


Ilustración 4-2: Curva Granulométrica muestra LAPM-002.

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

Tabla 4-5: Coeficientes de uniformidad y curvatura

Coeficiente	Valor
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	71,3
Coeficiente de Curvatura (Cc)	0,68

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

En cuanto a límites de Atterberg se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4-6: Límites de Atterberg muestra LAPM-002.

HUMEDAD NATURAL SATURADA (ASTM D2216)						
N°	N°	PESO	PESO	PESO	%	%
TARRO	GOLPES	HÚMEDO	SECO	TARRO	DE HUMEDAD	PROMEDIO
23		137,20	78,00	27,52	117,27	
24		141,40	81,40	29,13	114,79	116,03
LIMITE LIQUIDO (ASTM D4318)						
NO LIQUIDO						
LIMITE PLÁSTICO (ASTM D4318)						
NO PLÁSTICO						

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

En función a los datos obtenidos se determina la muestra LAPM-002 como un suelo de categoría SC según la clasificación de suelos SUCS, arena arcillosa de baja plasticidad, esto se debe a que es un suelo grueso donde el porcentaje de finos menores a 0.074 mm pasantes es de 31.74 %, es un suelo no uniforme, bien graduado en el cual la fracción fina no presentó plasticidad.

4.1.3. Muestra LAPM-003

La muestra LAPM-003 presenta la siguiente distribución granulométrica:

Tabla 4-7: Granulometría Muestra LAPM-003.

Abertura (mm)	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
2	37,67	16,423	16,423	83,577
1	39,00	17,003	33,426	66,574
0,355	35,08	15,294	48,720	51,280
0,25	10,94	4,770	53,490	46,510
0,18	7,69	3,353	56,843	43,157
0,063	42,39	18,481	75,324	24,676
0,0489	17,583	7,666	82,990	17,010
0,0351	2,341	1,021	84,010	15,990
0,0238	11,211	4,888	88,898	11,102
0,0137	1,126	0,491	89,389	10,611
0,0097	0,028	0,012	89,402	10,598
0,0069	0,561	0,245	89,646	10,354
0,0048	1,119	0,488	90,134	9,866
0,0035	3,563	1,553	91,687	8,313
0,0015	4,211	1,836	93,524	6,476

< 0,0015	14,855	6,476	100,000	0,000
Masa total	229,37			

Realizado por: Loja, A. & Papue, M, 2023.

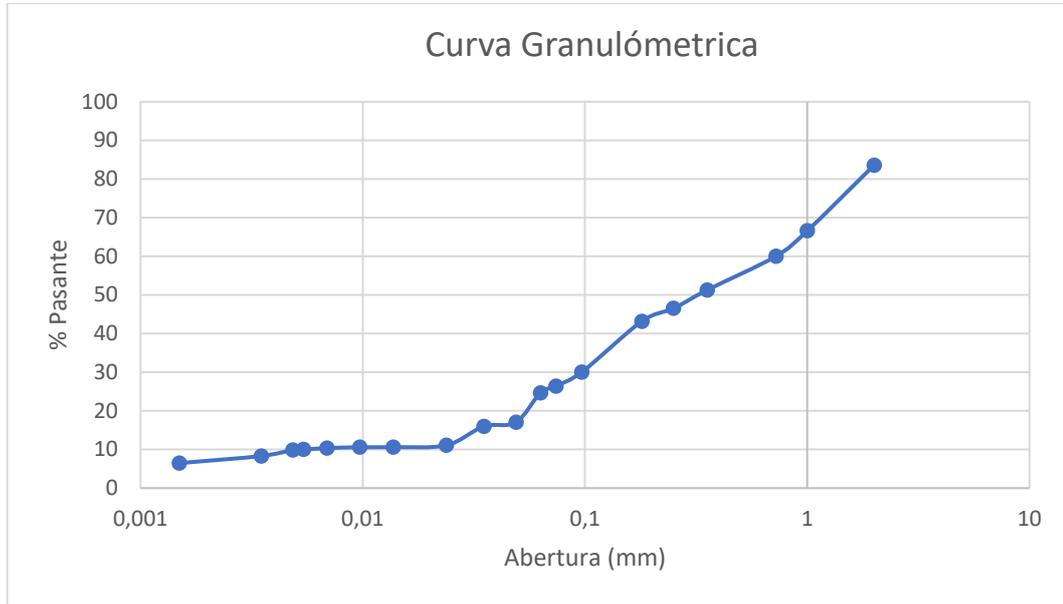


Ilustración 4-3: Curva Granulométrica muestra LAPM-003

Realizado por: Loja, A. & Papue, M, 2023.

Tabla 4-8: Coeficientes de uniformidad y curvatura

Coeficiente	Valor
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	133,57664
Coeficiente de Curvatura (Cc)	2,39120348

Realizado por: Loja, A. & Papue, M, 2023.

En cuanto a límites de Atterberg se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4-9: Límites de Atterberg muestra LAPM-003.

HUMEDAD NATURAL SATURADA (ASTM D2216)						
N°	N°	PESO	PESO	PESO	%	%
TARRO	GOLPES	HÚMEDO	SECO	TARRO	DE HUMEDAD	PROMEDIO
29		136,40	109,00	26,61	33,26	
30		148,00	118,00	27,03	32,98	33,12
LIMITE LIQUIDO (ASTM D4318)						
34	33	53,40	46,00	28,86	43,17	47,18
35	27	48,20	41,20	26,44	47,43	
36	18	48,80	41,80	28,06	50,95	
LIMITE PLÁSTICO (ASTM D4318)						
26		16,80	16,40	13,51	13,84	18,20
36		17,00	16,40	13,74	22,56	

Realizado por: Loja, A. & Papue, M, 2023.

Tabla 4-10: Índice de Plasticidad LAPM-003.

CLASIFICACIÓN:		
HUMEDAD NATURAL:	33,12	%
LIMITE LIQUIDO:	47,18	%
LIMITE PLÁSTICO:	18,20	-
ÍNDICE PLÁSTICO:	28,98	-

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

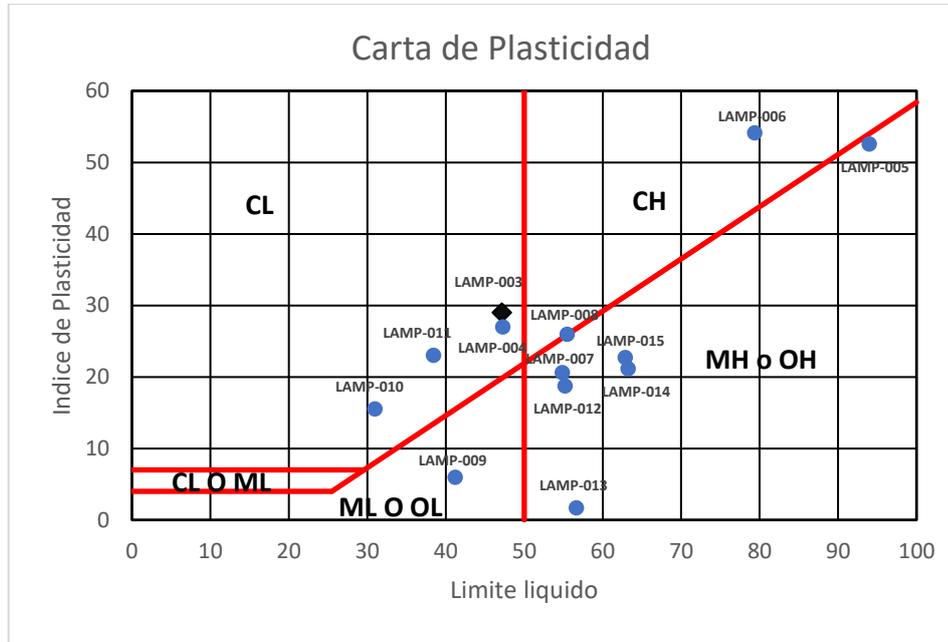


Ilustración 4-4: Carta de Plasticidad LAPM-003.

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

En función a los datos obtenidos se determina la muestra LAPM-003 como un suelo de categoría SC según la clasificación de suelos SUCS, arena arcillosa de baja plasticidad, esto se debe a que es un suelo grueso donde el porcentaje de finos menores a 0.074 mm pasantes es de 26.41 %, es un suelo no uniforme, bien graduado en el cual la fracción se clasifica en la carta de plasticidad como CL Arcilla de baja plasticidad.

4.1.4. Muestra LAPM-004

La muestra LAPM-004 presenta la siguiente distribución granulométrica:

Tabla 4-11: Granulometría Muestra LAPM-004.

Abertura (mm)	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
2	46.67	17.256	17.256	82.744
1	45.74	16.912	34.168	65.832
0.355	38.64	14.287	48.454	51.546
0.25	11.77	4.352	52.806	47.194
0.18	9.31	3.442	56.249	43.751

0.063	60.13	22.232	78.481	21.519
0.047602	19.45	7.19	85.67	14.33
0.033850	2.95	1.09	86.76	13.24
0.022610	9.50	3.51	90.28	9.72
0.013056	0.03	0.01	90.29	9.71
0.009292	1.19	0.44	90.73	9.27
0.006612	1.19	0.44	91.17	8.83
0.004704	1.16	0.43	91.60	8.40
0.003388	3.58	1.32	92.92	7.08
0.001449	4.23	1.56	94.49	5.51
< 0.00144	14.91	5.51	100.00	0.002
Masa total	270.46			

Realizado por: Loja, A. & Papue, M, 2023.

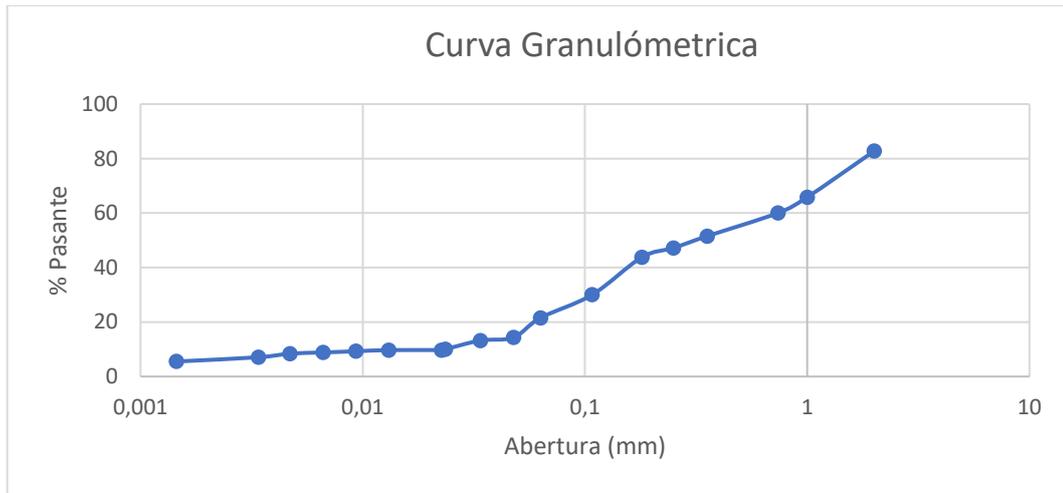


Ilustración 4-5: Curva Granulométrica muestra LAPM-004.

Realizado por: Loja, A. & Papue, M, 2023.

Tabla 4-12: Coeficientes de uniformidad y curvatura.

Coeficiente	Valor
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	31.35
Coeficiente de Curvatura (Cc)	0.67

Realizado por: Loja, A. & Papue, M, 2023.

En cuanto a límites de Atterberg se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4-13: Límites de Atterberg muestra LAPM-004.

HUMEDAD NATURAL SATURADA (ASTM D2216)						
N°	N°	PESO	PESO	PESO	%	%
TARRO	GOLPES	HÚMEDO	SECO	TARRO	DE HUMEDAD	PROMEDIO
31		165.40	132.40	27.23	31.38	
32		167.60	133.80	26.79	31.59	31.48
LIMITE LIQUIDO (ASTM D4318)						
21	36	48.80	42.60	28.20	43.06	47.29
22	27	50.40	43.00	27.93	49.10	
23	18	49.20	42.00	27.52	49.72	
LIMITE PLÁSTICO (ASTM D4318)						
23		16.80	16.60	13.59	6.64	20.33
25		17.20	16.20	13.26	34.01	

Realizado por: Loja, A. & Papue, M, 2023.

Tabla 4-14: Índice de Plasticidad LAPM-004.

CLASIFICACIÓN:		
HUMEDAD NATURAL:	31.48	%
LIMITE LIQUIDO:	47.29	%
LIMITE PLÁSTICO:	20.33	-
ÍNDICE PLÁSTICO:	26.96	-

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

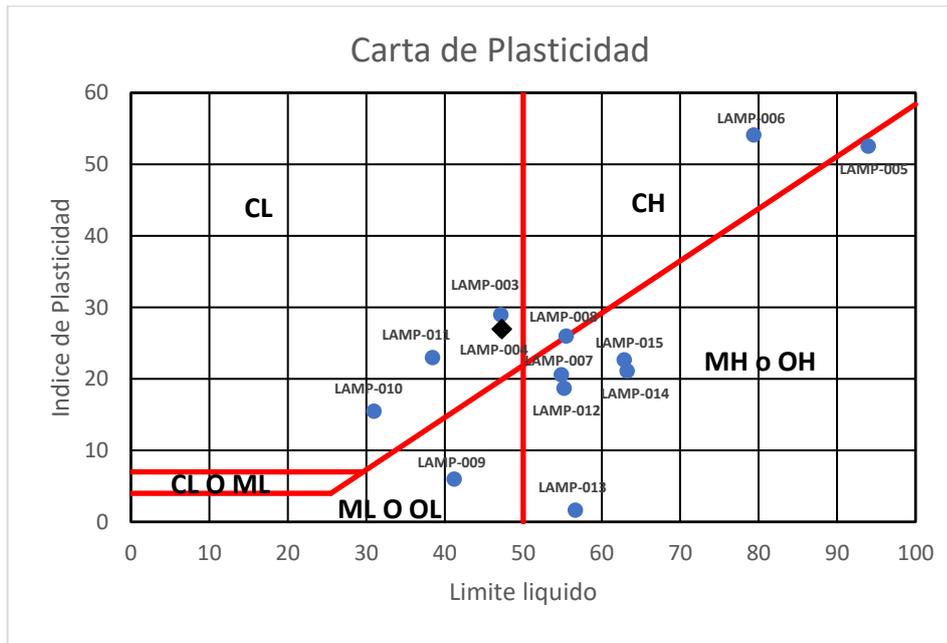


Ilustración 4-6: Carta de Plasticidad LAPM-004.

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

En función a los datos obtenidos se determina la muestra LAPM-004 como un suelo de categoría SC según la clasificación de suelos SUCS, arena arcillosa de baja plasticidad, esto se debe a que es un suelo grueso donde el porcentaje de finos menores a 0.074 mm pasantes es de 23.61 %, es un suelo no uniforme, bien graduado en el cual la fracción se clasifica en la carta de plasticidad como CL Arcilla de baja plasticidad.

4.1.5. Muestra LAPM-005

La muestra LAPM-005 presenta la siguiente distribución granulométrica:

Tabla 4-15: Granulometría Muestra LAPM-005.

Abertura (mm)	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
2	10.99	3.876	3.876	96.124
1	35.74	12.605	16.482	83.518
0.355	74.59	26.308	42.789	57.211
0.25	23.47	8.278	51.067	48.933
0.18	21.19	7.474	58.541	41.459
0.063	65.23	23.006	81.547	18.453
0.0461	7.41	2.613	84.160	15.840
0.0328	1.10	0.388	84.548	15.452
0.0209	1.13	0.399	84.948	15.052
0.0121	0.55	0.194	85.142	14.858
0.0087	1.65	0.582	85.724	14.276
0.0062	1.07	0.377	86.101	13.899
0.0044	1.07	0.377	86.479	13.521
0.0031	1.10	0.388	86.867	13.133
0.0013	2.49	0.877	87.744	12.256
< 0,0013	34.75	12.256	100.000	0.000
Masa total	283.53			

Realizado por: Loja, A. & Papue, M, 2023.

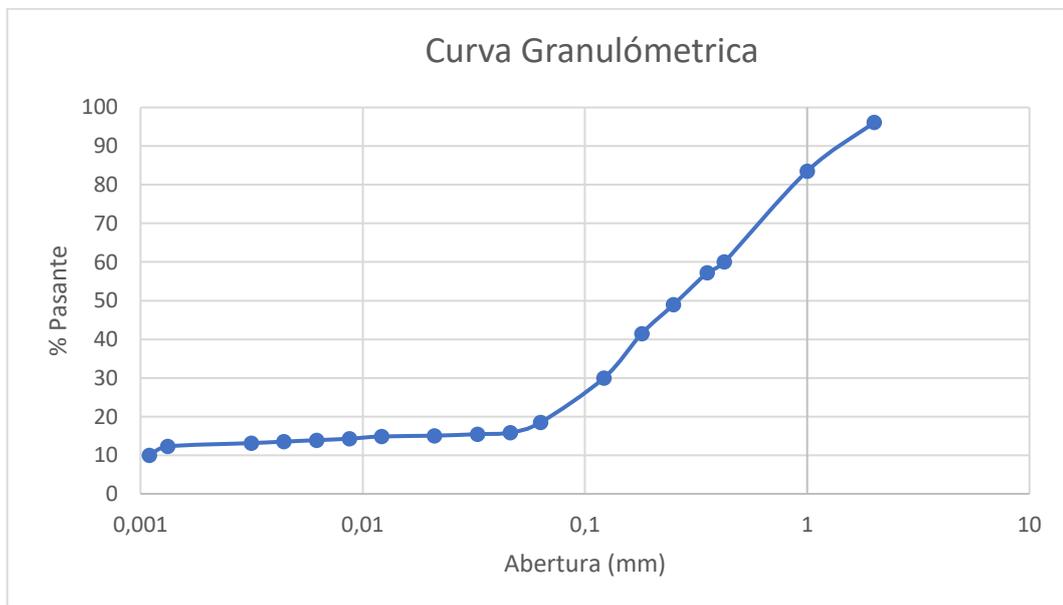


Ilustración 4-7: Curva Granulométrica muestra LAPM-005.

Realizado por: Loja, A. & Papue, M, 2023.

Tabla 4-16: Coeficientes de uniformidad y curvatura.

Coeficiente	Valor
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	386.383402
Coeficiente de Curvatura (Cc)	31.936955

Realizado por: Loja, A. & Papue, M, 2023.

En cuanto a límites de Atterberg se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4-17: Límites de Atterberg muestra LAPM-005.

HUMEDAD NATURAL SATURADA (ASTM D2216)						
N°	N°	PESO	PESO	PESO	%	%
TARRO	GOLPES	HÚMEDO	SECO	TARRO	DE HUMEDAD	PROMEDIO
39		132.40	94.60	27.66	56.47	55.86
40		134.60	96.80	28.38	55.25	
LIMITE LIQUIDO (ASTM D4318)						
24	32	49.40	39.80	29.13	89.97	93.99
29	25	45.60	36.40	26.61	93.97	
30	20	44.00	35.60	27.03	98.02	
LIMITE PLÁSTICO (ASTM D4318)						
31		13.40	12.60	10.66	41.24	41.45
32		16.20	15.40	13.48	41.67	

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

Tabla 4-18: Índice de Plasticidad LAPM-005.

CLASIFICACIÓN:		
HUMEDAD NATURAL:	55.86	%
LIMITE LIQUIDO:	93.99	%
LIMITE PLÁSTICO:	41.45	-
ÍNDICE PLÁSTICO:	52.54	-

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

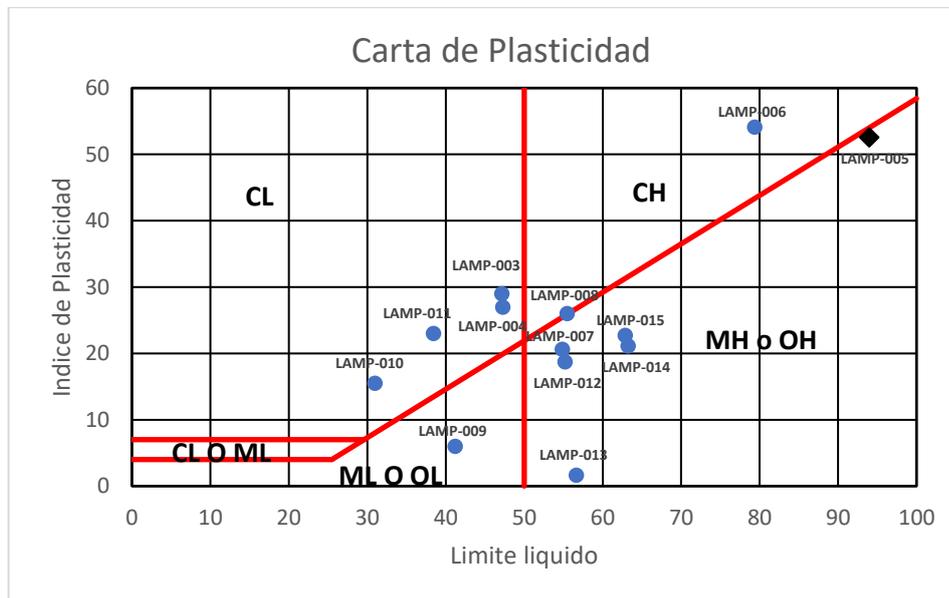


Ilustración 4-8: Carta de Plasticidad LAPM-005.

