



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE INGENIERO EN GEOLOGÍA Y MINAS

Caracterización del grado de dispersión en arcillas de la zona Sur-Oeste de la cuenca sedimentaria de Loja, para determinar potencial de generación de procesos de *piping*.

TRABAJO DE TITULACIÓN.

AUTOR: Martínez Jiménez, Víctor Horacio

DIRECTORA: Briceño Sarmiento, Tamara Cristina, M.Sc.

LOJA-ECUADOR

2018



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2018

APROBACIÓN DE LA DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Magister.

Tamara Cristina Briceño Sarmiento

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: Caracterización del grado de dispersión en arcillas de la zona Sur-Oeste de la cuenca sedimentaria de Loja, para determinar potencial de generación de procesos de *piping* realizado por Víctor Horacio Martínez Jiménez, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, junio de 2018

f)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Víctor Horacio Martínez Jiménez declaro ser autor del presente trabajo de fin de titulación: Caracterización del grado de dispersión en arcillas de la zona Sur-Oeste de la cuenca sedimentaria de Loja, para determinar potencial de generación de procesos de *piping*, de la Titulación de Geología y Minas, siendo M.Sc. Tamara Briceño Sarmiento directora del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f:

Autor Víctor Horacio Martínez Jiménez

Cédula 1718446675

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a mis padres que son el pilar fundamental en mi formación, que me han guiado y cuidado. A mis hermanos que día a día me alegran la vida y me impulsan a seguir adelante. A mis amigos y compañeros.

AGRADECIMIENTO

A mi madre, gracias por entregarme amor incondicional, por estar ahí a cada momento, por su paciencia y entrega.

A mi padre por ser un buen hombre y haberme enseñado cual es el camino a seguir, por ser un ejemplo.

A Leticia mi hermana por ser cómplice y amiga incondicional, por cuidarme siempre y enseñarme que no hay sueño que no se cumpla.

A Druman mi hermano y amigo, por compartir su saber conmigo, por enseñarme que con trabajo duro todo se puede lograr.

A Joel mi hermano y amigo, porque que cada día me inspiras a ser mejor, por tu alegría y buena vibra que por donde vas dibuja sonrisas.

A Tamara por ser una amiga y mi directora de tesis, por su paciencia y dedicación, gracias por compartir tus conocimientos y a así poder llevar a cabo este trabajo de investigación.

A Cristian colega y amigo con el que realice esta investigación con el que estoy agradecido por siempre estar en las buenas y malas.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO I.....	4
GENERALIDADES.....	4
1.1 Antecedentes.....	5
1.2 Justificación.....	6
1.3 Objetivos.....	6
1.3.1 Objetivo General.....	6
1.3.2 Objetivos Específicos.....	7
1.4 Características físico geográficas de la zona.....	7
1.4.1 Ubicación.....	7
1.4.2 Acceso.....	7
1.4.3 Clima y vegetación.....	7
1.5 Contexto Geológico.....	9
1.5.1 Geología Regional.....	9
1.5.2 Geología Local.....	12
1.5.3 Evolución de la cuenca.....	12
CAPÍTULO II.....	15
MARCO TEÓRICO.....	15
2.1. Descripción de las arcillas.....	16
2.2. Arcillas.....	16
2.3. Propiedades Físicas.....	19
2.4. Propiedades Químicas.....	19
2.5. Origen geológico de las arcillas dispersivas.....	20
2.6. Procesos de piping.....	21
2.7. Mecanismos de arcillas dispersivas.....	22
CAPÍTULO III.....	23
METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	23
3.1 Recopilación de Información.....	24
3.2 Métodos de reconocimiento en campo de arcillas dispersivas.....	24
3.3 Ensayos de Laboratorio utilizados para reconocimiento de arcillas dispersivas.....	25
3.3.1. Método del picnómetro.....	25
3.3.2. Determinación del pH.....	25