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

En función a los datos obtenidos se determina la muestra LAPM-005 como un suelo de categoría SM según la clasificación de suelos SUCS, arena limosa de alta plasticidad, esto se debe a que es un suelo grueso donde el porcentaje de finos menores a 0.074 mm pasantes es de 20.62 %, es un

suelo no uniforme, mal graduado en el cual la fracción se clasifica en la carta de plasticidad como MH Limo de alta plasticidad.

4.1.6. Muestra LAPM-006

La muestra LAPM-006 presenta la siguiente distribución granulométrica:

Tabla 4-19: Granulometría Muestra LAPM-006.

Abertura (mm)	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
2	16.03	5.847	5.847	94.153
1	29.51	10.764	16.611	83.389
0.355	66.19	24.143	40.754	59.246
0.25	22.49	8.203	48.957	51.043
0.18	20.03	7.306	56.263	43.737
0.063	62.46	22.782	79.045	20.955
0.0456	6.9	2.501	81.546	18.454
0.0328	2.4	0.882	82.428	17.572
0.0211	2.5	0.895	83.323	16.677
0.0122	0.6	0.233	83.556	16.444
0.0087	0.6	0.220	83.776	16.224
0.0062	1.2	0.428	84.204	15.796
0.0044	2.3	0.856	85.061	14.939
0.0032	1.2	0.454	85.514	14.486
0.0013	4.0	1.449	86.964	13.036
< 0,00133	35.7	13.036	100.000	0.000
Masa total	274.16			

Realizado por: Loja, A. & Papue, M, 2023.

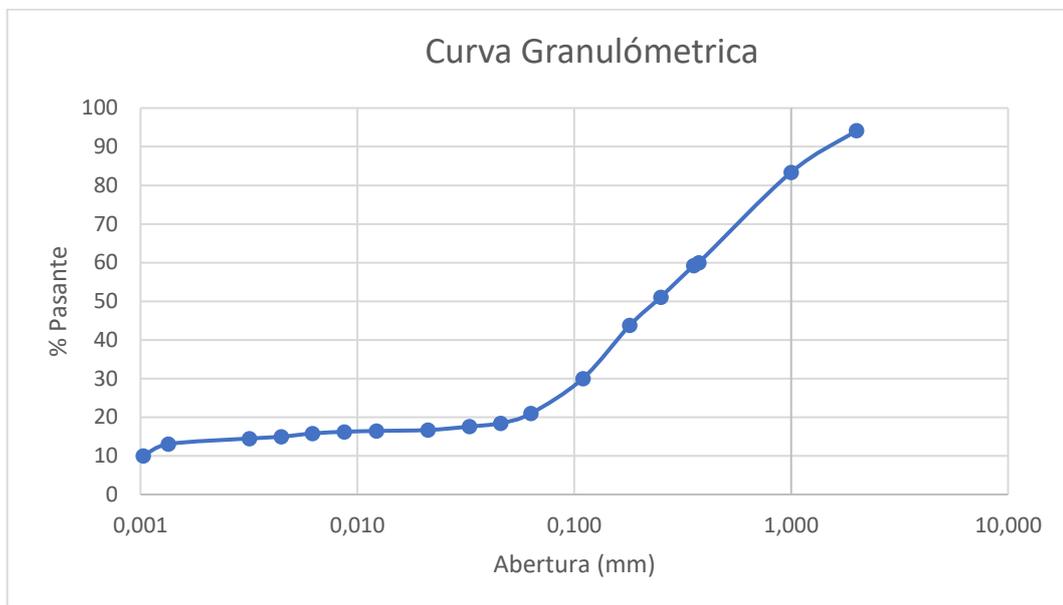


Ilustración 4-9: Curva Granulométrica muestra LAPM-006

Realizado por: Loja, A. & Papue, M, 2023.

Tabla 4-20: Coeficientes de uniformidad y curvatura.

Coeficiente	Valor
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	364.369318
Coeficiente de Curvatura (Cc)	31.0181958

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

En cuanto a límites de Atterberg se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4-21: Límites de Atterberg muestra LAPM-006.

HUMEDAD NATURAL SATURADA (ASTM D2216)						
N°	N°	PESO	PESO	PESO	%	%
TARRO	GOLPES	HÚMEDO	SECO	TARRO	DE HUMEDAD	PROMEDIO
41		137.60	99.40	26.64	52.50	
42		145.20	104.20	26.02	52.44	52.47
LIMITE LIQUIDO (ASTM D4318)						
26	33	49.20	40.00	28.03	76.86	
27	26	49.00	39.80	28.02	78.10	
28	18	47.40	38.80	28.46	83.17	79.38
LIMITE PLÁSTICO (ASTM D4318)						
37		17.40	16.60	13.50	25.81	
38		14.60	13.80	10.57	24.77	25.29

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

Tabla 4-22: Índice de Plasticidad LAPM-006.

CLASIFICACIÓN:		
HUMEDAD NATURAL:	52.47	%
LIMITE LIQUIDO:	79.38	%
LIMITE PLÁSTICO:	25.29	-
ÍNDICE PLÁSTICO:	54.09	-

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

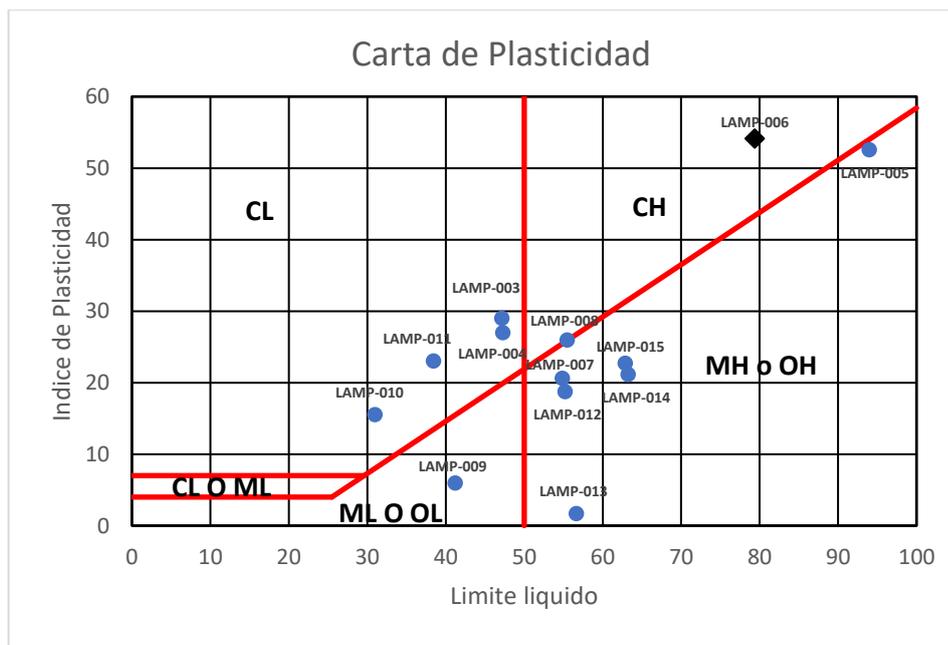


Ilustración 4-10: Carta de Plasticidad LAPM-006.

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

En función a los datos obtenidos se determina la muestra LAPM-006 como un suelo de categoría SC según la clasificación de suelos SUCS, arena arcillosa de alta plasticidad, esto se debe a que es un suelo grueso donde el porcentaje de finos menores a 0.074 mm pasantes es de 23.10 %, es un suelo no uniforme, mal graduado en el cual la fracción se clasifica en la carta de plasticidad como CH arcilla de alta plasticidad.

4.1.7. Muestra LAPM-007

La muestra LAPM-007 presenta la siguiente distribución granulométrica:

Tabla 4-23: Granulometría Muestra LAPM-007.

Abertura (mm)	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
2	90.31	21.272	21.272	78.728
1	65.12	15.339	36.611	63.389
0.355	60.47	14.244	50.855	49.145
0.25	19.64	4.626	55.481	44.519
0.18	19.26	4.537	60.018	39.982
0.063	115.84	27.286	87.304	12.696
0.0473	13.01	3.064	90.368	9.632
0.0340	2.27	0.534	90.903	9.097
0.0231	11.37	2.679	93.582	6.418
0.0133	0.34	0.080	93.662	6.338
0.0094	0.19	0.046	93.708	6.292
0.0067	0.57	0.133	93.841	6.159
0.0048	1.10	0.259	94.101	5.899
0.0034	2.27	0.534	94.635	5.365
0.0015	4.02	0.947	95.582	4.418
< 0,0015	18.76	4.418	100.000	0.000
Masa total	424.54			

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

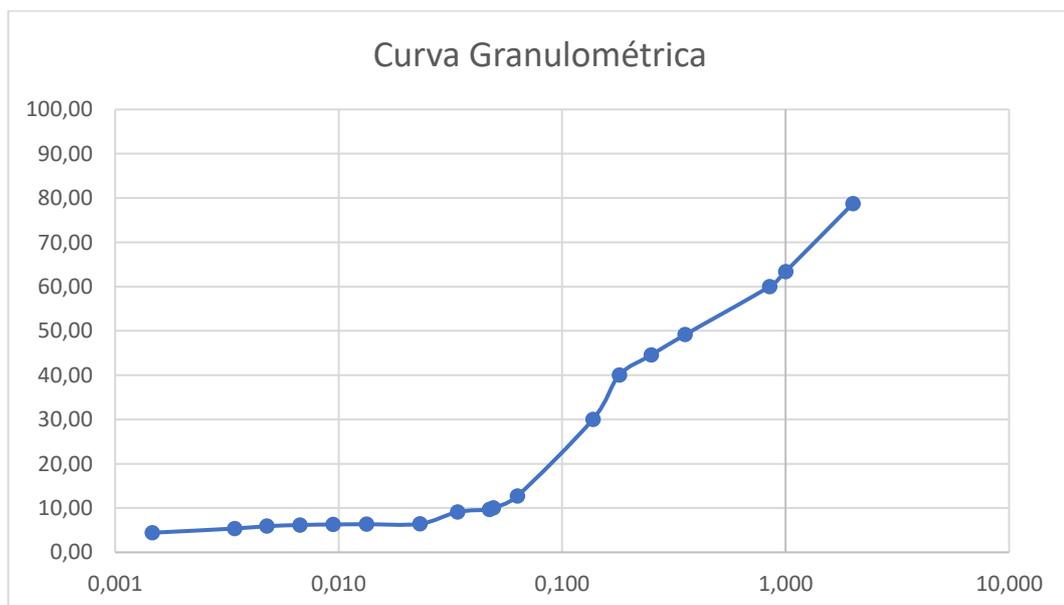


Ilustración 4-11: Curva Granulométrica muestra LAPM-007.

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

Tabla 4-24: Coeficientes de uniformidad y curvatura.

Coeficiente	Valor
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	17.2082408
Coeficiente de Curvatura (Cc)	0.45

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

En cuanto a límites de Atterberg se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4-25: Límites de Atterberg muestra LAPM-007.

HUMEDAD NATURAL SATURADA (ASTM D2216)						
N°	N°	PESO	PESO	PESO	%	%
TARRO	GOLPES	HÚMEDO	SECO	TARRO	DE HUMEDAD	PROMEDIO
43		179.80	138.80	27.09	36.70	36.53
44		186.60	144.60	29.09	36.36	
LIMITE LIQUIDO (ASTM D4318)						
37	32	50.20	42.40	27.39	51.97	54.89
38	25	50.60	42.40	27.58	55.33	
39	18	49.60	41.60	27.66	57.39	
LIMITE PLÁSTICO (ASTM D4318)						
26		17.00	16.00	13.51	40.16	34.32
27		17.00	16.20	13.39	28.47	

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

Tabla 4-26: Índice de Plasticidad LAPM-007.

CLASIFICACIÓN:		
HUMEDAD NATURAL:	36.53	%
LIMITE LIQUIDO:	54.89	%
LIMITE PLÁSTICO:	34.32	-
ÍNDICE PLÁSTICO:	20.58	-

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

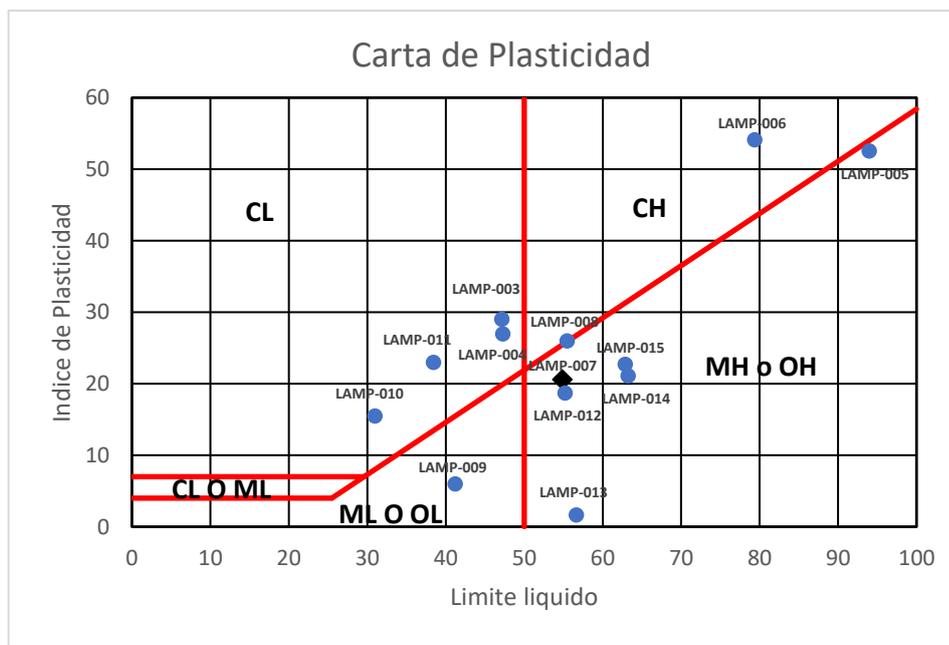


Ilustración 4-12: Carta de Plasticidad LAPM-007.

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

En función a los datos obtenidos se determina la muestra LAPM-007 como un suelo de categoría SM según la clasificación de suelos SUCS, arena limosa de alta plasticidad, esto se debe a que es un suelo grueso donde el porcentaje de finos menores a 0.074 mm pasantes es de 15.26 %, es un suelo no uniforme, bien graduado en el cual la fracción se clasifica en la carta de plasticidad como MH limo de alta plasticidad.

4.1.8. Muestra LAPM-008

La muestra LAPM-008 presenta la siguiente distribución granulométrica:

Tabla 4-27: Granulometría Muestra LAPM-008.

Abertura (mm)	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
2	42.48	15.364	15.364	84.636
1	45.96	16.623	31.987	68.013
0.355	44.14	15.964	47.951	52.049
0.25	13.22	4.781	52.732	47.268
0.18	10.18	3.682	56.414	43.586
0.063	68.35	24.721	81.135	18.865
0.0478	14.75	5.336	86.471	13.529
0.0348	4.39	1.588	88.059	11.941
0.0231	7.65	2.767	90.826	9.174
0.0134	0.52	0.187	91.013	8.987
0.0095	0.55	0.199	91.211	8.789
0.0068	1.07	0.386	91.597	8.403
0.0048	1.07	0.386	91.982	8.018
0.0034	2.26	0.817	92.799	7.201
0.0015	3.92	1.419	94.218	5.782
<0,0015	15.99	5.782	100.000	0.000
Masa total	276.49			

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

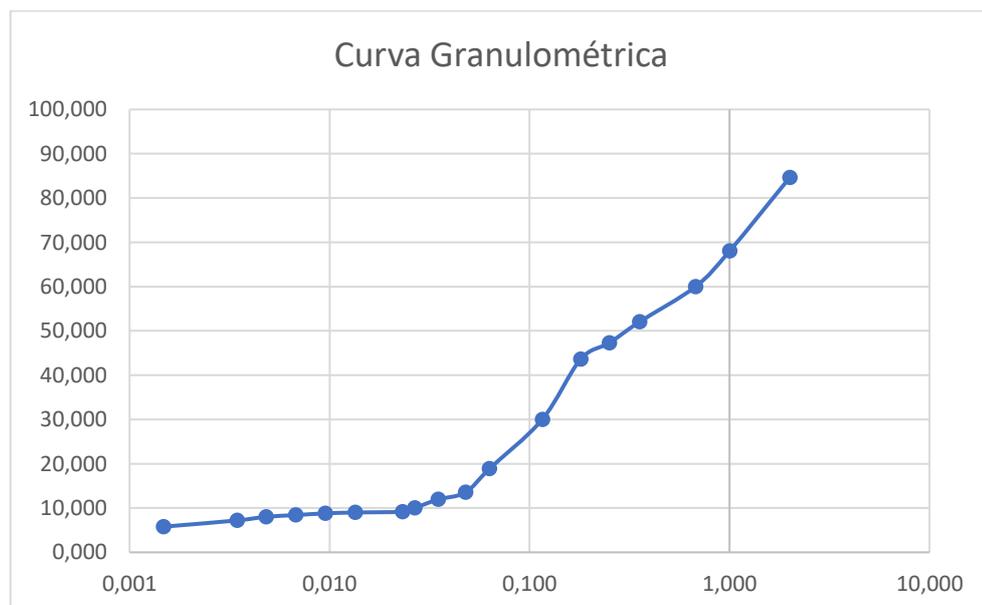


Ilustración 4-13: Curva Granulométrica muestra LAPM-008.

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

Tabla 4-28: Coeficientes de uniformidad y curvatura.

Coeficiente	Valor
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	25.3960593
Coeficiente de Curvatura (Cc)	0.74

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

En cuanto a límites de Atterberg se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4-29: Límites de Atterberg muestra LAPM-008.

HUMEDAD NATURAL SATURADA (ASTM D2216)						
N°	N°	PESO	PESO	PESO	%	%
TARRO	GOLPES	HÚMEDO	SECO	TARRO	DE HUMEDAD	PROMEDIO
37		176.80	138.00	27.39	35.08	34.90
38		189.00	147.40	27.58	34.72	
LIMITE LIQUIDO (ASTM D4318)						
40	31	50.20	42.60	28.38	53.45	55.48
41	24	48.20	40.60	26.64	54.44	
42	16	46.60	39.00	26.02	58.55	
LIMITE PLÁSTICO (ASTM D4318)						
21		13.40	12.60	10.31	34.93	29.52
22		16.60	16.00	13.51	24.10	

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

Tabla 4-30: Índice de Plasticidad LAPM-008.

CLASIFICACIÓN:		
HUMEDAD NATURAL:	34.90	%
LIMITE LIQUIDO:	55.48	%
LIMITE PLÁSTICO:	29.52	-
ÍNDICE PLÁSTICO:	25.96	-

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

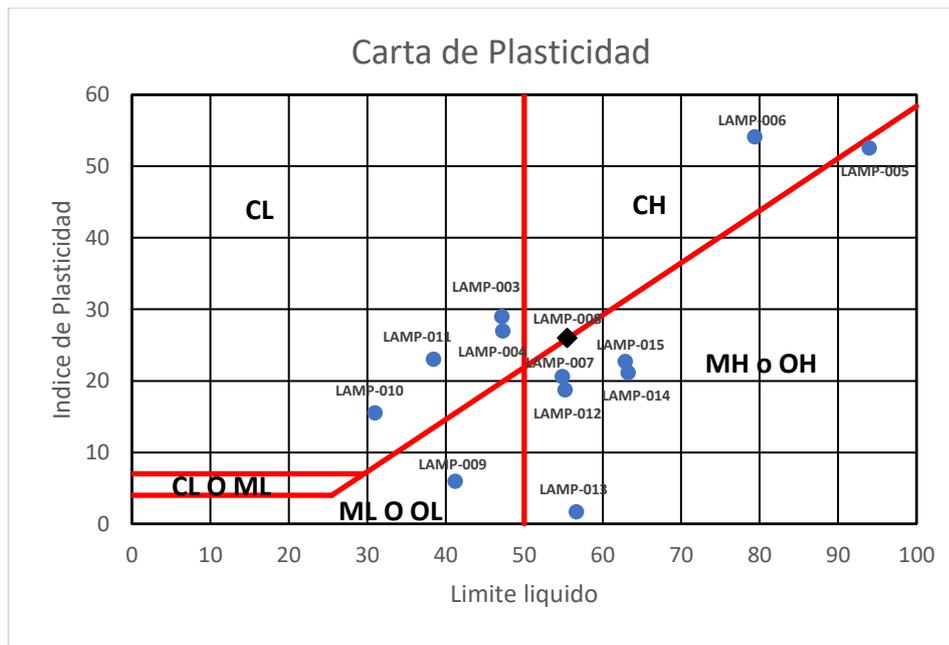


Ilustración 4-14: Carta de Plasticidad LAPM-008.

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

En función a los datos obtenidos se determina la muestra LAPM-008 como un suelo de categoría SC según la clasificación de suelos SUCS, arena arcillosa de alta plasticidad, esto se debe a que es un suelo grueso donde el porcentaje de finos menores a 0.074 mm pasantes es de 21.19 %, es un suelo no uniforme, bien graduado en el cual la fracción se clasifica en la carta de plasticidad como CH arcilla de alta plasticidad.

4.1.9. Muestra LAPM-009

La muestra LAPM-009 presenta la siguiente distribución granulométrica:

Tabla 4-31: Granulometría Muestra LAPM-009.

Abertura (mm)	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
2	104.80	22.740	22.740	77.260
1	69.88	15.163	37.903	62.097
0.355	55.76	12.099	50.002	49.998
0.25	17.93	3.891	53.893	46.107
0.18	18.92	4.105	57.998	42.002
0.063	133.84	29.041	87.039	12.961
0.0490	23.77	5.158	92.197	7.803
0.0352	2.51	0.544	92.742	7.258
0.0224	1.13	0.245	92.987	7.013
0.0130	1.20	0.261	93.247	6.753
0.0093	2.47	0.537	93.784	6.216
0.0067	2.44	0.529	94.313	5.687
0.0048	3.71	0.805	95.118	4.882
0.0034	2.54	0.552	95.670	4.330
0.0015	5.62	1.220	96.889	3.111
<0,0015	14.34	3.111	100.000	0.000
Masa total	460.86			

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

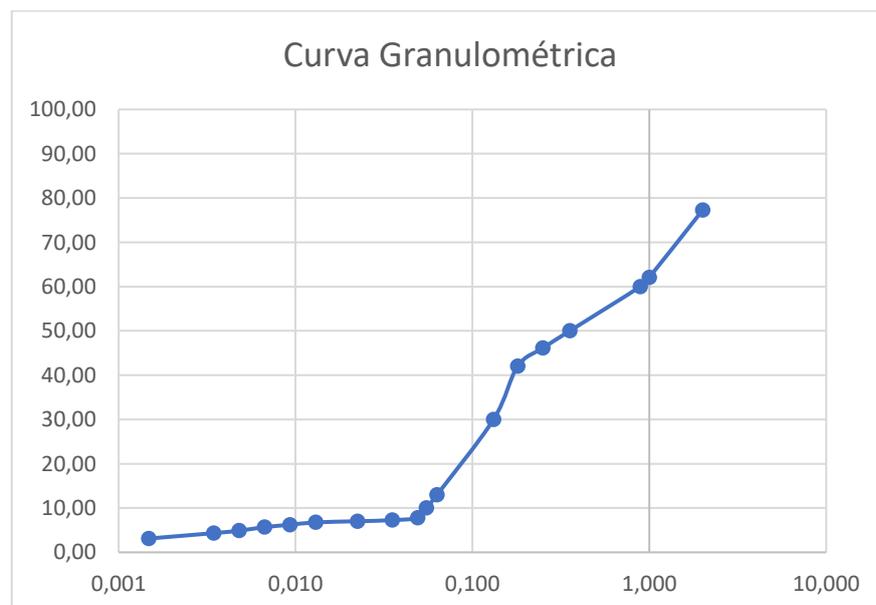


Ilustración 4-15: Curva Granulométrica muestra LAPM-009.

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

Tabla 4-32: Coeficientes de uniformidad y curvatura.

Coeficiente	Valor
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	16.1582712
Coeficiente de Curvatura (Cc)	0.35

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

En cuanto a límites de Atterberg se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4-33: Límites de Atterberg muestra LAPM-009.

HUMEDAD NATURAL SATURADA (ASTM D2216)						
N°	N°	PESO	PESO	PESO	%	%
TARRO	GOLPES	HÚMEDO	SECO	TARRO	DE HUMEDAD	PROMEDIO
23		178.60	145.60	27.52	27.95	28.39
24		186.40	151.20	29.13	28.84	
LIMITE LIQUIDO (ASTM D4318)						
21	34	48.60	42.80	28.20	39.73	41.21
22	25	51.80	45.00	27.93	39.84	
27	17	49.60	43.00	28.02	44.06	
LIMITE PLÁSTICO (ASTM D4318)						
34		17.80	16.80	13.85	33.90	35.26
35		17.40	16.40	13.67	36.63	

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

Tabla 4-34: Índice de Plasticidad LAPM-009.

CLASIFICACIÓN:		
HUMEDAD NATURAL:	28.39	%
LIMITE LIQUIDO:	41.21	%
LIMITE PLÁSTICO:	35.26	-
ÍNDICE PLÁSTICO:	5.94	-

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

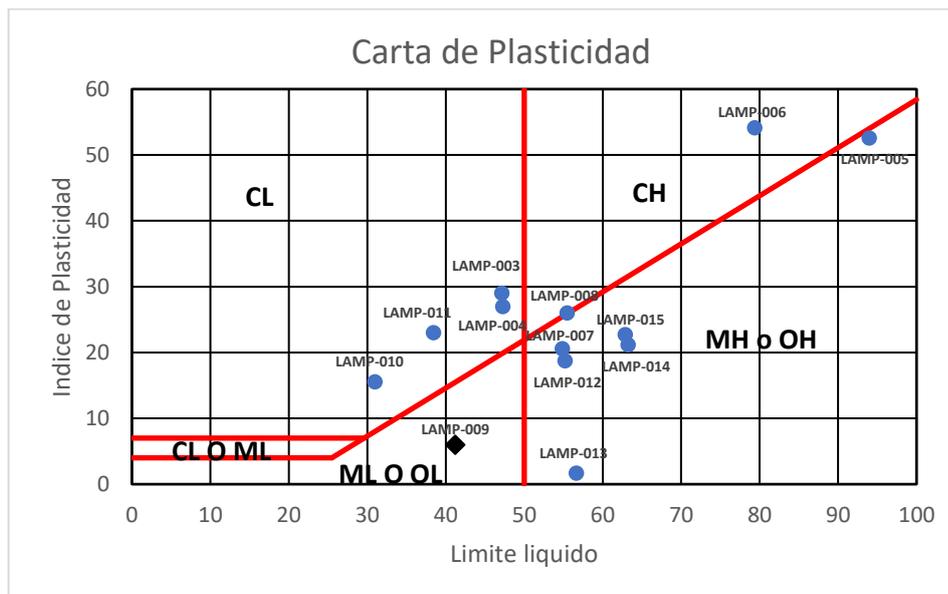


Ilustración 4-16: Carta de Plasticidad LAPM-009.

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

En función a los datos obtenidos se determina la muestra LAPM-009 como un suelo de categoría SM según la clasificación de suelos SUCS, arena limosa de baja plasticidad, esto se debe a que es un suelo grueso donde el porcentaje de finos menores a 0.074 mm pasantes es de 15.69 %, es un suelo no uniforme, bien graduado en el cual la fracción se clasifica en la carta de plasticidad como ML limo de baja plasticidad.

4.1.10. Muestra LAPM-010

La muestra LAPM-010 presenta la siguiente distribución granulométrica:

Tabla 4-35: Granulometría Muestra LAPM-010.

Abertura (mm)	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
2	63.86	14.112	14.112	85.888
1	50.37	11.131	25.243	74.757
0.355	39.53	8.736	33.979	66.021
0.25	19.74	4.362	38.341	61.659
0.18	30.65	6.773	45.114	54.886
0.063	172.23	38.060	83.174	16.826
0.050	28.26	6.245	89.419	10.581
0.036	3.23	0.714	90.133	9.867
0.023	3.09	0.684	90.817	9.183
0.013	1.55	0.342	91.159	8.841
0.009	1.55	0.342	91.501	8.499
0.007	1.55	0.342	91.843	8.157
0.005	1.55	0.342	92.185	7.815
0.003	1.68	0.372	92.557	7.443
0.0015	5.65	1.249	93.805	6.195
<0,0015	28.03	6.195	100.000	0.000
Masa total	452.52			

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

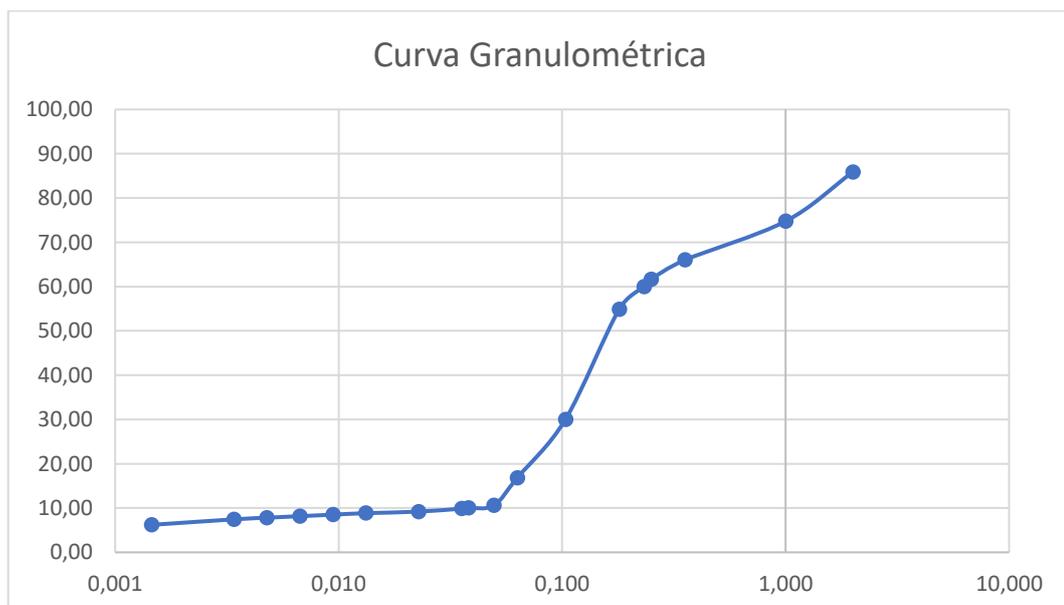


Ilustración 4-17: Curva Granulométrica muestra LAPM-010.

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

Tabla 4-36: Coeficientes de uniformidad y curvatura.

Coeficiente	Valor
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	6.10801309
Coeficiente de Curvatura (Cc)	1.21

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

En cuanto a límites de Atterberg se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4-37: Límites de Atterberg muestra LAPM-010.

HUMEDAD NATURAL SATURADA (ASTM D2216)						
N°	N°	PESO	PESO	PESO	%	%
TARRO	GOLPES	HÚMEDO	SECO	TARRO	DE HUMEDAD	PROMEDIO
25		179.60	149.80	28.38	24.54	
26		158.00	132.60	28.03	24.29	24.42
LIMITE LIQUIDO (ASTM D4318)						
34	36	57.00	50.80	28.86	28.26	
35	28	50.60	44.60	26.44	33.04	
36	20	51.40	45.80	28.06	31.57	30.96
LIMITE PLÁSTICO (ASTM D4318)						
23		18.00	17.40	13.59	15.75	
24		17.80	17.20	13.24	15.15	15.45

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

Tabla 4-38: Índice de Plasticidad LAPM-010.

CLASIFICACIÓN:		
HUMEDAD NATURAL:	24.42	%
LIMITE LIQUIDO:	30.96	%
LIMITE PLÁSTICO:	15.45	-
ÍNDICE PLÁSTICO:	15.51	-

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

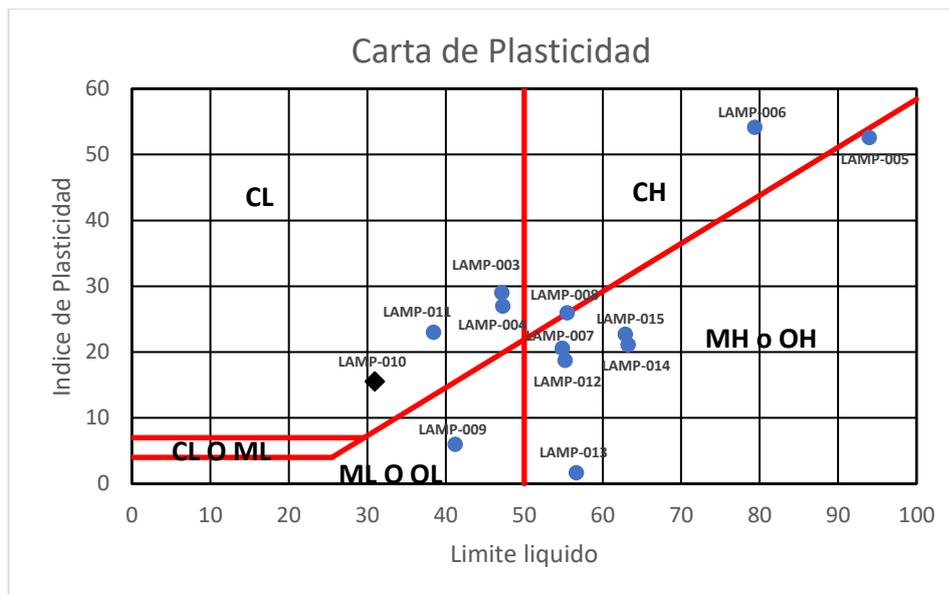


Ilustración 4-18: Carta de Plasticidad LAPM-010.

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

En función a los datos obtenidos se determina la muestra LAPM-010 como un suelo de categoría SC según la clasificación de suelos SUCS, arena arcillosa de baja plasticidad, esto se debe a que es un suelo grueso donde el porcentaje de finos menores a 0.074 mm pasantes es de 20.40 %, es un suelo no uniforme, bien graduado en el cual la fracción se clasifica en la carta de plasticidad como CL arcilla de baja plasticidad.

4.1.11. Muestra LAPM-011

La muestra LAPM-011 presenta la siguiente distribución granulométrica:

Tabla 4-39: Granulometría Muestra LAPM-011.

Abertura (mm)	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
2	45.66	9.800	9.800	90.200
1	65.13	13.979	23.779	76.221
0.355	115.30	24.747	48.527	51.473
0.25	55.92	12.002	60.529	39.471
0.18	45.13	9.686	70.215	29.785
0.063	86.32	18.527	88.742	11.258
0.0459	9.35	2.007	90.749	9.251
0.0326	0.55	0.118	90.868	9.132
0.0207	0.49	0.105	90.972	9.028
0.0120	1.07	0.230	91.202	8.798
0.0086	1.10	0.237	91.439	8.561
0.0061	1.07	0.230	91.669	8.331
0.0044	2.18	0.467	92.136	7.864
0.0031	1.17	0.250	92.387	7.613
0.0013	2.81	0.603	92.990	7.010
<0.0013	32.66	7.010	100.000	0.000
Masa total	465.91			

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

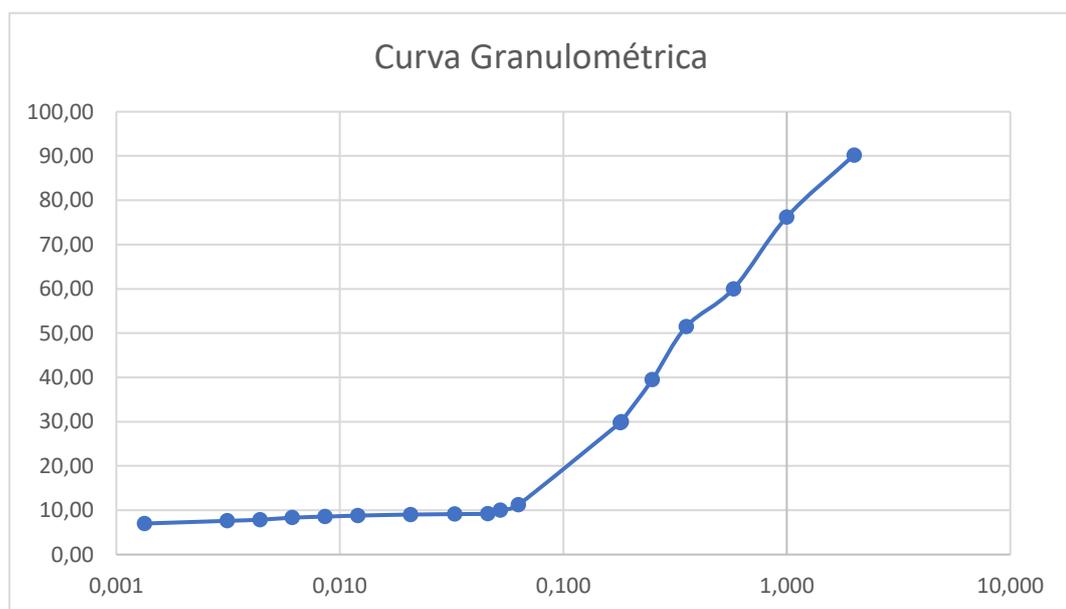


Ilustración 4-19: Curva Granulométrica muestra LAPM-011.

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

Tabla 4-40: Coeficientes de uniformidad y curvatura

Coeficiente	Valor
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	11.0359575
Coeficiente de Curvatura (Cc)	1.09

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

En cuanto a límites de Atterberg se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4-41: Límites de Atterberg muestra LAPM-011.

HUMEDAD NATURAL SATURADA (ASTM D2216)						
N°	N°	PESO	PESO	PESO	%	%
TARRO	GOLPES	HÚMEDO	SECO	TARRO	DE HUMEDAD	PROMEDIO
26		142.60	104.00	28.03	50.81	
27		156.40	114.80	28.02	47.94	49.37
LIMITE LIQUIDO (ASTM D4318)						
37	33	49.60	43.70	27.39	36.17	
38	27	50.20	44.40	27.58	34.48	
39	19	46.80	40.90	27.66	44.56	38.41
LIMITE PLÁSTICO (ASTM D4318)						
32		17.60	16.80	10.31	12.33	
33		18.00	17.30	13.51	18.47	15.40

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

Tabla 4-42: Índice de Plasticidad LAPM-011

CLASIFICACIÓN:		
HUMEDAD NATURAL:	49.37	%
LIMITE LIQUIDO:	38.41	%
LIMITE PLÁSTICO:	15.40	-
ÍNDICE PLÁSTICO:	23.01	-

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

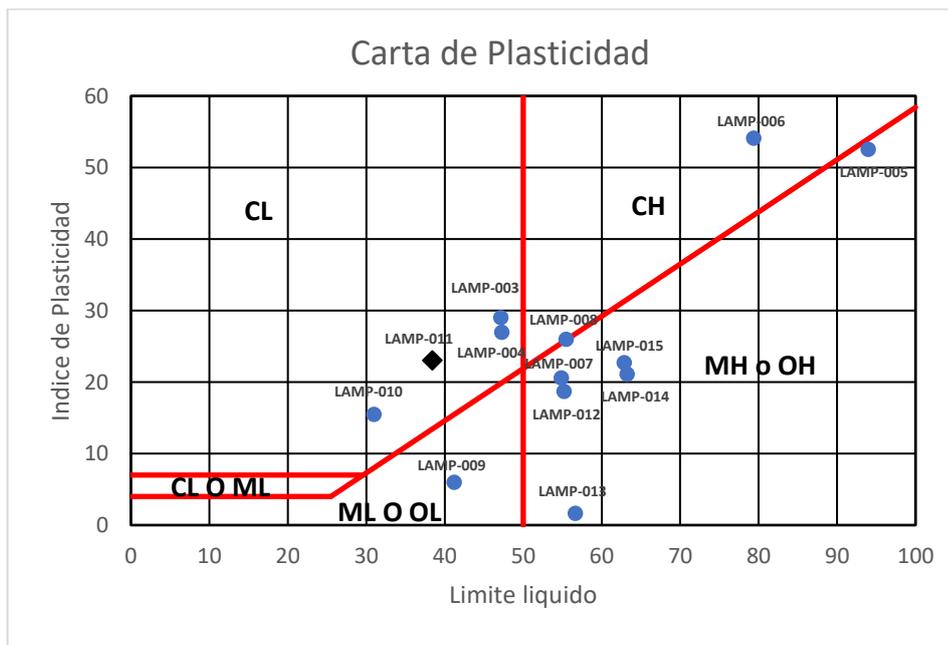


Ilustración 4-20: Carta de Plasticidad LAPM-011.

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

En función a los datos obtenidos se determina la muestra LAPM-011 como un suelo de categoría SC según la clasificación de suelos SUCS, arena arcillosa de baja plasticidad, esto se debe a que es un suelo grueso donde el porcentaje de finos menores a 0.074 mm pasantes es de 13.00 %, es un suelo no uniforme, bien graduado en el cual la fracción se clasifica en la carta de plasticidad como CL arcilla de baja plasticidad.

4.1.12. Muestra LAPM-012

La muestra LAPM-0012 presenta la siguiente distribución granulométrica:

Tabla 4-43: Granulometría Muestra LAPM-012.