3.3.3. Límites de Atterberg ASTM D4318-95.....	26
3.3.4. Difracción de Rayos X (DRX).....	28
3.3.5. Ensayo de Crumb.....	28
3.3.6. Ensayo de Doble Hidrómetro	29
CAPÍTULO IV:	40
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	40
4.1 Reconocimiento de puntos de muestreo.....	41
4.2 Ensayo de Picnómetro.....	42
4.3 Potencial Hidrogeno (pH)	43
4.4 Difracción de Rayos X (DRX)	43
4.5 Límites de Atterberg.....	45
4.6 Ensayo de Crumb	46
4.7 Ensayo de Doble Hidrómetro	48
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	49
CONCLUSIONES.....	57
RECOMENDACIONES	58
BIBLIOGRAFÍA.....	59
ANEXOS.....	63
ANEXO I: LÍMITES DE ATTERBERG.....	64
ANEXO II: CARTA DE CASAGRANDE	71
ANEXO III: DIFRACTOGRAMAS DRX	72
ANEXO IV: DOBLE HIDRÓMETRO.....	84
ANEXO V: ENSAYO DE CRUMB	105
ANEXO VI: FICHAS DE AFLORAMIENTO.....	114

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Proceso de defloculación.	5
Ilustración 2. Mapa de ubicación de la zona de muestreo	8
Ilustración 3. Columna estratigráfica de la cuenca sedimentaria de Loja.....	10
Ilustración 4. Formación Quillollaco en la vía de Integración Barrial.....	12
Ilustración 5. Estructuras atómicas básicas de los minerales de arcilla.	16
Ilustración 6 Láminas formadas por estructuras atómicas básicas.....	17
Ilustración 7. Minerales de arcilla.....	18
Ilustración 8. Lectura del pH.	26
Ilustración 9. Límite plástico	27
Ilustración 10. Ensayo de Crumb.....	29

Ilustración 11. Ensayo de Crumb, muestra con dispersión	29
Ilustración 12. Aparato de agitación mecánica	32
Ilustración 13. Agitación de la muestra de forma manual	33
Ilustración 14. Bomba de vacío conectada al matraz con la muestra.....	38
Ilustración 15. Puntos de muestreo.	41
Ilustración 16, Gráfica de casagrande para	45
Ilustración 17. Ensayo de Crumb, muestra en agua potable y agua	46
Ilustración 18. Arcillas dispersivas piping via de Integración Barrial.....	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factor de Corrección para gravedades específicas	35
Tabla 2. Valores de L para lecturas de hidrómetro	35
Tabla 3. Valores de K en función de la temperatura y Gs.....	36
Tabla 4. Coordenadas de puntos de muestreo (WGS84)	42
Tabla 5. Resultados de gravedad específica.....	42
Tabla 6. Resultados de pH.....	43
Tabla 7. Resultados de DRX.....	43
Tabla 7. Cálculo del Índice de plasticidad	45
Tabla 8. Resultados de Índice de plasticidad	46
Tabla 9. Resultados de Crumb en agua normal.....	47
Tabla 10. Resultados de Crumb en agua destilada	47
Tabla 11. Resultado de hidrometría D422 y análisis.....	48
Tabla 12. Resultado de hidrometría D421 y análisis.....	48
Tabla 13. Resultados de doble hidrómetro	49
Tabla 15. Comparación de pH y Crumb.	50
Tabla 16. Comparación entre doble hidrómetro y pH.....	51
Tabla 17. Comparación entre índice de plasticidad con Crumb y Doble Hidrómetro.....	53
Tabla 18. Correlación de valores obtenidos en el trabajo.....	54

RESUMEN

Identificar la existencia de arcillas dispersivas es de vital importancia al momento de reconocer riesgos geológicos, dichas arcillas a ser susceptibles en la presencia de un flujo hidráulico pueden generar estructuras de *piping* de esta manera debilitan la estructura del suelo. En esta investigación se documentó de manera cualitativa y cuantitativa el porcentaje de dispersión mediante el ensayo de Crumb (ASTM 6572) y de Doble hidrómetro se obtuvieron resultados de dispersión considerables, los que representa un peligro palpable en la zona de estudio.

Palabras clave: *Piping*, Arcillas dispersivas.

ABSTRACT

Identifying the dispersed clays existence has vital importance at time to evaluate geological risks, this clay materials are susceptible to hydraulic flow, and as a result they can generate piping structures; which are responsible of progressive weakness in structure of soil. In this investigation, the analysis of qualification and quantification of the percentage of dispersion by the Crumb test (ASTM 6572) and Double hydrometer test is presented, through them the result was a considerable dispersion of the samples, which represent a palpable danger in the study area.