Abertura (mm)	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
2	24.45	5.402	5.402	94.598
1	56.30	12.438	17.840	82.160
0.355	131.53	29.058	46.898	53.102
0.25	48.42	10.697	57.595	42.405
0.18	37.18	8.214	65.809	34.191
0.063	99.73	22.033	87.842	12.158
0.0458	7.63	1.685	89.527	10.473
0.0329	2.35	0.519	90.046	9.954
0.0222	9.30	2.054	92.100	7.900
0.0129	1.16	0.256	92.356	7.644
0.0092	1.16	0.256	92.612	7.388
0.0065	1.12	0.248	92.860	7.140
0.0047	2.25	0.497	93.357	6.643
0.0034	2.38	0.526	93.883	6.117
0.0014	3.87	0.856	94.739	5.261
<0.0014	23.81	5.261	100.000	0.000
Masa total	452.64			

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

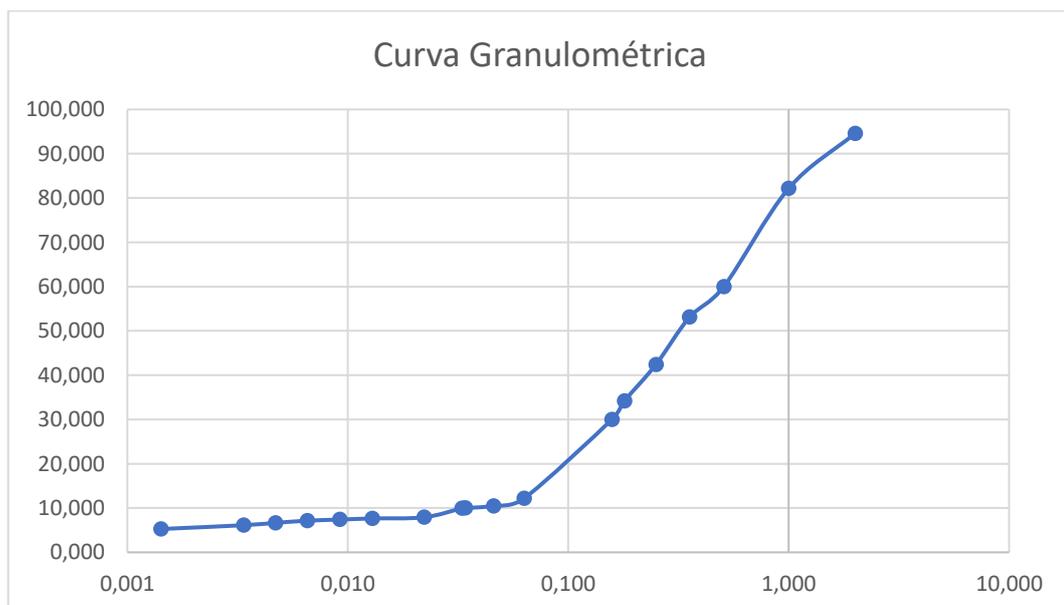


Ilustración 4-21: Curva Granulométrica muestra LAPM-012.

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

Tabla 4-44: Coeficientes de uniformidad y curvatura

Coeficiente	Valor
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	14.9180953
Coeficiente de Curvatura (Cc)	1.44

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

En cuanto a límites de Atterberg se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4-45: Límites de Atterberg muestra LAPM-012.

HUMEDAD NATURAL SATURADA (ASTM D2216)						
N°	N°	PESO	PESO	PESO	%	%
TARRO	GOLPES	HÚMEDO	SECO	TARRO	DE HUMEDAD	PROMEDIO
28		158.40	138.00	28.46	18.62	
29		150.40	147.40	26.61	2.48	10.55
LIMITE LIQUIDO (ASTM D4318)						
26	33	51.80	43.60	28.03	52.67	
27	26	51.00	42.80	28.02	55.48	
28	18	50.40	42.40	28.46	57.39	55.18
LIMITE PLÁSTICO (ASTM D4318)						
26		17.40	16.40	13.51	34.60	
27		17.00	16.00	13.39	38.31	36.46

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

Tabla 4-46: Índice de Plasticidad LAPM-012

CLASIFICACIÓN:		
HUMEDAD NATURAL:	10.55	%
LIMITE LIQUIDO:	55.18	%
LIMITE PLÁSTICO:	36.46	
ÍNDICE PLÁSTICO:	18.72	

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

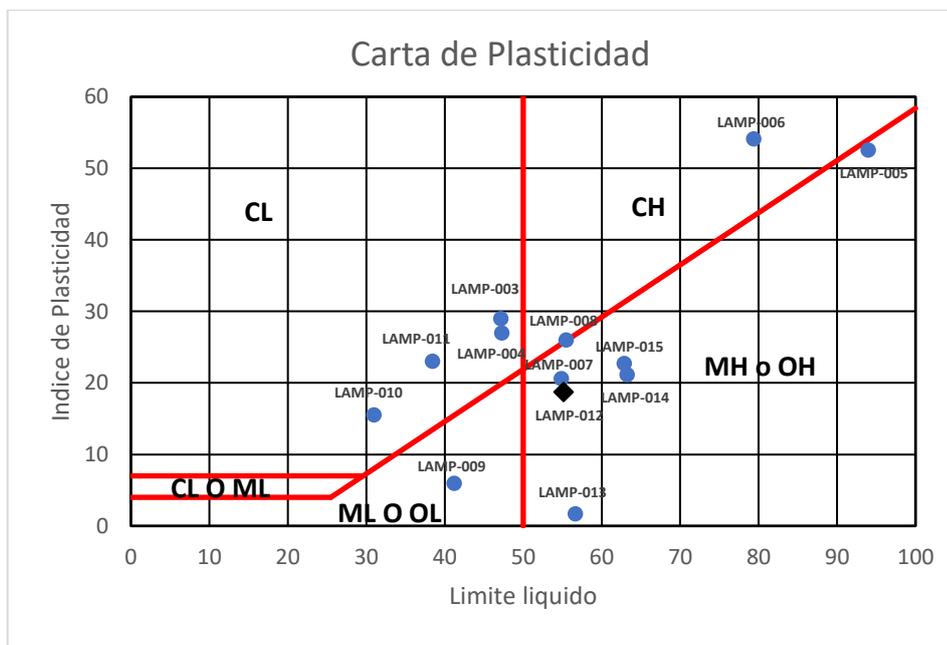


Ilustración 4-22: Carta de Plasticidad LAPM-012.

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

En función a los datos obtenidos se determina la muestra LAPM-012 como un suelo de categoría SM según la clasificación de suelos SUCS, arena limosa de alta plasticidad, esto se debe a que es un suelo grueso donde el porcentaje de finos menores a 0.074 mm pasantes es de 14.22 %, es un suelo no uniforme, bien graduado en el cual la fracción se clasifica en la carta de plasticidad como MH limo de alta plasticidad.

4.1.13. Muestra LAPM-013

La muestra LAPM-013 presenta la siguiente distribución granulométrica:

Tabla 4-47: Granulometría Muestra LAPM-013.

Abertura (mm)	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	3
2	27.84	6.843	6.843	
1	74.65	18.348	25.191	74.809
0.355	118.08	29.023	54.214	45.786
0.25	38.89	9.559	63.773	36.227
0.18	29.39	7.224	70.997	29.003
0.063	67.39	16.564	87.561	12.439
0.0468	9.17	2.255	89.815	10.185
0.0339	3.19	0.785	90.601	9.399
0.0219	3.23	0.793	91.393	8.607
0.0130	4.26	1.047	92.440	7.560
0.0094	2.10	0.516	92.956	7.044
0.0068	3.19	0.785	93.742	6.258
0.0048	2.04	0.501	94.242	5.758
0.0035	2.22	0.546	94.788	5.212
0.0015	3.56	0.876	95.664	4.336
	17.64	4.336	100.000	0.000
Masa total	406.85			

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

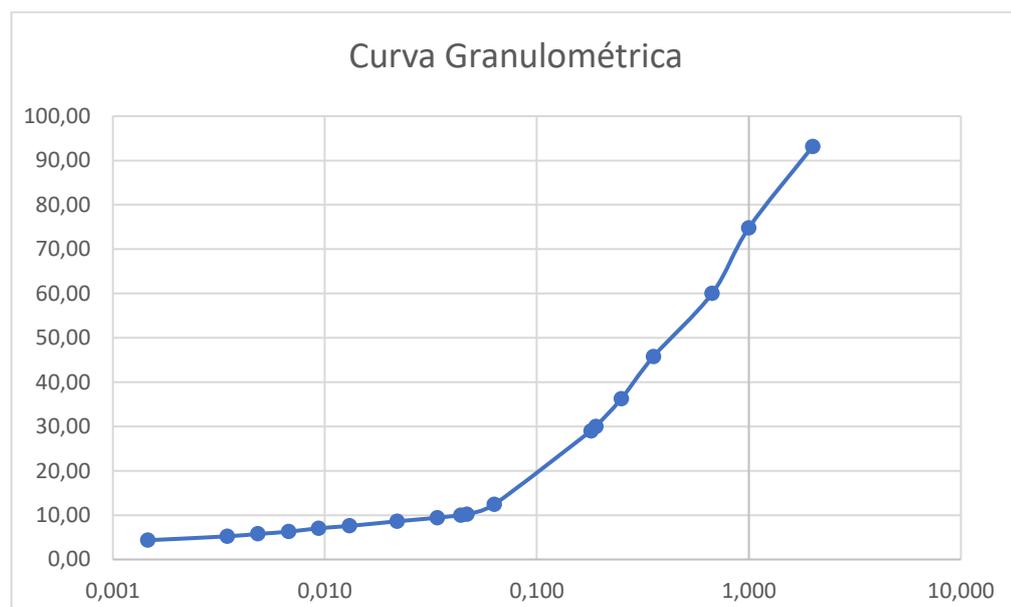


Ilustración 4-23: Curva Granulométrica muestra LAPM-013.

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

Tabla 4-48: Coeficientes de uniformidad y curvatura.

Coeficiente	Valor
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	15.33124411
Coeficiente de Curvatura (Cc)	1.23

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

En cuanto a límites de Atterberg se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4-49: Límites de Atterberg muestra LAPM-013.

HUMEDAD NATURAL SATURADA (ASTM D2216)						
N°	N°	PESO	PESO	PESO	%	%
TARRO	GOLPES	HÚMEDO	SECO	TARRO	DE HUMEDAD	PROMEDIO
40		151.60	89.20	28.38	102.60	
41		141.80	82.60	26.64	105.79	104.19
LIMITE LIQUIDO (ASTM D4318)						
21	30	50.30	41.80	28.20	62.50	56.62
26	20	51.20	43.40	28.03	50.75	
LIMITE PLÁSTICO (ASTM D4318)						
34		18.30	16.60	13.85	61.82	54.95
35		17.90	16.40	13.67	54.95	

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

Tabla 4-50: Índice de Plasticidad LAPM-013.

CLASIFICACIÓN:		
HUMEDAD NATURAL:	104.19	%
LIMITE LIQUIDO:	56.62	%
LIMITE PLÁSTICO:	54.95	-
ÍNDICE PLÁSTICO:	1.62	-

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

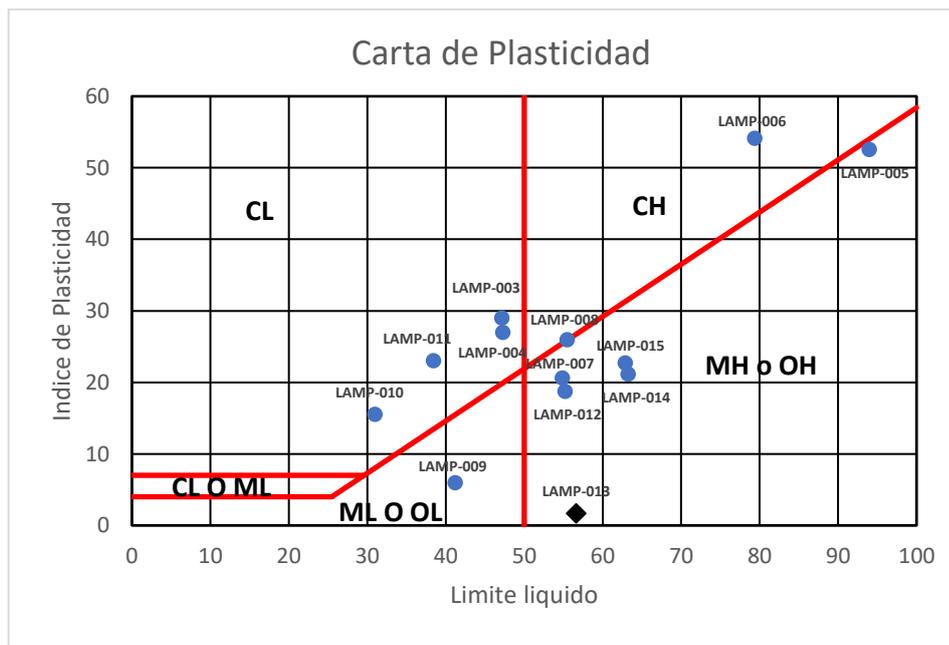


Ilustración 4-24: Carta de Plasticidad LAPM-013.

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

En función a los datos obtenidos se determina la muestra LAPM-013 como un suelo de categoría SM según la clasificación de suelos SUCS, arena limosa de alta plasticidad, esto se debe a que es un suelo grueso donde el porcentaje de finos menores a 0.074 mm pasantes es de 14 %, es un suelo no uniforme, bien graduado en el cual la fracción se clasifica en la carta de plasticidad como MH limo de alta plasticidad.

4.1.14. Muestra LAPM-014

La muestra LAPM-014 presenta la siguiente distribución granulométrica:

Tabla 4-51: Granulometría Muestra LAPM-014.

Abertura (mm)	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
2	22,72	7,022	7,022	92,978
1	54,58	16,869	23,890	76,110
0,355	93,63	28,937	52,828	47,172
0,25	34,83	10,765	63,593	36,407
0,18	26,03	8,045	71,637	28,363
0,063	41,77	12,910	84,547	15,453
0,0473	10,34	3,196	87,743	12,257
0,0335	0,21	0,065	87,808	12,192
0,0213	0,56	0,172	87,980	12,020
0,0125	2,10	0,650	88,630	11,370
0,0089	1,05	0,325	88,955	11,045
0,0064	2,10	0,650	89,605	10,395
0,0045	2,04	0,632	90,237	9,763
0,0033	1,14	0,353	90,590	9,410
0,0014	3,55	1,097	91,687	8,313
<0,0014	26,90	8,313	100,000	0,000
Masa total	323,56			

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

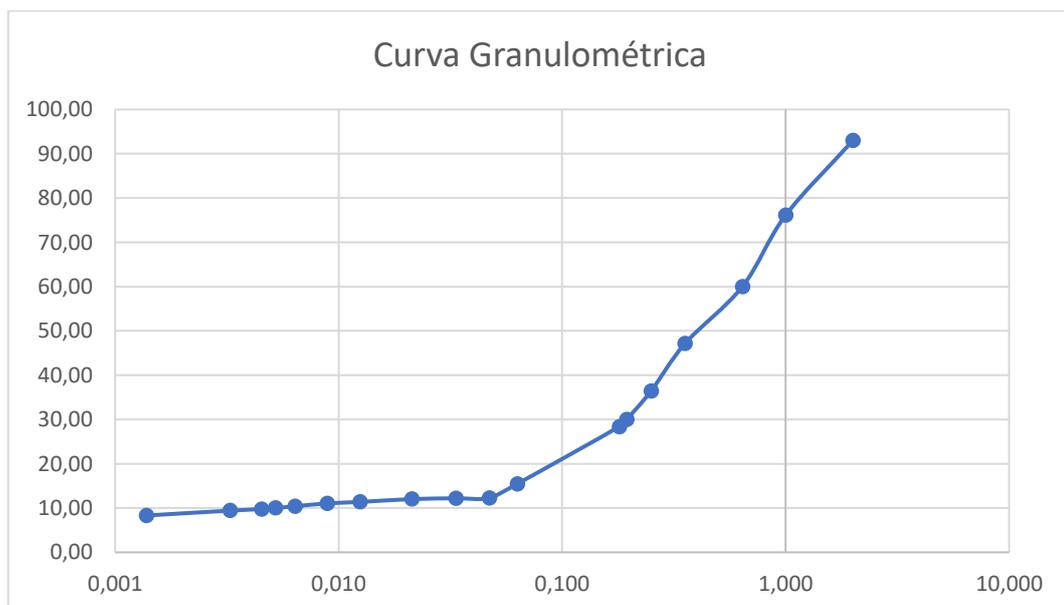


Ilustración 4-25: Curva Granulométrica muestra LAPM-014.

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

Tabla 4-52: Coeficientes de uniformidad y curvatura.

Coeficiente	Valor
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	122.8286886
Coeficiente de Curvatura (Cc)	11.28

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

En cuanto a límites de Atterberg se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4-53: Límites de Atterberg muestra LAPM-014.

HUMEDAD NATURAL SATURADA (ASTM D2216)						
N°	N°	PESO	PESO	PESO	%	%
TARRO	GOLPES	HÚMEDO	SECO	TARRO	DE HUMEDAD	PROMEDIO
30		162.80	101.20	27.03	83.05	
37		161.00	101.00	27.39	81.51	82.28
LIMITE LIQUIDO (ASTM D4318)						
22	32	50.00	41.20	27.93	66.31	
23	25	48.00	40.20	27.52	61.51	
24	18	50.60	42.40	29.13	61.79	63.21
LIMITE PLÁSTICO (ASTM D4318)						
21		14.80	13.40	10.31	45.31	
22		17.80	16.60	13.51	38.83	42.07

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

Tabla 4-54: Índice de Plasticidad LAPM-014.

CLASIFICACIÓN:		
HUMEDAD NATURAL:	82.28	%
LIMITE LIQUIDO:	63.21	%
LIMITE PLÁSTICO:	42.07	-
ÍNDICE PLÁSTICO:	21.14	-

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

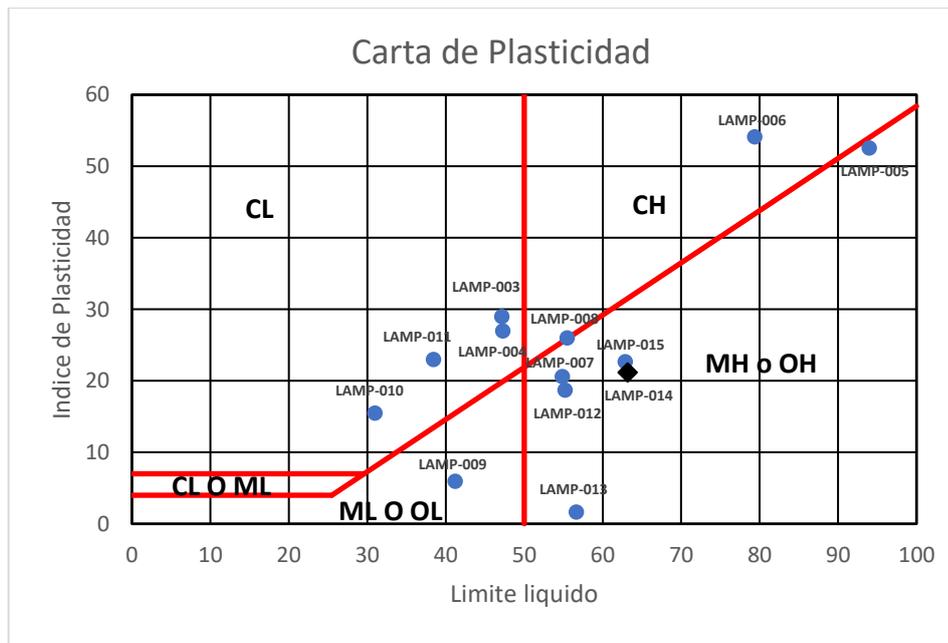


Ilustración 4-26: Carta de Plasticidad LAPM-014.

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

En función a los datos obtenidos se determina la muestra LAPM-014 como un suelo de categoría SM según la clasificación de suelos SUCS, arena limosa de alta plasticidad, esto se debe a que es un suelo grueso donde el porcentaje de finos menores a 0.074 mm pasantes es de 10.66 %, es un suelo no uniforme, mal graduado en el cual la fracción se clasifica en la carta de plasticidad como MH limo de alta plasticidad.

4.1.15. Muestra LAPM-015

La muestra LAPM-015 presenta la siguiente distribución granulométrica:

Tabla 4-55: Granulometría Muestra LAPM-015.

Abertura (mm)	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
2	44.09	13.062	13.062	86.938
1	47.09	13.951	27.012	72.988
0.355	46.40	13.746	40.758	59.242
0.25	22.45	6.651	47.409	52.591
0.18	26.39	7.818	55.227	44.773
0.063	100.95	29.907	85.134	14.866
0.0482	15.28	4.527	89.661	10.339
0.0341	0.03	0.009	89.670	10.330
0.0218	0.06	0.018	89.688	10.312
0.0127	1.06	0.313	90.000	10.000
0.0090	1.06	0.313	90.313	9.687
0.0065	2.14	0.635	90.948	9.052
0.0046	1.00	0.295	91.243	8.757
0.0033	1.15	0.340	91.582	8.418
0.0014	3.53	1.046	92.629	7.371
<0,0014	24.88	7.371	100.000	0.000
Masa total	337.55			

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

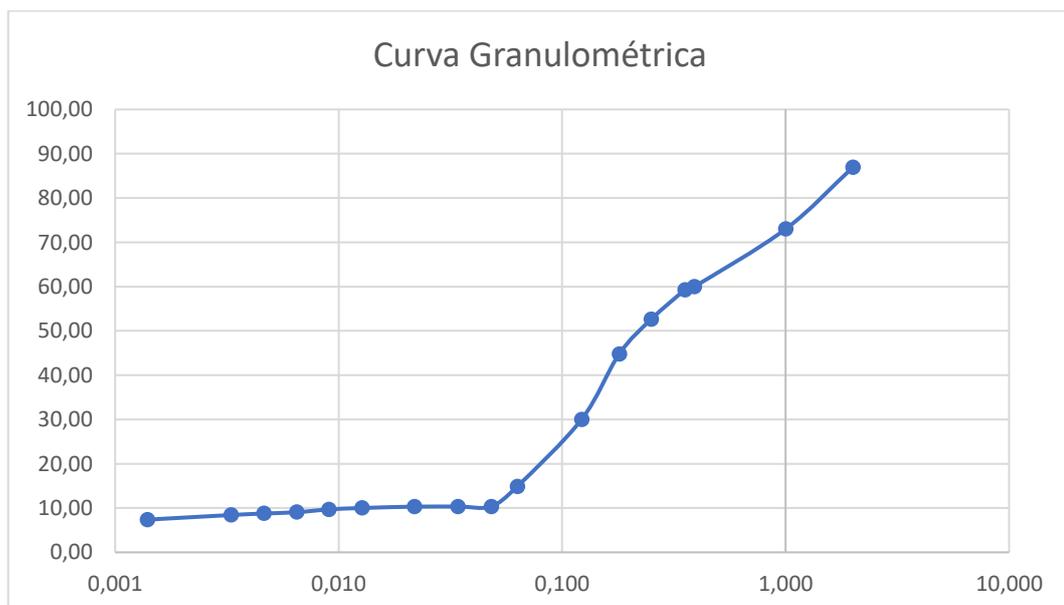


Ilustración 4-27: Curva Granulométrica muestra LAPM-015.

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

Tabla 4-56: Coeficientes de uniformidad y curvatura.

Coeficiente	Valor
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	30.75457029
Coeficiente de Curvatura (Cc)	3.01

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

En cuanto a límites de Atterberg se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4-57: Límites de Atterberg muestra LAPM-015.

HUMEDAD NATURAL SATURADA (ASTM D2216)						
N°	N°	PESO	PESO	PESO	%	%
TARRO	GOLPES	HÚMEDO	SECO	TARRO	DE HUMEDAD	PROMEDIO
38		163.40	120.00	27.58	46.96	47.70
39		166.80	121.40	27.66	48.43	
LIMITE LIQUIDO (ASTM D4318)						
29	31	46.10	38.80	26.61	59.89	62.86
30	24	47.30	39.40	27.03	63.86	
31	18	46.30	38.80	27.23	64.82	
LIMITE PLÁSTICO (ASTM D4318)						
30		17.20	15.40	13.36	88.24	40.15
31		14.50	13.40	10.66	40.15	

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

Tabla 4-58: Índice de Plasticidad LAPM-015.

CLASIFICACIÓN:		
HUMEDAD NATURAL:	47.70	%
LIMITE LIQUIDO:	62.86	%
LIMITE PLÁSTICO:	40.15	-
ÍNDICE PLÁSTICO:	22.71	-

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

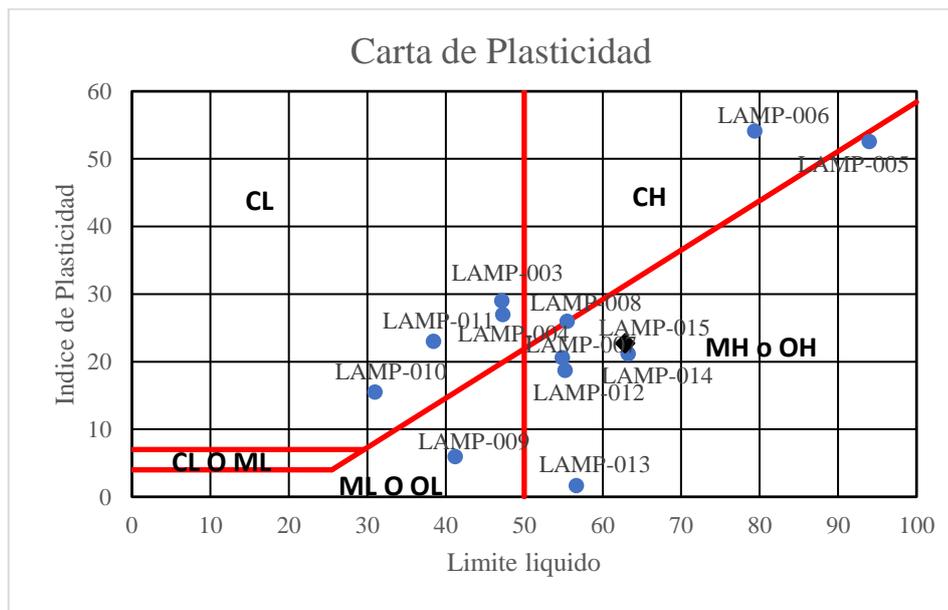


Ilustración 4-28: Carta de Plasticidad LAPM-015.

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

En función a los datos obtenidos se determina la muestra LAPM-015 como un suelo de categoría SM según la clasificación de suelos SUCS, arena limosa de alta plasticidad, esto se debe a que es un suelo grueso donde el porcentaje de finos menores a 0.074 mm pasantes es de 17.68 %, es un suelo no uniforme, bien graduado en el cual la fracción se clasifica en la carta de plasticidad como MH limo de alta plasticidad.

4.2. Análisis de arcillas

A continuación, se describe en la tabla 4-60 un resumen de los parámetros físicos de las muestras de arcillas, donde se ubica la clasificación de suelo de acuerdo con la normativa SUCS.

Se identifica que en las arcillas de la formación Mera predominan arenas arcillosas de baja plasticidad, en cuanto a la formación Tena predominan arenas limosas de alta plasticidad.

Tabla 4-59: Resumen de ensayos para arcillas.

	CÓDIGO MUESTRA	LL	LP	IP	Cu	CC	SUCS
FORMACIÓN MERA	LAPM-001	-	-	-	59,8	3,4	SC-CL
	LAPM-002	-	-	-	71,3	0,68	SC-CL
	LAPM-003	47,18	18,2	28,98	133,57	2,39	SC-CL
	LAPM-004	47,29	20,33	26,96	31,35	0,67	SC-CL
	LAPM-005	93,99	41,45	52,54	386,4	31,93	SM-MH
	LAPM-006	79,38	25,29	54,09	364,36	31,01	SC-CH
	LAPM-007	54,89	34,32	20,57	17,2	0,45	SM-MH
	LAPM-008	55,48	29,52	25,96	25,4	0,74	SC-CH
FORMACIÓN TENA	LAPM-009	41,21	35,26	5,95	16,15	0,35	SM-ML
	LAPM-010	30,96	15,45	15,51	6,1	1,21	SC-CL
	LAPM-011	38,41	15,4	23,01	11,03	1,09	SC-CL
	LAPM-012	55,18	36,46	18,72	14,91	1,44	SM-MH
	LAPM-013	56,62	54,95	1,67	15,33	1,23	SM-MH
	LAPM-014	63,21	42,07	21,14	122,82	11,28	SM-MH
	LAPM-015	62,86	40,15	22,71	30,75	3	SM-MH
	PROMEDIO MERA	63,04	28,19	34,85	136,17	8,91	
PROMEDIO TENA	49,78	34,25	15,53	31,01	2,80		

Realizado por: Loja, A. & Papue, M., 2023.

Con los parámetros ensayados fue posible determinar que existe dos tipos que predominan los suelos areno arcillosos de baja plasticidad y arenas limosas de alta plasticidad, seguidos de suelos areno arcillosos de alta plasticidad y suelos areno limosos de baja plasticidad, la distribución se muestra en la ilustración 4-28.

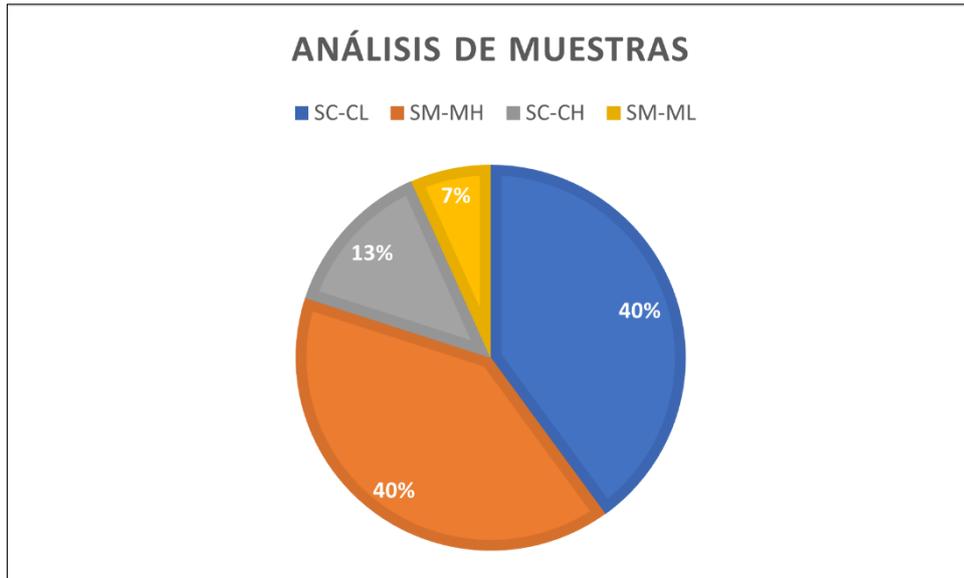


Ilustración 4-29: Distribución de suelos (SUCS).

Realizado por: Loja, A. & Papue, M, 2023.

En la ilustración 4-29 se observa las ubicaciones de cada muestra en la carta de plasticidad empleadas para la caracterización de los suelos según la normativa SUCS.

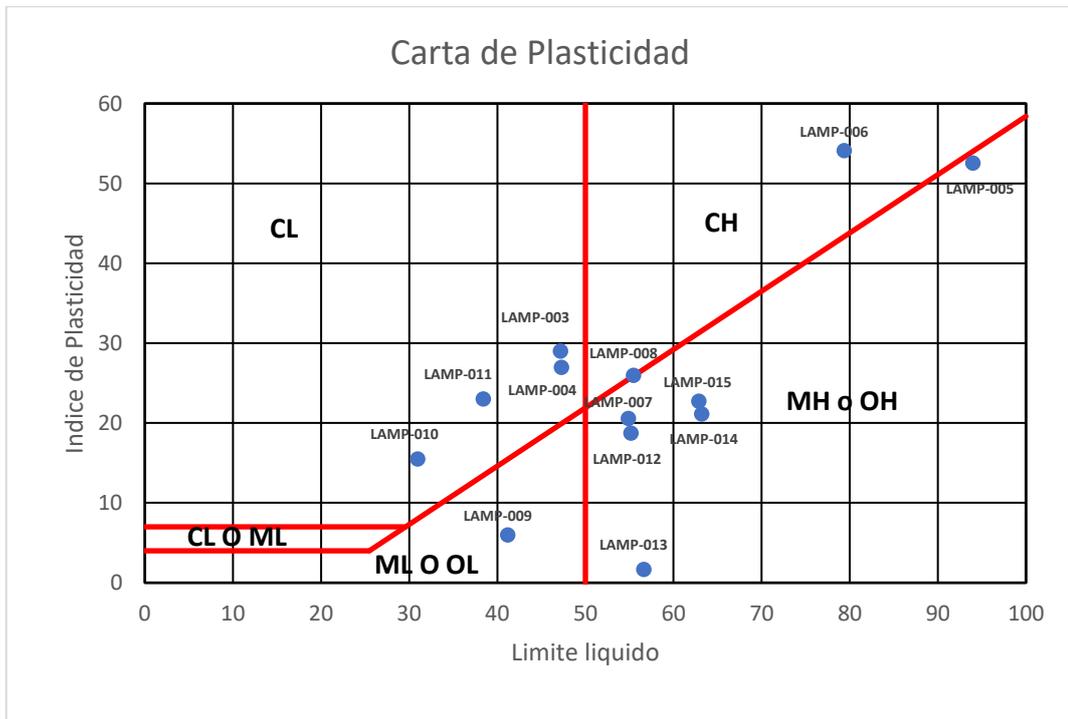


Ilustración 4-30: Carta de plasticidad.

Realizado por: Loja, A. & Papue, M, 2023.

A continuación, se presenta un análisis mediante estadística descriptiva del índice de plasticidad de las muestras divididas en función a la formación a la cual pertenecen la tabla 4-61 respecto a

la formación Mera y la tabla 4-62 con respecto a la formación Tena, evidenciando un I.P. medio de 26.14 para las arcillas de la formación Mera y un I.P. medio de 13.7 para la formación Tena; a su vez en las ilustraciones 4-30 y 4-31 se visualizan los histogramas de frecuencia de los respectivos índices de plasticidad para cada formación. Los cuales también indican un índice mayor para la formación Mera (frecuencia máxima 40) que la formación Tena (frecuencia máxima 30)

Tabla 4-60: Estadística Descriptiva de índices de plasticidad Fm. Mera

<i>E. Descriptiva Fm. Mera</i>	
Media	26,14
Error típico	7,176925078
Mediana	26,465
Moda	0
Desviación estándar	20,29940956
Varianza de la muestra	412,0660286
Curtosis	-0,799308534
Coefficiente de asimetría	0,099352778
Rango	54,09
Mínimo	0
Máximo	54,09
Suma	209,12
Cuenta	8
Mayor (1)	54,09
Menor (1)	0

Realizado por: Loja, A. & Papue, M, 2023.

Tabla 4-61: Estadística Descriptiva de índices de plasticidad Fm. Tena

<i>E. Descriptiva Fm. Tena</i>	
Media	13,70428571
Error típico	3,420531048
Mediana	15,51
Moda	5,94
Desviación estándar	9,049874506
Varianza de la muestra	81,90022857
Curtosis	-2,247195817
Coefficiente de asimetría	-0,227104831
Rango	21,33
Mínimo	1,68
Máximo	23,01
Suma	95,93
Cuenta	7
Mayor (1)	23,01
Menor (1)	1,68

Realizado por: Loja, A. & Papue, M, 2023.

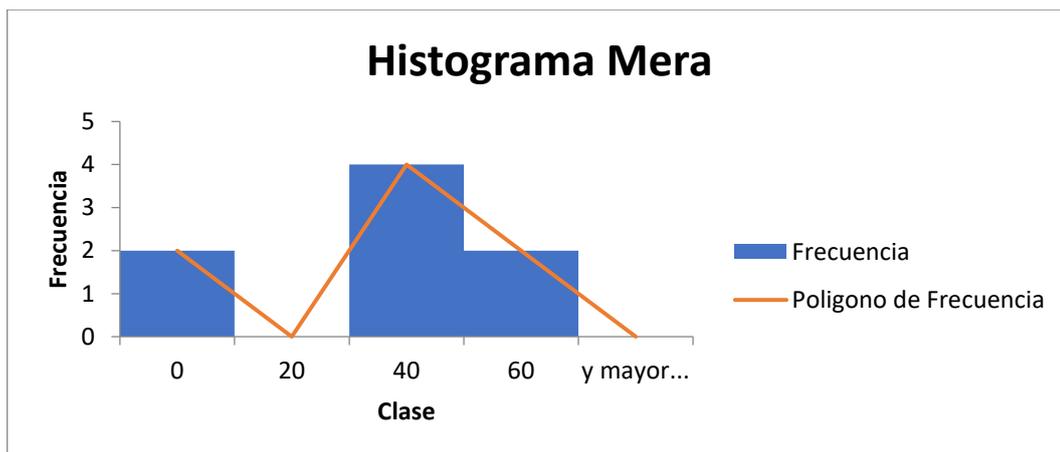


Ilustración 4-31: Histograma de I. Plasticidad Fm. Mera.

Realizado por: Loja, A. & Papue, M, 2023.

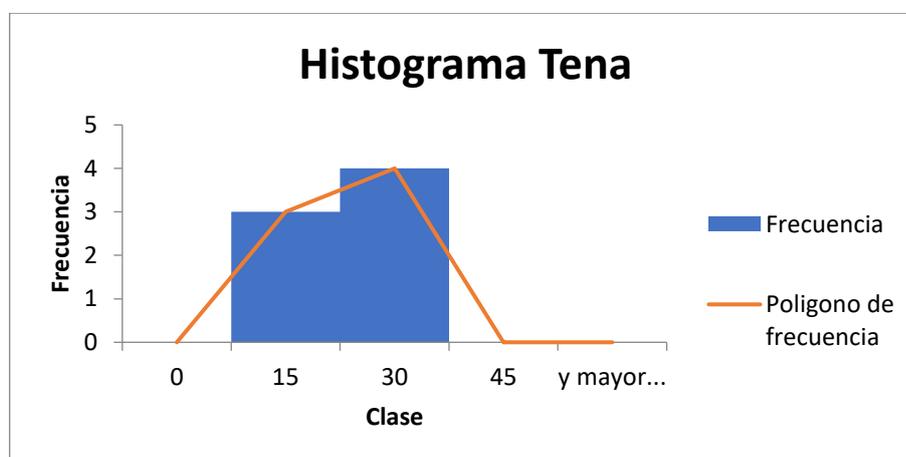


Ilustración 4-32: Histograma de I. Plasticidad Fm. Tena.

Realizado por: Loja, A. & Papue, M, 2023.

4.3. Categorización de tipo de arcillas

Mediante el análisis elemental y cuantitativo mediante el ensayo SEM y FRX se obtuvieron los siguientes resultados para 2 muestras de arcilla, una por cada formación geológica involucrada:

4.3.1. LAPM-003 (FM. MERA)

En la ilustración 4-32 se muestran las micrografías obtenidas mediante SEM con magnificaciones de 200 y 1100 X, donde identifica estructuras mineralógicas de arcillas medianamente cristalizadas con similitud a las estructuras cristalinas hexagonales de las arcillas de tipo Caolinita 1:2-3, partículas aplanadas característicos de capas o láminas de minerales arcillosos.

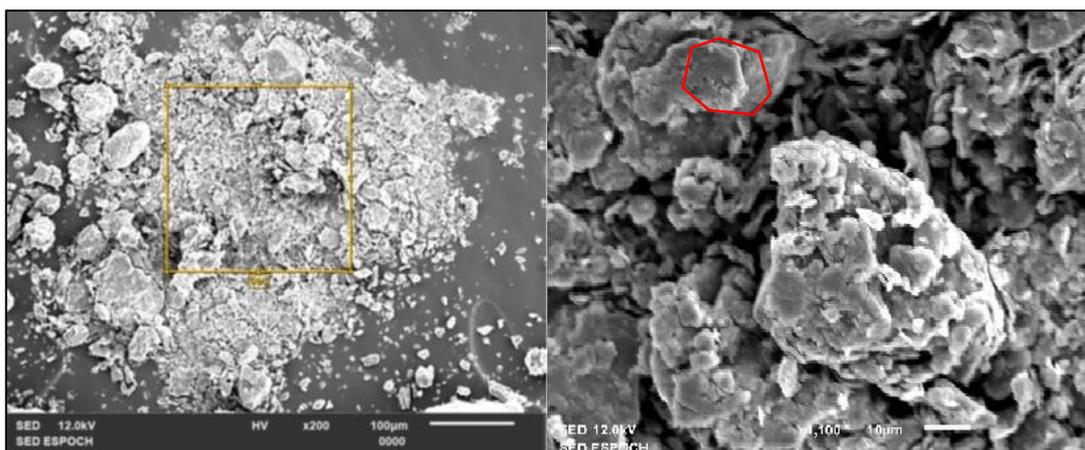


Ilustración 4-33: Micrografías obtenidas para la muestra LAPM-003 (Fm. Mera) mediante SEM con una magnificación de 200 y 1100 X.

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

En la tabla 4-63 se muestran los elementos químicos identificados mediante la refracción de rayos x dentro del ensayo SEM, la presencia de Au en este ensayo se debe a los componentes propios de la prueba por lo cual se desprecia este elemento.

La muestra LAPM-003 presenta los siguientes elementos químicos: C, O, Mg, Al, Si, K elementos característicos de minerales arcillosos.

Tabla 4-62: Resultados de análisis cuantitativo mediante SEM.

FORMULA	MASS%	ATOM%	SIGMA	NET	K RATIO	LINE
C	0.73	13.81	0.04	242	0.0019585	K
O	3.70	52.75	0.04	2970	0.0254828	K
Mg	0.11	1.03	0.01	227	0.0006251	K
Al	1.25	10.59	0.02	2788	0.0076573	K
Si	1.94	15.77	0.03	4192	0.0127780	K
K	0.24	1.41	0.02	259	0.0014399	K
Au	4.01	4.64	0.08	2976	0.0181016	M
Total	11.99	100.00				

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

En la tabla 4-64 se muestran los elementos químicos de la muestra LAPM-003 obtenidos mediante el ensayo de FRX, donde se identifica SiO₂ con 58%, Al₂O₃ con 19.09 %, Fe₂O₃ con 2.9 %, K₂O con 2.1 %, TiO₂ con 1.03%, MgO con 0.88%, el resto de los compuestos son elementos despreciados por la técnica.

Tabla 4-63: Compuestos y Elementos químicos de la muestra LAPM-003 obtenidos mediante el ensayo de FRX.