Keywords: Pipes, dispersive clays.

INTRODUCCIÓN

Las arcillas dispersivas son suelos de grano fino en donde las partículas espontáneamente se separan una de la otra al contacto con agua prácticamente tranquila, esto es debido a la presencia de sodio. Estos suelos son susceptibles a disolución y principalmente han sido asociados a problemas en estructuras hidráulicas, pero pueden afectar a cualquier obra de ingeniería.

Los suelos arcillosos eran considerados altamente resistentes al agua en la actualidad se ha descartado esta teoría. Actualmente se han identificado arcillas altamente erosivas como lo son las arcillas dispersivas. Las arcillas dispersivas a diferencia de las demás arcillas sufren un proceso de dispersión en el que el suelo tiende a deflocular espontáneamente cuando está expuesto a flujo hidráulico esto causada por la repulsión electrostática entre las partículas de la arcilla, resultando en la formación de una suspensión coloidal (Porteros & Hurtado, 1999).

El principal objetivo de esta investigación es determinar el nivel de dispersión de arcillas en la zona Sur-Oeste de la cuenca de Loja. Para el desarrollo de este trabajo se han localizado doce afloramientos ubicados en la zona sur-oeste de la cuenca de Loja los que han permitido caracterizar mediante trabajos de campo y de laboratorio la existencia de arcillas dispersivas y estructuras de *piping*.

Este proyecto de fin de titulación se ha dividido en cuatro capítulos, el primer capítulo donde se detalla los antecedentes, objetivos, características físicas y geográficas para finalmente hablar de la geología local y regional. En el segundo capítulo hablamos de las características físico químicas de las arcillas dispersivas, propiedades mecánicas, como se producen los procesos de *piping*. En el tercer capítulo se detalla los métodos utilizados para reconocer arcillas dispersivas. En el cuarto capítulo se muestra resultados, discusión y conclusiones.

CAPÍTULO I
GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

Sherard (1972) habla acerca de que los suelos dispersivos, son suelos susceptibles a la defloculación es decir que en presencia de flujo hidráulico la arcilla se comporta de manera semejante a las partículas granulares lo que provoca que se erosiona relativamente rápido como se muestra en la ilustración 1.

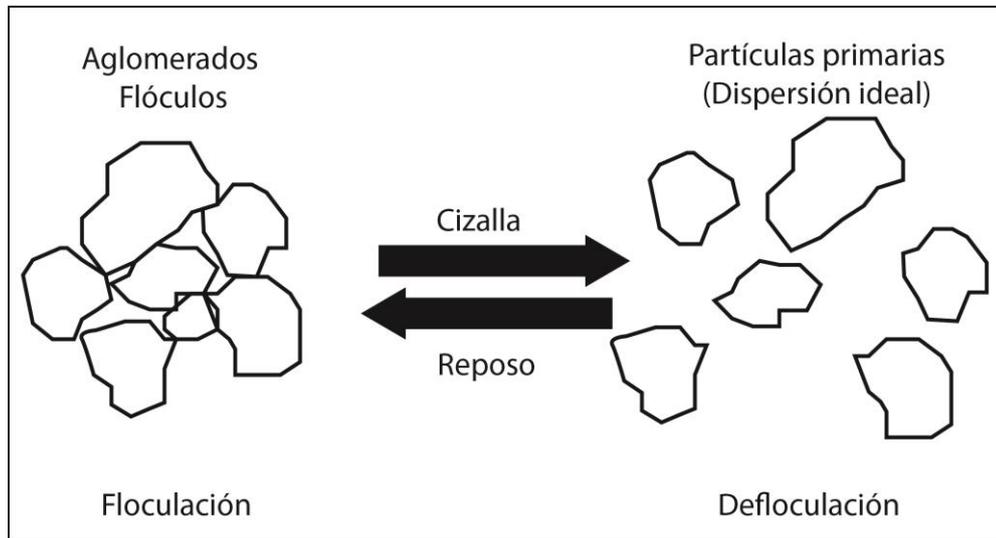


Ilustración 1. Proceso de defloculación.