Elemento	Muestra 1	Óxido	Muestra 1
	Contenido (%)		Contenido (%)
Si	27,11	SiO ₂	58
Al	10,1	Al ₂ O ₃	19,09
Fe	2,03	Fe ₂ O ₃	2,9
K	1,74	K ₂ O	2,1
Ti	0,62	TiO ₂	1,03
Mg	0,53	MgO	0,88
Na	0,17	Na ₂ O	0,23
Ca	0,04	CaO	0,06
Zr	0,03	ZrO ₂	0,04
P	0,02	P ₂ O ₅	0,04
Cr	0,01	Cr ₂ O ₃	0,02
Mn	0,01	MnO	0,01
V	---	V ₂ O ₅	---
Pb	---	PbO	---
Cl	0,02		
S	0,01		

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

En concordancia a las características ensayadas y en contraste con la investigación de Singer se determina que las arcillas de la muestra LAPM-003 pertenece al grupo de los caolines, se llega a esta conclusión basándose en la baja plasticidad de la arcilla, la relación 1:3 entre AL₂O₃ y SiO₂, y la morfometría. La composición de la mineralización no está completamente cristalizada debido a que no se encuentra en un estado puro, sus minerales se encuentran asociados a granulometrías de escala arcilla con impurezas de arenas (74%), lo cual dificulta la cristalización, presenta un color blanco-blanco rojizo muy tenue como se muestra en la ilustración 4-33, Se interpreta que la arcilla es de tipo Anauxita por la presencia de cristales hexagonales pertenecientes al grupo de los caolines, mineral compuesto de caolinita y capas interestratificadas de sílice y bajos contenidos de Fe, tal como se observa en la tabla 4-65 (Singer y Singer, 1963, p. 22).

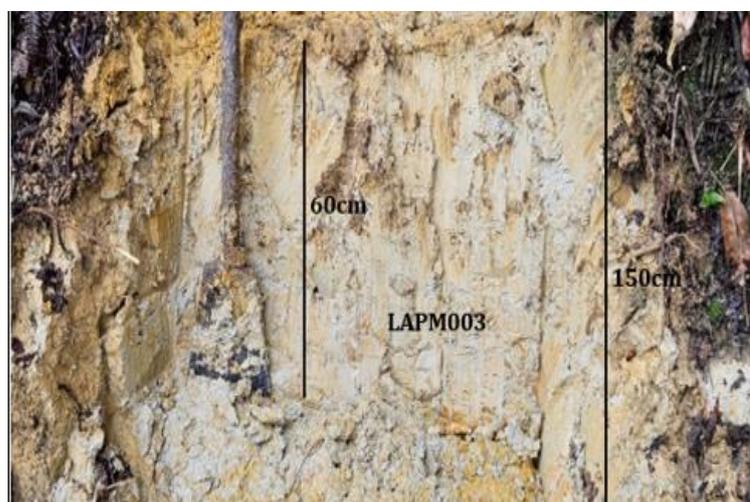


Ilustración 4-34: Fotografía en campo de la muestra LAPM-003

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

Tabla 4-64: Nomenclatura de minerales arcillosos.

TABLE I					
Clay Mineral Nomenclature					
(after Greaves-Walker (G73))					
Grupo	Mineral	Formula			Al ₂ O ₃ :SiO ₂
Caolines	Schroetterite	8Al ₂ O ₃	3SiO ₂	30H ₂ O	1:0.38
Caolines	Collyrite	2	1	9	1:0.5
Caolines	Allophane	1	1	5	1:01
Caolines	Kochite	2	3	5	1:1.5
Caolines	Kaolinite	1	2	2	1:02
Caolines	Clayite	1	2	2	1:02
Caolines	Nacrite	1	2	2	1:02
Caolines	Dickite	1	2	2	1:02
Caolines	Halloysite	1	2	2+ <i>Aq</i>	1:02
Caolines	Newtonite	1	2	5	1:02
Caolines	Anauxite	1	3	2	1:03
Esmectitas	Leverrierite	1	3	3	1:03
Esmectitas	Pholerite	1	3	4	1:03
Esmectitas	Beidellite	1	3	5	1:03
Esmectitas	Montmorillonite	1	4	1	1:04
Esmectitas	Pyrophyllite	1	4	1	1:04
Esmectitas	Cimolite	2	9	6	1:4.5

Fuente: (Singer y Singer, 1963, p. 22).

4.3.2. *Lapm-011(FM. Tena)*

En la ilustración 4-34 se muestran las micrografías obtenidas mediante SEM con magnificaciones de 400 y 1500 X, donde identifica estructuras mineralógicas de arcillas medianamente cristalizadas con similitud a las estructuras cristalinas hexagonales de las arcillas y de tipo beidellita con cristalización ortorrómbica perteneciente al grupo de las esmectitas o montmorillonita.

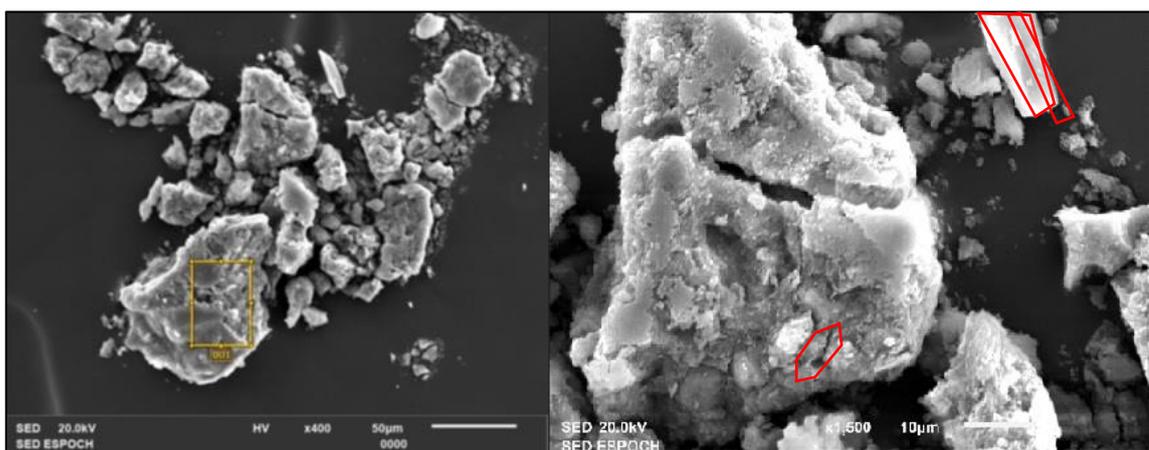


Ilustración 4-35: Micrografías obtenidas para la muestra LAPM-011 (Fm. Tena) mediante SEM con una magnificación de 400 y 1500 X.

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

En la tabla 4-66 se muestra los elementos químicos identificados mediante la refracción de rayos x dentro del ensayo SEM.

La muestra LAPM-011 presenta los siguientes elementos químicos: C, O, Al, Si, Ti, Fe elementos característicos de minerales arcillosos del grupo de las esmectitas o montmorillonita.

Tabla 4-65: Resultados de análisis cuantitativo mediante SEM.

FORMULA	MASS%	ATOM%	SIGMA	NET	K RATIO	LINE
C	1.24	15.07	0.07	238	0.0020811	K
O	5.89	53.59	0.06	4102	0.0394364	K
Al	2.51	13.53	0.02	9116	0.0168184	K
Si	2.58	13.36	0.02	9988	0.0205100	K
Ti	0.25	0.76	0.01	497	0.0020337	K
Fe	0.44	1.14	0.01	548	0.0038034	K
Au	3.43	2.54	0.06	4815	0.0219356	M
Total	16.35	100.00				

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

En la tabla 4-67 se muestran los elementos químicos de la muestra LAPM-011 obtenidos mediante el ensayo de FRX, donde se identifica SiO₂ con 45.19%, Al₂O₃ con 23.15 %, Fe₂O₃ con 3.17 %, TiO₂ con 1.98 %, MgO con 0.21 %, el resto de los compuestos son elementos despreciados por los componentes de la técnica.

Tabla 4-66: Compuestos y Elementos químicos de la muestra LAPM-011 obtenidos mediante el ensayo de FRX.

Elemento	Muestra 2	Óxido	Muestra 2
	Contenido (%)		Contenido (%)
Si	21,12	SiO ₂	45,19
Al	12,25	Al ₂ O ₃	23,15
Fe	2,22	Fe ₂ O ₃	3,17
K	0,26	K ₂ O	0,31
Ti	1,19	TiO ₂	1,98
Mg	0,12	MgO	0,21
Na	0,06	Na ₂ O	0,08
Ca	0,05	CaO	0,07
Zr	0,09	ZrO ₂	0,12
P	0,01	P ₂ O ₅	0,03
Cr	0,01	Cr ₂ O ₃	0,02
Mn	---	MnO	---
V	0,02	V ₂ O ₅	0,04
Pb	0,02	PbO	0,02
Cl	---		
S	0,02		

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

En concordancia a las características ensayadas y en contraste con la investigación de Singer se determina que las arcillas de la muestra LAPM-011 pertenecen al grupo de los caolines y presentan minerales del grupo de las esmectitas, se llega a esta conclusión basándose en los componentes brindados por la tabla 4-67 donde la composición química de los minerales

concuerta con las proporciones de las beidellitas con la relación entre Al_2O_3 y SiO_2 ; presenta un color rojizo pálido en su porción fina, como se muestra en la ilustración 4-35 sumado a la identificación de cristales hexagonales y ortorrómbicos. Se interpreta que la arcilla contiene minerales del grupo de los caolines y del grupo esmectita (Singer y Singer, 1963, p. 24).

Tabla 4-67: Composición química de las Beidellitas.

Beidellita	
SiO_2	45.3-47.3
Al_2O_3	12.2-27.8
Fe_2O_3	0.8-18.5
MgO	0.2-3.0
CaO	0.5-2.8
K_2O	0.1
Na_2O	0.1-1.0
TiO_2	0.8
H_2O	17.3-22.6

Fuente: (Singer y Singer, 1963, p. 24).



Ilustración 4-36: Fotografía en campo de la muestra LAPM-011.

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

4.4. Resistencia y absorción de ladrillos

4.4.1. Resistencia a la compresión uniaxial simple

Mediante la máquina de compresión uniaxial se ensayaron 7 ladrillos donde los primeros 3 ladrillos son formados de arcillas provenientes de la formación Mera con una resistencia de 13 Mpa, los 3 siguientes pertenecen a las arcillas de la formación Tena con resistencia de 14 Mpa y el ultimo ladrillo está formado por las arcillas de la formación Tena con un porcentaje de aserrín dando una resistencia de 2 Mpa, los resultados del ensayo se muestran en la tabla 4-69.

Tabla 4-68: Resumen ensayo de compresión uniaxial simple.

N°	CÓDIGOS	DIÁMETRO LADRILLO		ÁREA (cm ²)	Esfuerzo máx. Mpa	PROMEDIO Mpa
		LARGO	ANCHO			
FORMACIÓN MERA						
1	LAPM-003 / LAMP-004	12,4	12,3	152,52	6,429746918	13 Mpa
2	LAPM-004 / LAPM-007	11,5	12,2	140,3	13,97954383	
3	LAPM-007 / LAPM-008	11,4	11,9	135,66	18,79499484	
FORMACIÓN TENA						
4	LAPM-010/ LAPM-011	11,9	11,7	139,23	13,10088989	14 Mpa
5	LAPM-010/ LAPM-015	11,9	12,4	147,56	13,62403937	
6	LAPM-015/ LAPM-014	11,4	11,8	134,52	15,45502379	
FM. TENA MODIFICADA						
7	LAPM-011/ LAPM-014A	11,5	11,8	135,7	2,312548268	2 Mpa

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

4.4.2. Porcentaje de Absorción

En cuanto al porcentaje de absorción se determina un 18,34 % para los 3 primeros ladrillos ensayados que corresponden a la formación Mera, un 16,55 % los 3 siguientes que corresponden a la formación Tena, y el ultimo ladrillo es una mezcla de arcilla de la formación Tena con aserrín con un 27,35% lo que dio un porcentaje de absorción superior, y relacionado con el ensayo de resistencia se evidencia que no es un procedimiento beneficioso para ladrillos de alta resistencia.

Tabla 4-69: Porcentaje de Absorción.

N°	PESO SECO (G)	PESO SATURADO(G)	ABSORCIÓN (%)	PROMEDIO (%)
FORMACIÓN MERA				
1	165,44	195,74	18,31479691	18,34
2	163	191,92	17,74233129	
3	148,92	177,18	18,97663175	
FORMACIÓN TENA				
4	141,9	164,08	15,63072586	16,55
5	180,22	206,54	14,60437243	
6	138,72	165,64	19,40599769	
FM. TENA MODIFICADA				
7	116,56	148,44	27,35072066	27,35

Realizado por: Loja, A. & Papue, M, 2023.

4.5. Mapas de Resultados

En la ilustración 4-36 se observa el mapa de resultados de la clasificación SUCS, donde se identifica al Este: 50% de arcilla SC-CL (color azul), 25% SM-MH (color naranja) y 25% SC-CH (color verde) pertenecientes a la formación Mera; al Oeste se encuentra: 57% SM-MH (color naranja), 29% SC-CL (color azul) y 14% SM-ML (color amarillo) de la formación Tena.

Dentro del mapa de resultados límites de Atterberg en la ilustración 4-37 se observa que la zona Este, correspondiente a la formación Mera, existen valores de plasticidad entre 0 a 55 y en el lado Oeste, que pertenece a la formación Tena, valores de plasticidad de 0 a 30.

Se observa el mapa de resultados mineralógicos en la ilustración 4-38, el cual se destacan dos muestras que se eligieron LAMP-003 y LAPM-011 para los ensayos mineralógicos de SEM y Fluorescencia de rayos X, de acuerdo al análisis que se presentó anteriormente se considera que puede ser la arcilla de tipo anauxita del grupo de los caolines para la formación Mera (LAPM-003), el grupo de los caolines y esmectitas para la formación Tena (LAPM-011).

Finalmente, todos los resultados se resumen en la Tabla 4 71.

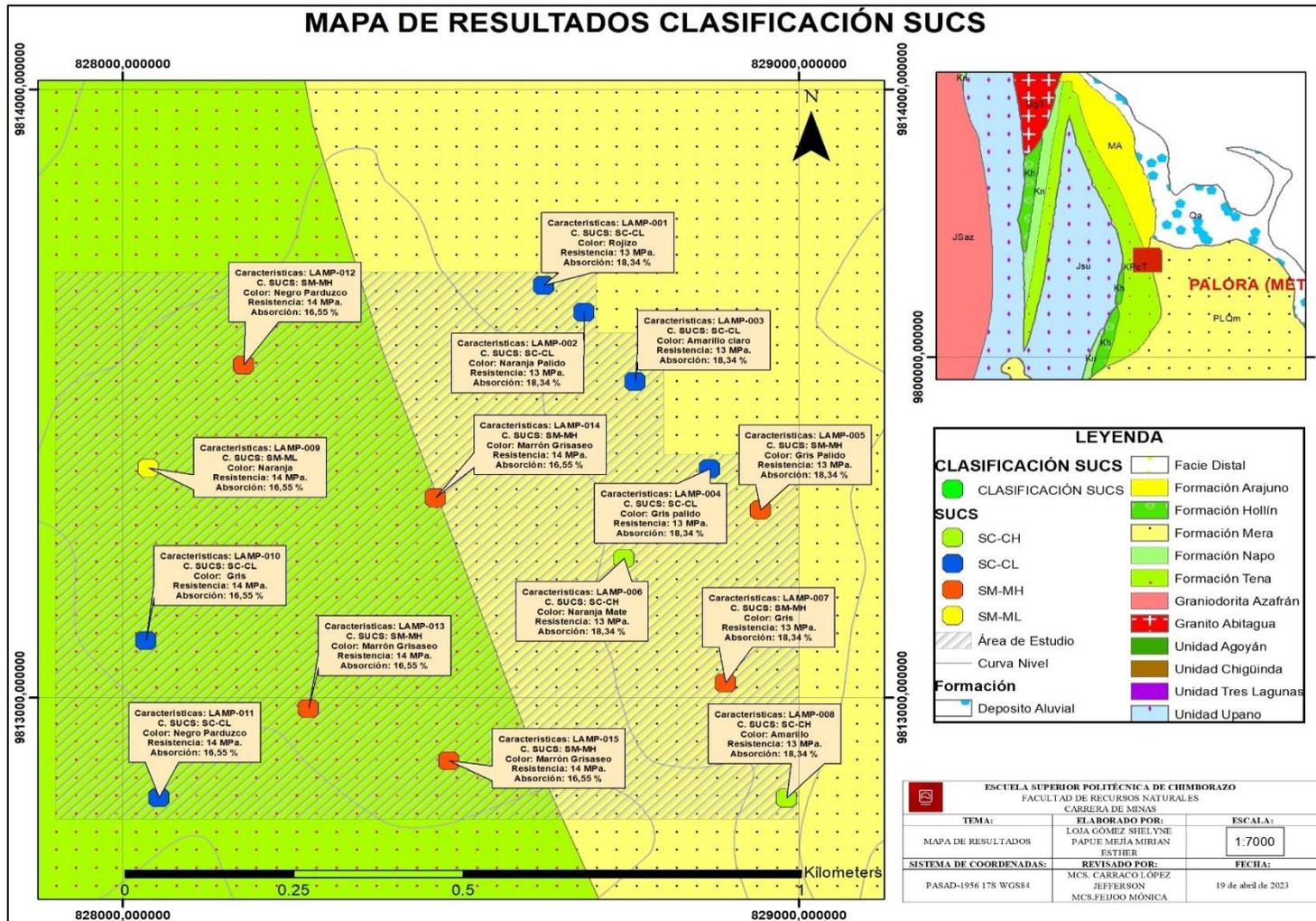


Ilustración 4-37: Mapa de Resultados Límites de Atterberg.

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

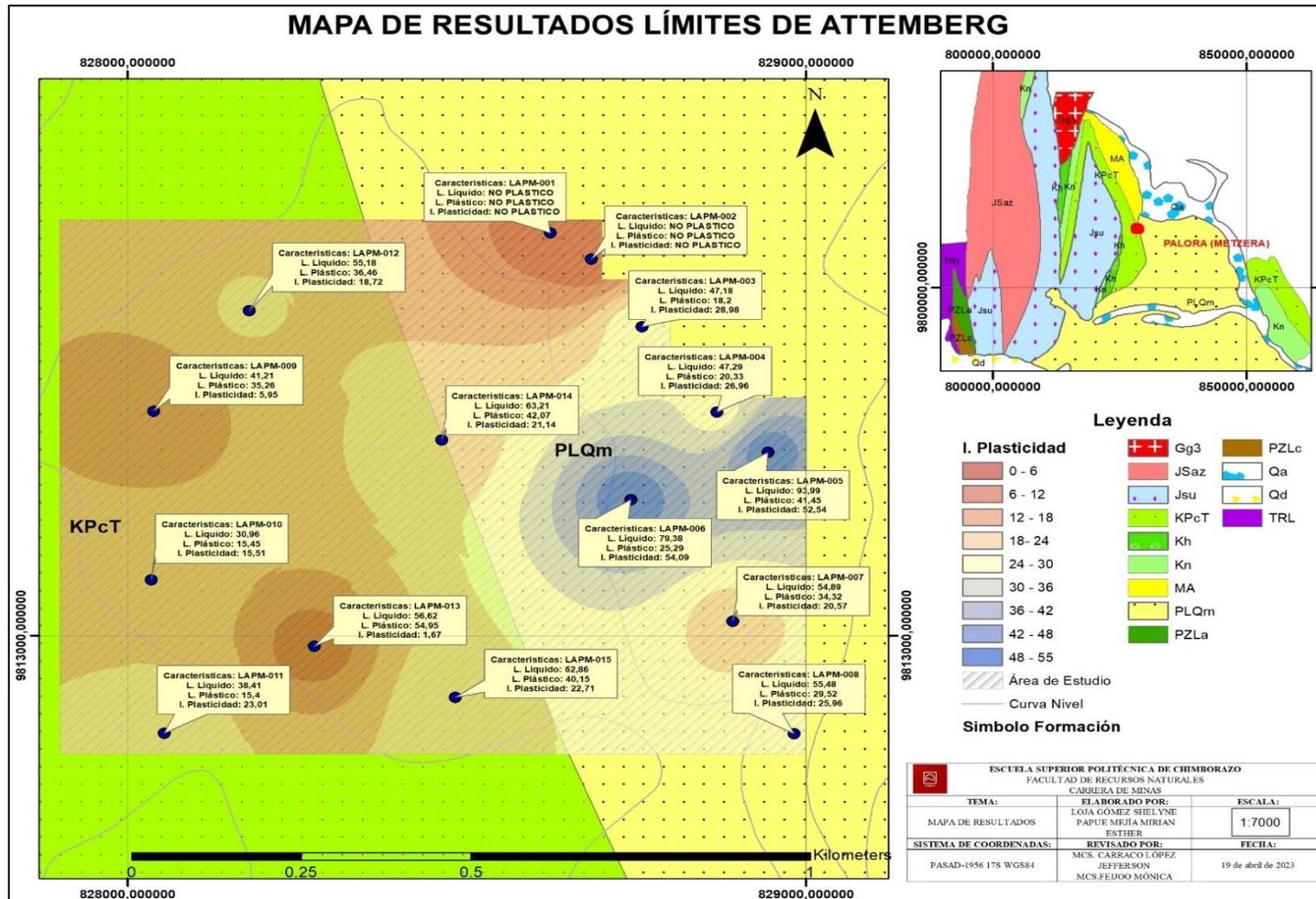


Ilustración 4-38: Mapa de Resultados Límites de Atterberg.