Fuente: Jaime (2009)

Elaboración: El autor

El agua intersticial con un bajo contenido de sales actúa como un catalizador del proceso de defloculación, si las cargas hidráulicas son bajas no tiene importancia, este tipo de movimientos crean conductos que tienden a aumentar sus dimensiones con el tiempo ya que generan pérdidas de masa de suelo esto es conocido como *piping*. Las propiedades químicas, mineralogía, tipo y cantidad de sales disueltas en los poros más el agua que se infiltra todo esto condiciona la erosión rápida en las arcillas dispersivas (Sherard, 1972). Una de las características principales de estas arcillas son el tipo de cationes disueltos en el agua intersticial y sumada la adherencia de la doble capa de difusión de la partícula. Los cationes de sodio predominan los mismos que poseen mayor fuerza electrostática que otros cationes como son los de calcio, potasio y magnesio que son típicos de arcillas expansivas (Holmgren & Flanagan, 1977). Esto provoca que todos los cationes Na^+ sean más susceptibles a ser arrastrados por el agua que cationes Ca^{2+} y Mg^{2+} .

El estudio de materiales dispersivos remonta al siglo XX. Es de suma importancia el conocimiento de este fenómeno para la ingeniería. Las arcillas dispersivas fueron reconocidas por primera vez en 1960, cuando se investigó en Australia el fallo por sifonamiento de pequeñas presas homogéneas de arcilla. Luego de este precedente se han realizado varias investigaciones realizadas para detallar de mejor manera los procesos de identificación de arcillas dispersivas, a diferencia de otras arcillas estas no pueden ser

identificadas con ensayos típicos de caracterización de arcillas, no pueden ser identificadas por los ensayos de laboratorio convencionales normados; la clasificación visual, gravedad específica, granulometría, o límites de Atterberg (González & Armas, 2008).

En el país existen pocos casos de estudio de arcillas dispersivas entre los que podemos mencionar el estudio realizado por Cabrera & Delgado (2002) para la identificación de arcillas dispersivas en suelos de la presa Chojampe 2, en el cual se analiza el material con el que se construirán las presas de tierra del Proyecto Pacalori mediante Pinhole y el ensayo de Total de Sales Disueltas; así como también podemos mencionar el trabajo Estudio de arcillas dispersivas y sensitivas en la zona del canal San Antonio, Manabí realizado por Acuña y otros (2015), el mismo que tuvo como objetivo brindar técnicas del uso de cal para el tratamiento de arcillas para evitar deslizamientos del canal San Antonio en Manabí.

A nivel mundial los países se han presentado problemas con arcillas dispersivas son; México, Tailandia, Brasil, Australia, Grecia, Zimbabue, Estados Unidos, Pakistán, Cuba, Argentina, Colombia y Turquía.

1.2 Justificación

En la ciudad de Loja no existe precedente alguno sobre arcillas dispersivas, por lo que ha surgido el interés de realizar un estudio al observar estructuras relacionadas con materiales dispersivos, los daños que están causando y que posiblemente este sea el motivo del deterioro de la vía de Integración Barrial y el mal estado de la nueva ciudadela en el barrio Daniel Álvarez.

Se escogió esta zona debido a una primera observación donde se identificaron ciertas estructuras de tubificación (*pipes*) las cuales son indicadoras de presencia de arcillas dispersivas. Estas arcillas son susceptibles a la separación de partículas individuales de esta manera en contacto con el agua que se infiltra por los poros y grietas genera erosión, en el caso de corroborar su presencia, sería un punto muy importante a tener en cuenta que este material se relaciona con tasas de erosión hídrica elevadas y es un condicionante de movimientos de ladera.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Determinar el nivel de dispersión de arcillas en la zona Sur-Oeste de la cuenca de Loja.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar los procesos de *piping* de la cuenca Sur-Oeste de Loja, Ecuador.
- Obtener el porcentaje de dispersión de las arcillas.
- Identificar posibles peligros provocados por estructuras típicas de arcillas dispersivas.