Realizado por: Loja, A. & Papue, M, 2023.

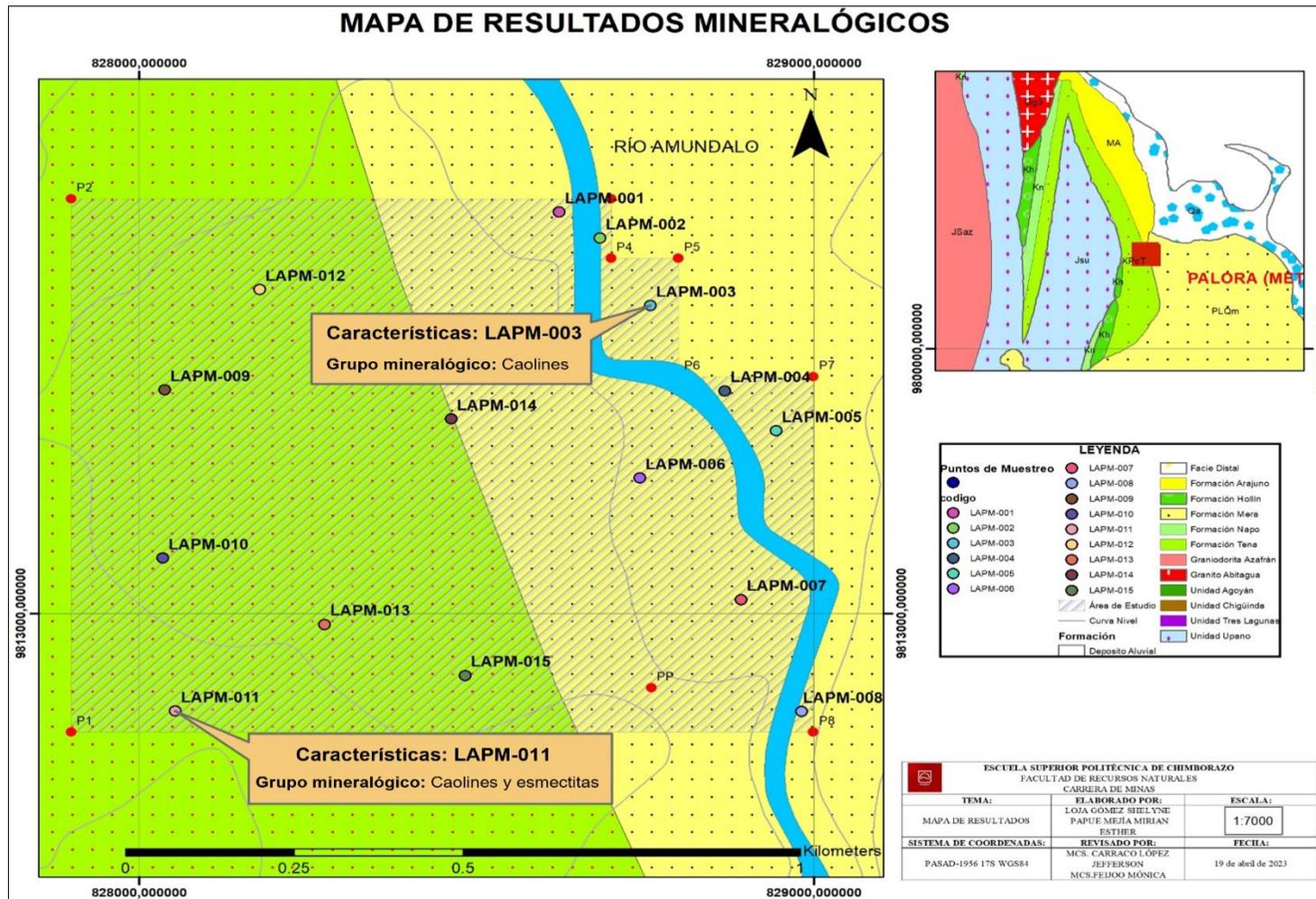


Ilustración 4-39: Mapa de Resultados Mineralógicos.

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

Tabla 4-70: Tabla de Resultados.

	PUNTO	C. MUESTRA	L. LÍQUIDO	L. PLÁSTICO	I. PLASTICIDAD	C. SUCS	COLOR	MINERALOGÍA	C. LADRILLOS	RESISTENCIA (Mpa)	ABSORCIÓN (%)
FM. MERA	P1	LAPM-001	NO LÍQUIDO	NO PLÁSTICO	NO PLÁSTICO	SC-CL	Rojizo	Grupo Caolines			
	P2	LAPM-002	NO LÍQUIDO	NO PLÁSTICO	NO PLÁSTICO	SC-CL	Naranja Palido	Grupo Caolines			
	P3	LAPM-003	47,18	18,2	28,98	SC-CL	Amarillo claro	Grupo Caolines	1 (LAPM-003 / LAPM-004)	6,429746918	18,31479691
	P4	LAPM-004	47,29	20,33	26,96	SC-CL	Gris pálido	Grupo Caolines	2 (LAPM-004 / LAPM-007)	13,97954383	17,74233129
	P5	LAPM-005	93,99	41,45	52,54	SM-MH	Gris Palido	Grupo Caolines			
	P6	LAPM-006	79,38	25,29	54,09	SC-CH	Naranja Mate	Grupo Caolines			
	P7	LAPM-007	54,89	34,32	20,57	SM-MH	Gris	Grupo Caolines	3 (LAPM-007 / LAPM-008)	18,79499484	18,97663175
	P8	LAPM-008	55,48	29,52	25,96	SC-CH	Amarillo	Grupo Caolines			
FM. TENA	P9	LAPM-009	41,21	35,26	5,95	SM-ML	Naranja	Grupo Caolines y esmectitas			
	P10	LAPM-010	30,96	15,45	15,51	SC-CL	Gris	Grupo Caolines y esmectitas	4 (LAPM-010 / LAPM-011)	13,10088989	15,63072586
	P11	LAPM-011	38,41	15,4	23,01	SC-CL	Negro Parduzco	Grupo Caolines y esmectitas	5 (LAPM-010 / LAPM-015)	13,62403937	14,60437243
	P12	LAPM-012	55,18	36,46	18,72	SM-MH	Negro Parduzco	Grupo Caolines y esmectitas			
	P13	LAPM-013	56,62	54,95	1,67	SM-MH	Marrón Grisaseo	Grupo Caolines y esmectitas			
	P14	LAPM-014	63,21	42,07	21,14	SM-MH	Marrón Grisaseo	Grupo Caolines y esmectitas	6 (LAPM-015 / LAPM-014)	15,45502379	19,40599769
	P15	LAPM-015	62,86	40,15	22,71	SM-MH	Marrón Grisaseo	Grupo Caolines y esmectitas	7 (LAPM-011 / LAPM-014A)	2,312548268	27,35072066

Realizado por: Loja, A, & Papue, M, 2023.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En la etapa inicial, exploratoria en campo se tomaron 15 muestras de suelo para estudiar los componentes de las arcillas en el sector de Nuevo Amundalo, localizada en la Parroquia Sangay, Cantón Palora, Provincia de Morona Santiago, donde según el mapa geológico del Ecuador pertenecerían a las formaciones Mera (al este) y Tena (al oeste).

Mediante el análisis SUCS de las muestras, se determinó la presencia de 6 tipos de arenas arcillosas de baja plasticidad (SC-CL), 6 arenas limosas de alta plasticidad (SM-MH), 2 arenas arcillosas de alta plasticidad (SC-CH) y 1 arena limosa de baja plasticidad (SM-ML). Donde 4 de tipo de SC-CL, 2 SM-MH, y 2 SC-CH pertenecen principalmente a la formación Mera; y para la formación Tena están 4 de tipo SM-MH, 2 SC-CL, y 1 SM-ML.

Las muestras LAPM-003 y LAPM-011 fueron seleccionadas por su índice de plasticidad para los ensayos de fluorescencia de rayos X (FRX) y análisis de microscopio electrónico de barrido (SEM), obteniendo los siguientes resultados: para la formación Mera (LAPM-003), se identificaron cualitativamente minerales pertenecientes al grupo del Caolín por sus cristales hexagonales, y cuantitativamente se categoriza como arcilla de tipo Anauxita debido a su relación 1:3 entre Al_2O_3 (19.09%) y SiO_2 (58%). Asimismo, para la formación Tena (LAPM-011), se observan una mezcla de minerales del grupo de caolín (cristales hexagonales), al parecer Caolinita por su relación 1:2 de Al_2O_3 (23.15%) y SiO_2 (45.19%); y esmectitas, al parecer de tipo Beidellita por los cristales ortorrómbicos.

Se evaluaron 7 ladrillos de los cuales 3 se elaboraron con arcillas pertenecientes a la formación Mera, 3 de la formación Tena y 1 modificado con aserrín de la misma formación Tena. Donde se determinó un índice de plasticidad medio de 26 %, una resistencia de 13 Mpa y una absorción media de 18,34 %, para los ladrillos elaborados de la Fm. Mera, mientras que los ladrillos a partir de las arcillas provenientes de la Fm. Tena presentan un índice de plasticidad de 14%, una resistencia de 14 Mpa y una absorción media de 16,55%.

Se identificó que la arcilla proveniente de la Fm. Mera cuenta con buenas características en cuanto a plasticidad (mayor a 20%) y su resistencia es aceptable (mayor a 10MPa) para fines cerámicos de loza. Por otra parte, la Fm. Tena presenta mayor dificultad para aplicaciones cerámicas de loza,

debido a su color natural propio por contenidos de hierro que le brinda tonalidades rojizas y pardas, más su aplicación se alinea a producción de ladrillos para construcción debido a la mayor resistencia y menos absorción en su composición. Según la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 297 deduce que la formación Mera y Tena están dentro del rango permitido para ser un ladrillo macizo tipo B con la resistencia entre 14 a 16 MPa y absorción 16 a 18%.

Finalmente, se obtuvieron mapas de la distribución de las características de las 15 muestras analizadas como la clasificación SUCS, índice de plasticidad y caracterización de arcilla, dentro de lo cual se pudo evidenciar la diferencia entre las dos formaciones antes mencionadas; esta información servirá como herramienta para futuras evaluaciones en la industria cerámica.

5.2. Recomendaciones

En cuanto a una evaluación de recurso mineral para un proyecto de explotación industrial de arcillas, se recomienda un muestreo de tipo calicatas con profundidades mayores a los 60 cm, con un mallado simétrico entre 100 a 150 metros, cubriendo una mayor extensión, para que mediante análisis geoestadísticos se pueda estimar su potencial espesor y los posibles recursos.

En cuanto a la realización del ensayo de microscopio electrónico de barrido (SEM), es preferible tener la muestra en partículas entre 1 a 100 micras antes de realizar el ensayo para una mejor apreciación en las imágenes de preferencia a escala de 10 micras.

En futuras investigaciones se recomienda evaluar la mineralogía con ensayos más específicos como análisis termogravimétricos, termogravimétricos diferenciales y análisis térmico diferencial ya que nos ayudan a determinar el porcentaje de hidratación de las arcillas que permita determinar el tipo de minerales presentes en las muestras con mayor precisión.

Se debe empezar con el ensayo de Atterberg e hidrometría ya que con estos datos se puede conocer el índice de plasticidad para elegir la muestra con la que se elabora el de ladrillo, ya que este tiene un tiempo aproximado de 30 días para elaborarlo.

Se identificó que no es recomendable el uso de mezclas de aserrín para fines de mampostería debido a que disminuye fuertemente la resistencia e incrementa la absorción de la arcilla.

BIBLIOGRAFÍA

AMADO, J.D.S., VILAFRADES, P.Y.M. & TUTA, E.M.C., Caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de Barichara, Santander. *DYNA (Colombia)*, vol. 78, no. 167, pp. 50-58. ISSN 00127353.

BABY, P., RIVADENEIRA, M. & BARRAGÁN, R., *La Cuenca Oriente: Geología y Petróleo*. First. Quito: s.n. ISBN 9978438599.

BADILLO, J. & RODRÍGUEZ, R., *Mecánica de suelos*. Limusa Nor. Mexico: s.n. ISBN 968-18-0069-9.

BALDOCK, J.W., *Geología del Ecuador*. Quito: s.n. 1982.

BESOAIN, E., *Mineralogía de Arcillas de Suelos*. IICA. San Jose, Costa Rica: s.n. ISBN 92-9039-067-0. 1985.

BRAJA M, D., *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. 1st. Mexico: Thomson Learning. ISBN 2013206534. 2016.

DOMÍNGUEZ, J. & SCHUFTER, I., *Las arcillas: el barro noble*. first. Mexico: s.n. ISBN 9681637437.

DUQUE, G., ENRIQUE, C., POTES, E., NACIONAL, U. & MANIZALES, S., *Mecánica de Suelos*. Manizales: s.n. 2002.

JARAMILLO, J., *Investigación de materias primas para la industria cerámica en el corredor palora-san juan bosco de la provincia de Morona Santiago*". S.l.: Escuela Superior Politecnica De Chimborazo.

LITHERLAND, M., ASPDEN, J. & JEMIELITA, R., *Los cinturones metamórficos del ecuador* [en línea]. S.l.: Linney Colour Print Ltda. Disponible en: <https://archive.org/details/1994-litherland-los-cinturones-metamorficos-del-ecuador-sp/page/n9/mode/2up?view=theater>.

MARÍN, G., *Caracterización de arcillas rojas para el uso de fabricación de ladrillos, dentro del sector timbiana, Morona Santiago*. S.l.: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

MURRAY, H., *Applied Clay Mineralogy*. first. Indiana: Elsevier. ISBN 9780444517012.

PINO, E., MEJÍA, M. & JARAMILLO, J., Investigación de materias primas para la industria alafarera en el corredor palora-san juan bosco de la provincia de Morona Santiago. *Geoespacial* [en línea], pp. 15-32. Disponible en: <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/revista-geoespacial/article/view/1276/938>.

RAMOS, E., GUZMÁN, J., SANDOVAL, M.C. & GALLAGA, Y., Caracterización de arcillas del estado de Guanajuato y su potencial Aplicación en Cerámica. *Acta Universitaria* [en línea], vol. 12, no. 1, pp. 23-30. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/416/41612102.pdf>.

SINGER, F. & SINGER, S., *Industrial Ceramics*. S.l.: Springer. ISBN 978-94-017-5257-2.

VAL, J., ANDRADE, S. & CALLE, L., *Cantón Palora Proyecto : “ Levantamiento de cartografía temática geomorfología”*. MAGAP. S.l.: s.n.

VALLEJO, C., ROMERO, C., HORTON, B.K., SPIKINGS, R.A., et. al. Jurassic to Early Paleogene sedimentation in the Amazon region of Ecuador: Implications for the paleogeographic evolution of northwestern South America. *Global and Planetary Change*, vol. 204, no. June. ISSN 09218181. DOI 10.1016/j.gloplacha.2021.103555.

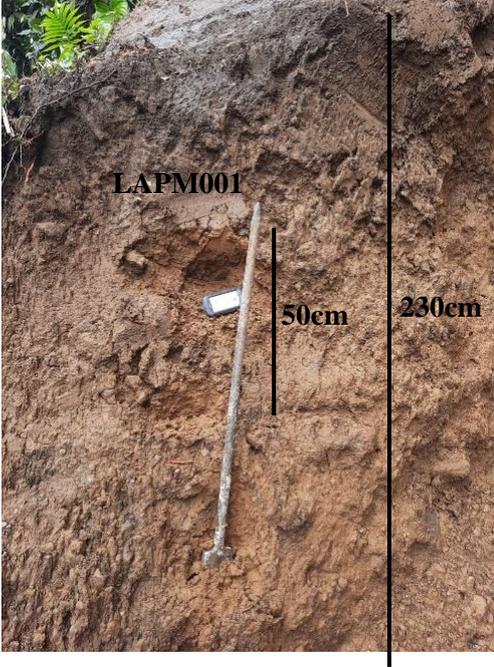
ZEA, N., *Caracterización de las arcillas para la fabricación de ladrillos artesanales* [en línea].

S.l.: Universidad de San Carlos de Guatemala. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2549_C.pdf.



ANEXOS

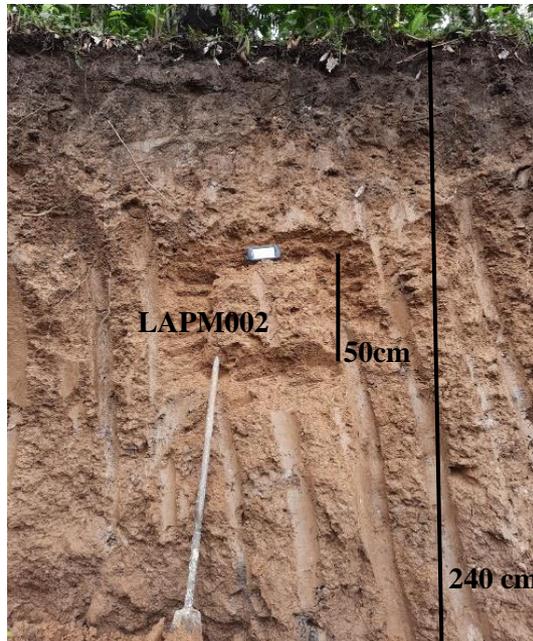
ANEXO A: FICHAS DE MUESTREO

DESCRIPCIÓN DE MUESTRA		
7. CÓDIGO • LAPM001 Material: Arcilla	8. UBICACIÓN Provincia: Morona Santiago Cantón: Palora Parroquia: Sangay Sector: Nuevo Amundalo	9. COORDENADAS: PSAD 56 X(h): 17S 828623 Y(v): 17S 9813678
10. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE LA MUESTRA Color: Rojizo Estructura: Suelo		11. CLASIFICACIÓN DEL SUCS Suelo de categoría SC arena arcillosa de baja plasticidad, no uniforme, mal graduado y la fracción final no presenta plasticidad.
12. FOTOGRAFÍA		
		

DESCRIPCIÓN DE MUESTRA

1. CÓDIGO <ul style="list-style-type: none">LAPM002 Material: Arcilla	2. UBICACIÓN Provincia: Morona Santiago Cantón: Palora Parroquia: Sangay Sector: Nuevo Amundalo	3. COORDENADAS: PSAD 56 X(h):17S 828683 Y(v): 17S 9813634
4. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE LA MUESTRA Color: Naranja Pálido Estructura: Suelo	5. CLASIFICACIÓN DEL SUCS Suelo de categoría SC arena arcillosa de baja plasticidad, no uniforme bien graduado y la fracción final no presenta plasticidad.	

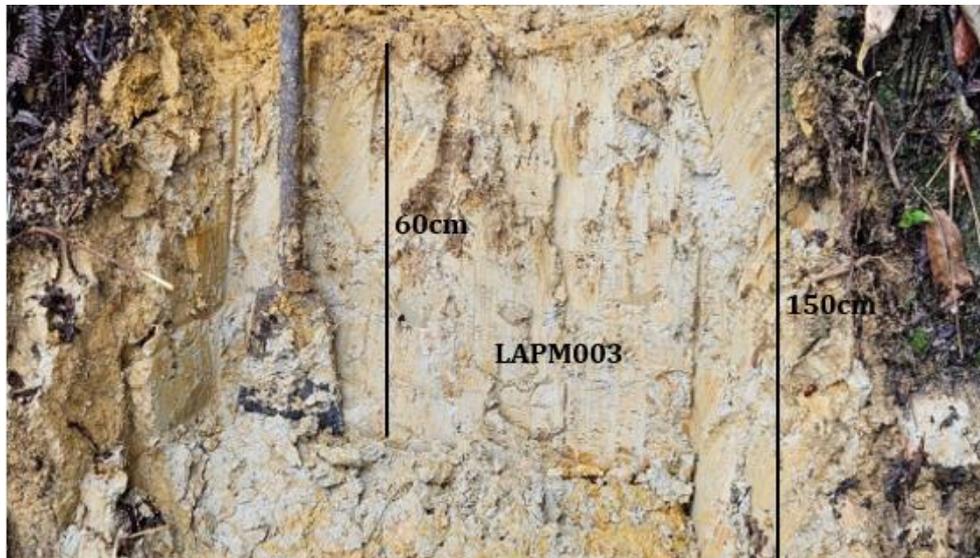
6. FOTOGRAFÍA



DESCRIPCIÓN DE MUESTRA

1. CÓDIGO <ul style="list-style-type: none">LAPM003 Material: Arcilla	2. UBICACIÓN Provincia: Morona Santiago Cantón: Palora Parroquia: Sangay Sector: Nuevo Amundalo	3. COORDENADAS: PSAD 56 X(h): 17S 828758 Y(v): 17S 9813520
4. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE LA MUESTRA Color: Amarillo Claro Estructura: Suelo	5. CLASIFICACIÓN DEL SUCS Suelo de categoría SC arena arcillosa de baja plasticidad, no uniforme bien graduado y la fracción se clasifica como CL arcilla de baja plasticidad.	