1.4 Características físico geográficas de la zona

1.4.1 Ubicación

El presente trabajo de investigación se llevó a efecto en la cuenca sedimentaria de Loja, misma que forma parte de las estructuras geomorfológicas conocidas como cuencas sedimentarias intermontanas, ubicadas dentro de la Cordillera Central de los Andes al sur del Ecuador. El cantón Loja está ubicado en la región sur del Ecuador, tiene una extensión de 1.895,53 km², zonificada en 13 parroquias rurales y 6 urbanas, se encuentra geográficamente ubicado en 9501249 y 9594638 de latitud Sur, y 661421 y 711075 de longitud Oeste. La altitud del cantón oscila entre 2100 y 2135 msnm, (UNL y PNUD, 2013). La zona de exploración se indica en la ilustración 2.

1.4.2 Acceso

El acceso a los puntos de muestreo dentro del polígono de exploración se realiza en vehículo, a través de vías de primer orden como vía de Integración Barrial y la Av. de los Paltas.

1.4.3 Clima y vegetación

El clima es uno de los factores que más influye sobre las características morfológicas (externas y anatómicas), distribución geográfica y comportamiento funcional de las especies vegetales y animales. Las características climatológicas del Ecuador, como las de cualquier otra parte del planeta, responden a una diversidad de factores que modifican su condición natural, tales como: latitud geográfica, altitud del suelo, dirección de las cadenas montañosas, vegetación, acercamiento y alejamiento del Océano, corrientes marinas y los vientos. El cantón Loja tiene un tipo de clima Ecuatorial Mesotérmico Semi – Húmedo, se encuentra a una altura de 2.100 msnm. Los factores que dan origen al clima del cantón son los mismos factores que afectan a la región andina, especialmente la latitud y el relieve, en términos más generales, la zona de convergencia intertropical (ZCIT), el efecto de la interacción Océano Pacífico – atmósfera (Fenómeno El Niño Oscilación del Sur y Corriente Fría de Humboldt) y la cubierta vegetal (UNL y PNUD, 2013).