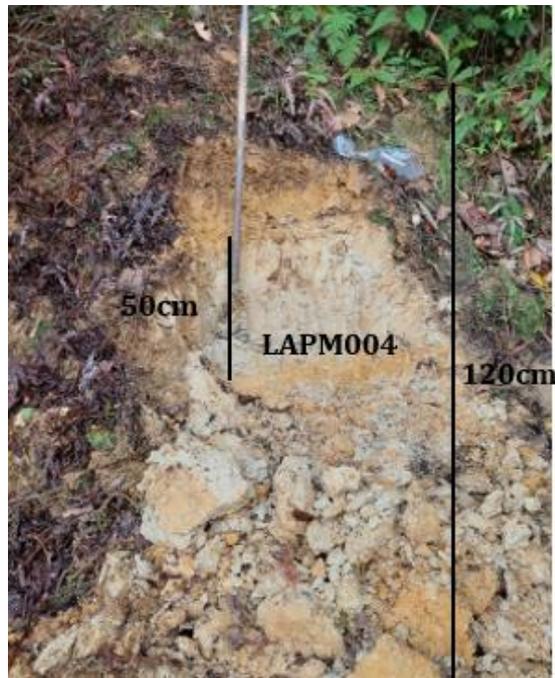
6. FOTOGRAFÍA



DESCRIPCIÓN DE MUESTRA

1. CÓDIGO <ul style="list-style-type: none">LAPM004 Material: Arcilla	2. UBICACIÓN Provincia: Morona Santiago Cantón: Palora Parroquia: Sangay Sector: Nuevo Amundalo	3. COORDENADAS: PSAD 56 X(h): 17S 828868 Y(v): 17S 9813376
4. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE LA MUESTRA Color: Gris Pálido Estructura: Suelo Conglomerado	5. CLASIFICACIÓN DEL SUCS Suelo de categoría SC arena arcillosa de baja plasticidad, no uniforme, bien graduada y la fracción como CL arcilla de baja plasticidad.	

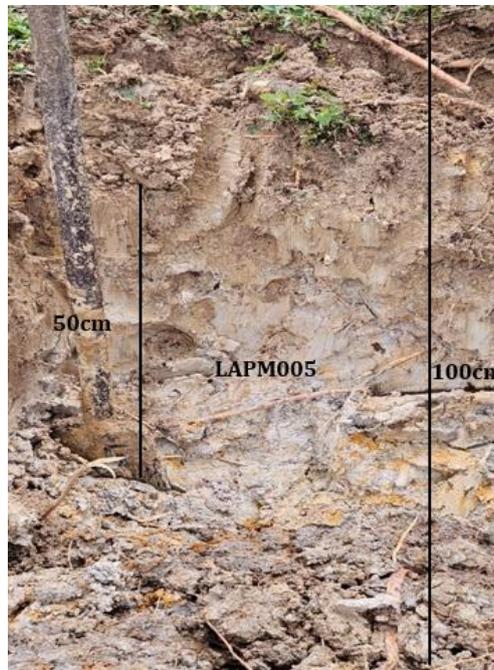
6. FOTOGRAFÍA



DESCRIPCIÓN DE MUESTRA

1. CÓDIGO <ul style="list-style-type: none">LAPM005 Material: Arcilla	2. UBICACIÓN Provincia: Morona Santiago Cantón: Palora Parroquia: Sangay Sector: Nuevo Amundalo	3. COORDENADAS: PSAD 56 X(h): 17S 828944 Y(v): 17S 9813309
4. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE LA MUESTRA Color: Gris Palido Estructura: Suelo	5. CLASIFICACIÓN DEL SUCS Suelo de categoría SM arena limosa de alta plasticidad, no uniforme, mal graduado y la fracción como MH limo de alta plasticidad.	

6. FOTOGRAFÍA



DESCRIPCIÓN DE MUESTRA

1. CÓDIGO <ul style="list-style-type: none">LAPM006 Material: Arcilla	2. UBICACIÓN Provincia: Morona Santiago Cantón: Palora Parroquia: Sangay Sector: Nuevo Amundalo	3. COORDENADAS: PSAD 56 X(h): 17S 828742 Y(v): 17S 9813229
4. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE LA MUESTRA Color: Naranja Mate Estructura: Suelo	5. CLASIFICACIÓN DEL SUCS Suelo de categoría SC arena arcillosa de alta plasticidad, no uniforme, mal graduada y la fracción como CH arcilla de alta plasticidad.	

6. FOTOGRAFÍA



DESCRIPCIÓN DE MUESTRA

1. CÓDIGO <ul style="list-style-type: none">LAPM007 Material: Arcilla	2. UBICACIÓN Provincia: Morona Santiago Cantón: Palora Parroquia: Sangay Sector: Nuevo Amundalo	3. COORDENADAS: PSAD 56 X(h): 17S 828892 Y(v): 17S 9813024
4. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE LA MUESTRA Color: Gris Estructura: Suelo Brechoso	5. CLASIFICACIÓN DEL SUCS Suelo de categoría SM arena limosa de alta plasticidad, no uniforme, bien graduado y la fracción como MH limo de alta plasticidad.	

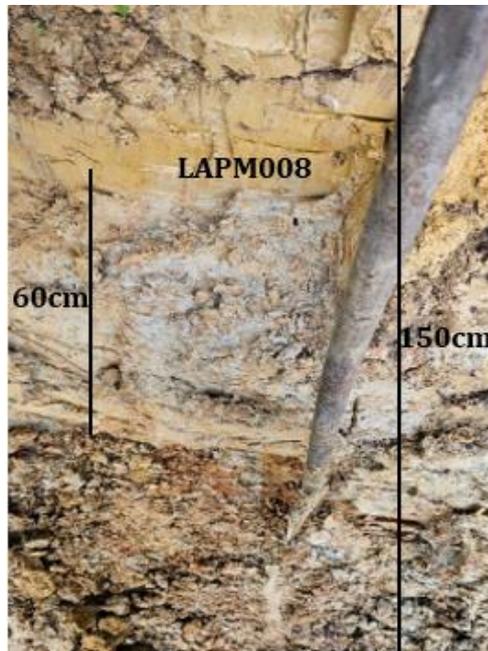
6. FOTOGRAFÍA



DESCRIPCIÓN DE MUESTRA

1. CÓDIGO • LAPM008 Material: Arcilla	2. UBICACIÓN Provincia: Morona Santiago Cantón: Palora Parroquia: Sangay Sector: Nuevo Amundalo	3. COORDENADAS: PSAD 56 X(h): 17S 828982 Y(v): 17S 9812835
4. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE LA MUESTRA Color: Amarillo Estructura: Suelo	5. CLASIFICACIÓN DEL SUCS Suelo de categoría SC arena arcillosa de alta plasticidad, no uniforme, bien graduado y la fracción como CH arcilla de alta plasticidad.	

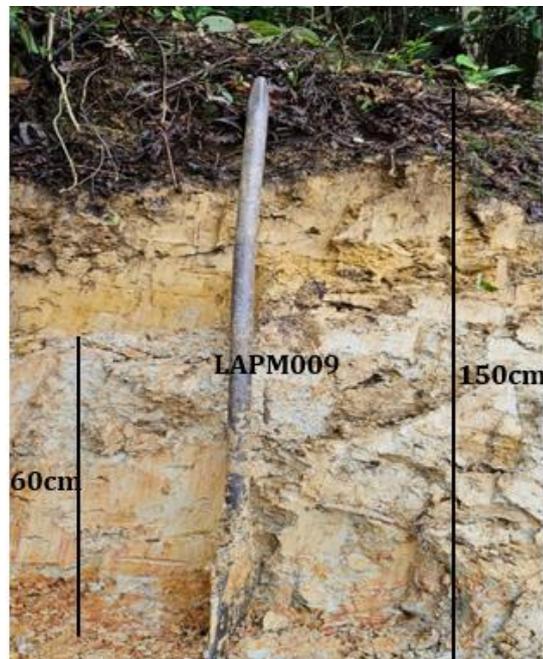
6. FOTOGRAFÍA



DESCRIPCIÓN DE MUESTRA

1. CÓDIGO <ul style="list-style-type: none">LAPM009 Material: Arcilla	2. UBICACIÓN Provincia: Morona Santiago Cantón: Palora Parroquia: Sangay Sector: Nuevo Amundalo	3. COORDENADAS: PSAD 56 X(h): 17S 828038 Y(v): 17S 9813378
4. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE LA MUESTRA Color: Naranja Estructura: Suelo	5. CLASIFICACIÓN DEL SUCS Suelo de categoría SM arena limosa de baja plasticidad, no uniforme, bien graduado y la fracción como ML limo de baja plasticidad.	

6. FOTOGRAFÍA



DESCRIPCIÓN DE MUESTRA

1. CÓDIGO <ul style="list-style-type: none">LAPM010 Material: Arcilla	2. UBICACIÓN Provincia: Morona Santiago Cantón: Palora Parroquia: Sangay Sector: Nuevo Amundalo	3. COORDENADAS: PSAD 56 X(h): 17S 828035 Y(v): 17S 9813094
4. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE LA MUESTRA Color: Gris Estructura: Suelo Conglomerado	5. CLASIFICACIÓN DEL SUCS Suelo de categoría SC arena arcillosa de baja plasticidad, no uniforme, bien graduado y la fracción como CL arcilla de baja plasticidad.	

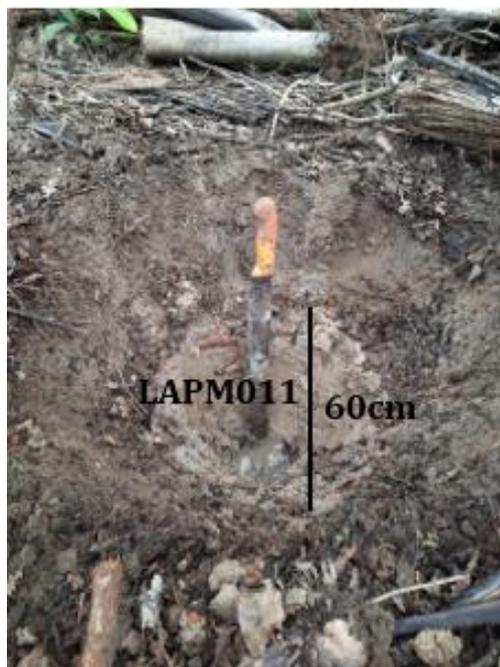
6. FOTOGRAFÍA



DESCRIPCIÓN DE MUESTRA

1. CÓDIGO <ul style="list-style-type: none">LAPM011 Material: Arcilla	2. UBICACIÓN Provincia: Morona Santiago Cantón: Palora Parroquia: Sangay Sector: Nuevo Amundalo	3. COORDENADAS: PSAD 56 X(h): 17S 828054 Y(v): 17S 9812836
4. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE LA MUESTRA Color: Negro Parduzco Estructura: Suelo	5. CLASIFICACIÓN DEL SUCS Suelo de categoría SC arena arcillosa de baja plasticidad, no uniforme, bien graduado y la fracción como CL arcilla de baja plasticidad.	

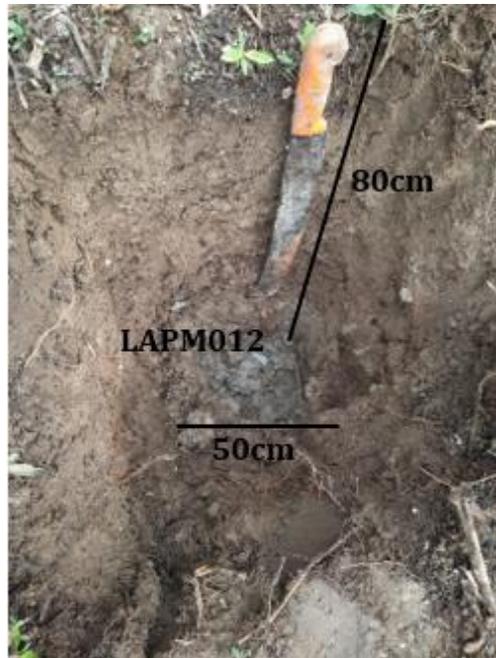
6. FOTOGRAFÍA



DESCRIPCIÓN DE MUESTRA

1. CÓDIGO <ul style="list-style-type: none">LAPM012 Material: Arcilla	2. UBICACIÓN Provincia: Morona Santiago Cantón: Palora Parroquia: Sangay Sector: Nuevo Amundalo	3. COORDENADAS: PSAD 56 X(h): 17S 828179 Y(v): 17S 9813547
4. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE LA MUESTRA Color: Negro Parduzco Estructura: Suelo	5. CLASIFICACIÓN DEL SUCS Suelo de categoría SM arena limosa de alta plasticidad, no uniforme, bien graduado y la fracción como MH limo de alta plasticidad.	

6. FOTOGRAFÍA



DESCRIPCIÓN DE MUESTRA

CÓDIGO <ul style="list-style-type: none">LAPM013 Material: Arcilla	1. UBICACIÓN Provincia: Morona Santiago Cantón: Palora Parroquia: Sangay Sector: Nuevo Amundalo	2. COORDENADAS: PSAD 56 X(h): 17S 828275 Y(v): 17S 9812982
3. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE LA MUESTRA Color: Marrón Grisáceo Estructura: Suelo	4. CLASIFICACIÓN DEL SUCS Suelo de categoría SM arena limosa de alta plasticidad, no uniforme, bien graduado y la fracción como MH limo de alta plasticidad.	

5. FOTOGRAFÍA



DESCRIPCIÓN DE MUESTRA

1. CÓDIGO <ul style="list-style-type: none">LAPM014 Material: Arcilla	2. UBICACIÓN Provincia: Morona Santiago Cantón: Palora Parroquia: Sangay Sector: Nuevo Amundalo	3. COORDENADAS: PSAD 56 X(h): 17S 828463 Y(v): 17S 9813329
4. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE LA MUESTRA Color: Marrón Grisáceo Estructura: Suelo	5. CLASIFICACIÓN DEL SUCS Suelo de categoría SM arena limosa de alta plasticidad, no uniforme, mal graduado y la fracción como MH limo de alta plasticidad.	

6. FOTOGRAFÍA



DESCRIPCIÓN DE MUESTRA

1. CÓDIGO <ul style="list-style-type: none">LAPM015 Material: Arcilla	2. UBICACIÓN Provincia: Morona Santiago Cantón: Palora Parroquia: Sangay Sector: Nuevo Amundalo	3. COORDENADAS: PSAD 56 X(h): 17S 828483 Y(v): 17S 9812896
4. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE LA MUESTRA Color: Marrón Grisáceo Estructura: Suelo	5. CLASIFICACIÓN DEL SUCS Suelo de categoría SM arena limosa de alta plasticidad, no uniforme, bien graduado y la fracción como MH limo de alta plasticidad.	

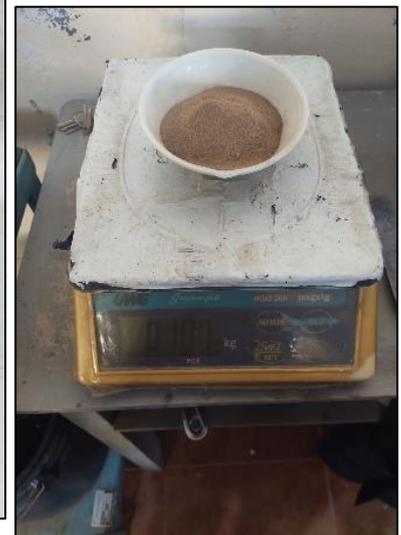
6. FOTOGRAFÍA



ANEXO B: RECOLECCIÓN DE MUESTRAS



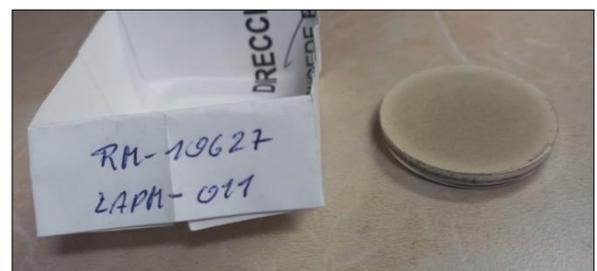
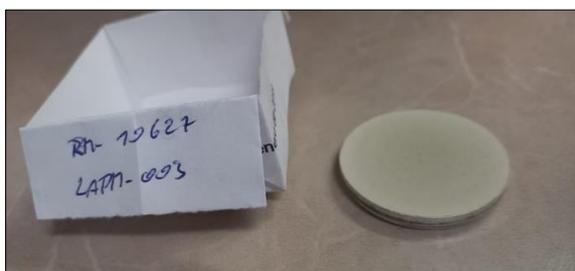
ANEXO C: ENSAYO LIMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO



ANEXO D: ENSAYO DE HIDROMETRÍA



ANEXO E: ENSAYO SEM Y FLUORESCENCIA RAYOS X



ANEXO F: ELABORACIÓN DEL LADRILLO



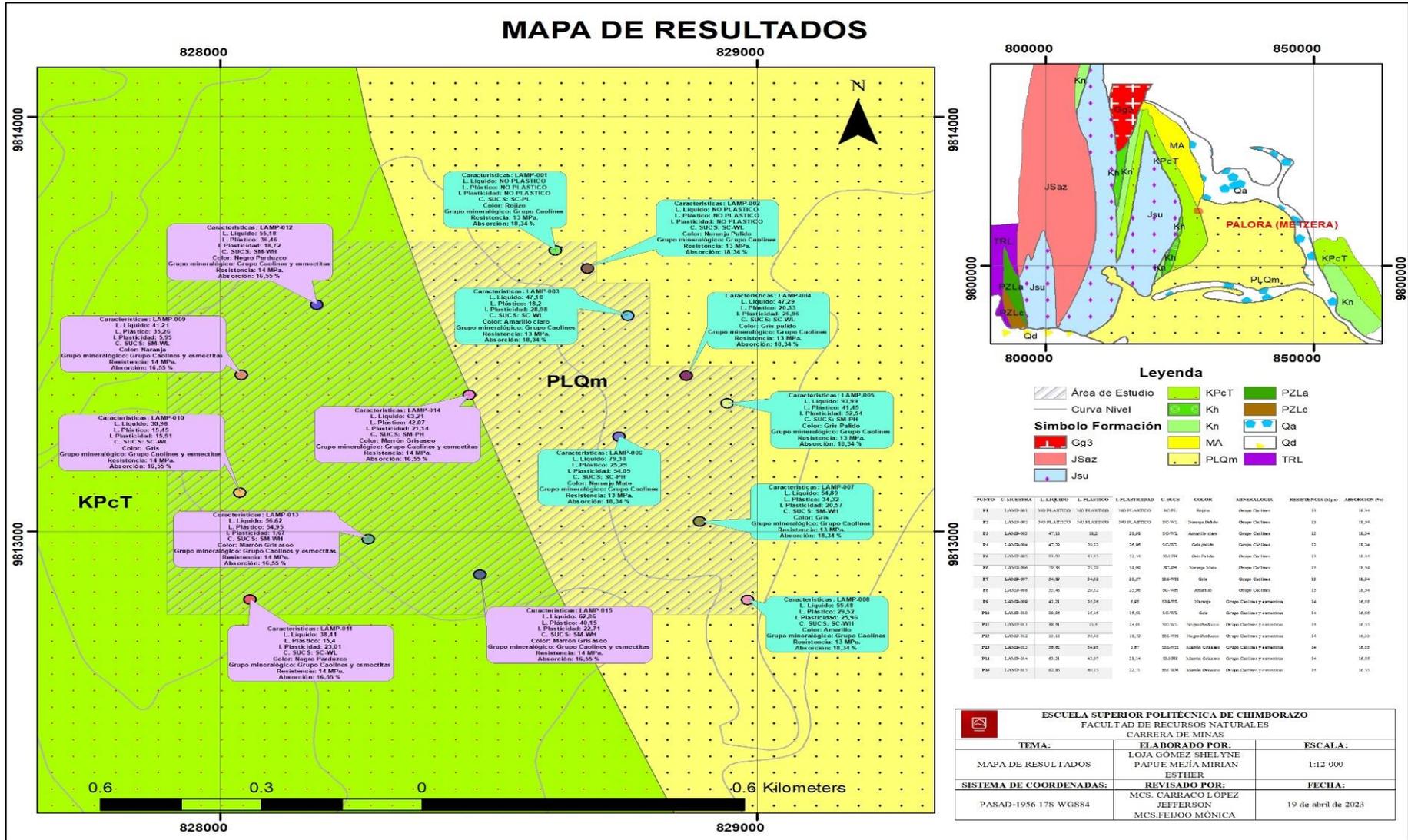
ANEXO G: ENSAYO DE ABSORCIÓN



ANEXO H: ENSAYO DE COMPRESIÓN



ANEXO I: MAPA DE RESULTADO





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE



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

Fecha de entrega: 23/ 01 / 2024

INFORMACIÓN DE LAS AUTORAS	
SHELYNE ARIANA LOJA GÓMEZ MIRIAN ESTHER PAPUE MEJÍA	
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL	
Facultad: RECURSOS NATURALES	
Carrera: MINAS	
Título a optar: INGENIERA EN MINAS	
f. Analista de Biblioteca responsable:	 Ing. Fernanda Arévalo M.



0099-DBRA-UPT-2024