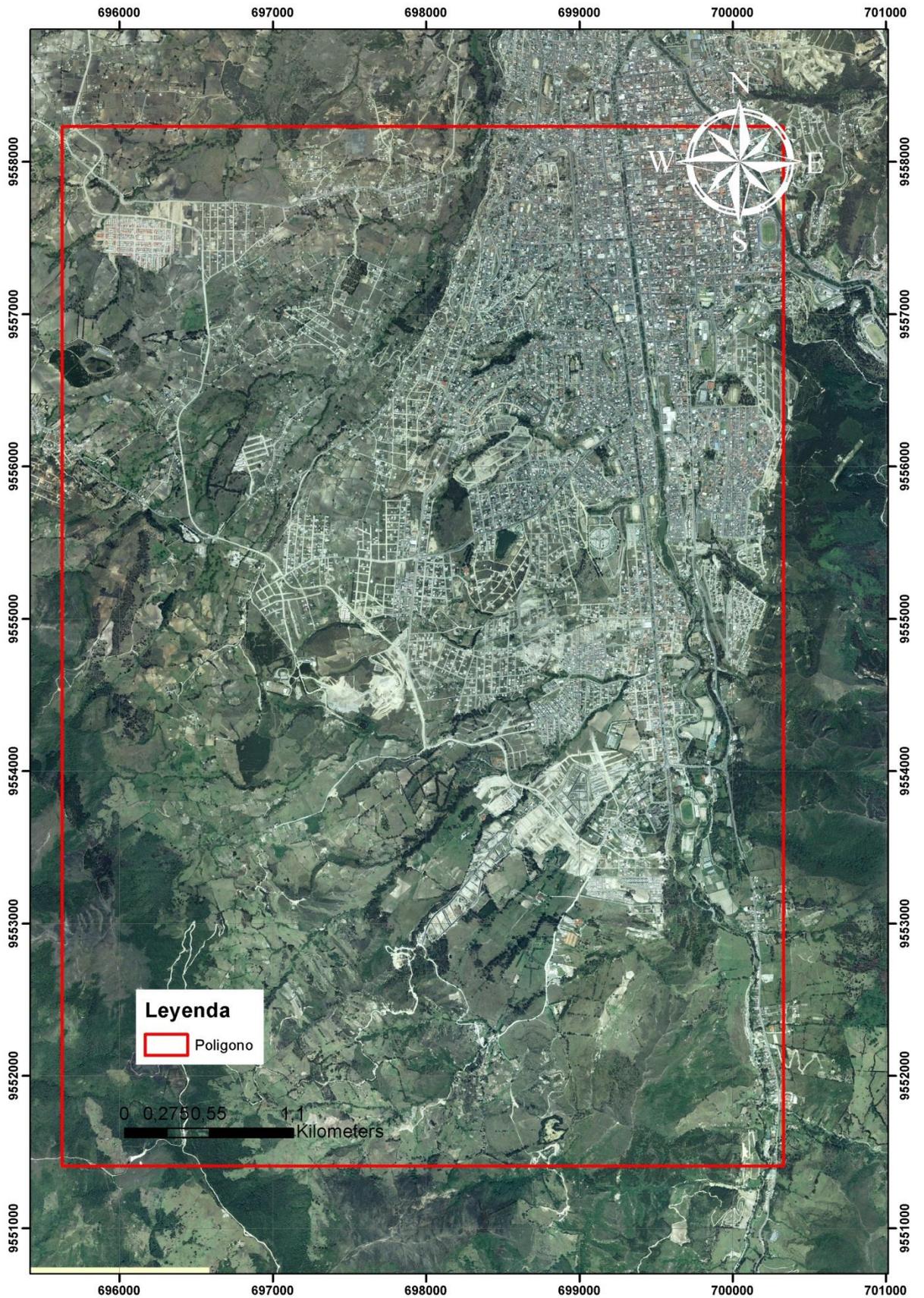


Ilustración 2. Mapa de ubicación de la zona de muestreo
 Fuente: IGM. (2010).
 Elaboración: Autor.

1.5 Contexto Geológico

1.5.1 Geología Regional

Loja se encuentra asentada en una cuenca de tipo sedimentaria consta de un basamento metamórfico denominado Unidad Chigüinda sobre la que yacen discordantemente rocas de origen sedimentario y material volcánico sedimentario restringido a la parte NW de la cuenca (Hungerbühler, y otros, 2002) la cuenca de Loja se encuentra dividida en dos secciones estratigráficas como se muestra en la ilustración 3, se compone de formaciones geológicas de similares características pero que no son iguales a excepción de la Formación Quillollaco que aflora en las dos secciones. Su deposición comienza con depósitos de tipo; fluviales, deltaicos y lacustres, que en el sector occidental la misma que corresponden al muro y techo a las formaciones Trigal, La Banda y Belén, en el oriental está integrada por los tres miembros de la formación San Cayetano, sobre ellas descansa discordantemente la formación Quillollaco. Estudios indican que la mitad oriental fue deformada por pliegues con una orientación N-S que estaría separada de la occidental por una falla vertical (Kennerly, 1973).

- **Unidad Chigüinda (Paleozoico).**

Por la parte Sur de la Cordillera Real podemos encontrar metamorfismo de edad Paleozoica (Litherland, Aspend, & Jemielita, 1994), se agrupan series metamórficas conformadas por filitas, esquistos grafitosos, cuarcitas que pertenecen a la Unidad Chigüinda con una edad aproximada del Devónico al Pérmico (420-250 M.a.). La foliación está orientada de N-NE a S-SE; la misma que aflora tanto en la parte occidental como en la parte oriental de la vía Loja-Zamora. En el sector de Tierras Coloradas, al Oeste de la cuenca, la presencia de gneis de grano medio sugiere que pertenecen a la Unidad Agoyán (Litherland y otros, 1994).

- **Formación Trigal (Mioceno Medio).**

La formación Trigal la encontramos en el margen Noroccidental de la cuenca. Está conformada por areniscas, limolitas calcáreas con finas laminaciones de lutitas en intercalaciones de conglomerados y areniscas (Kennerly, 1973).

- **Formación La Banda (Mioceno Medio Tardío).**

INIGEMM (2017) la cataloga como parte del miembro intermedio de la formación San Cayetano, y la cartografía como una estrecha franja discontinua con dirección NE-SO.

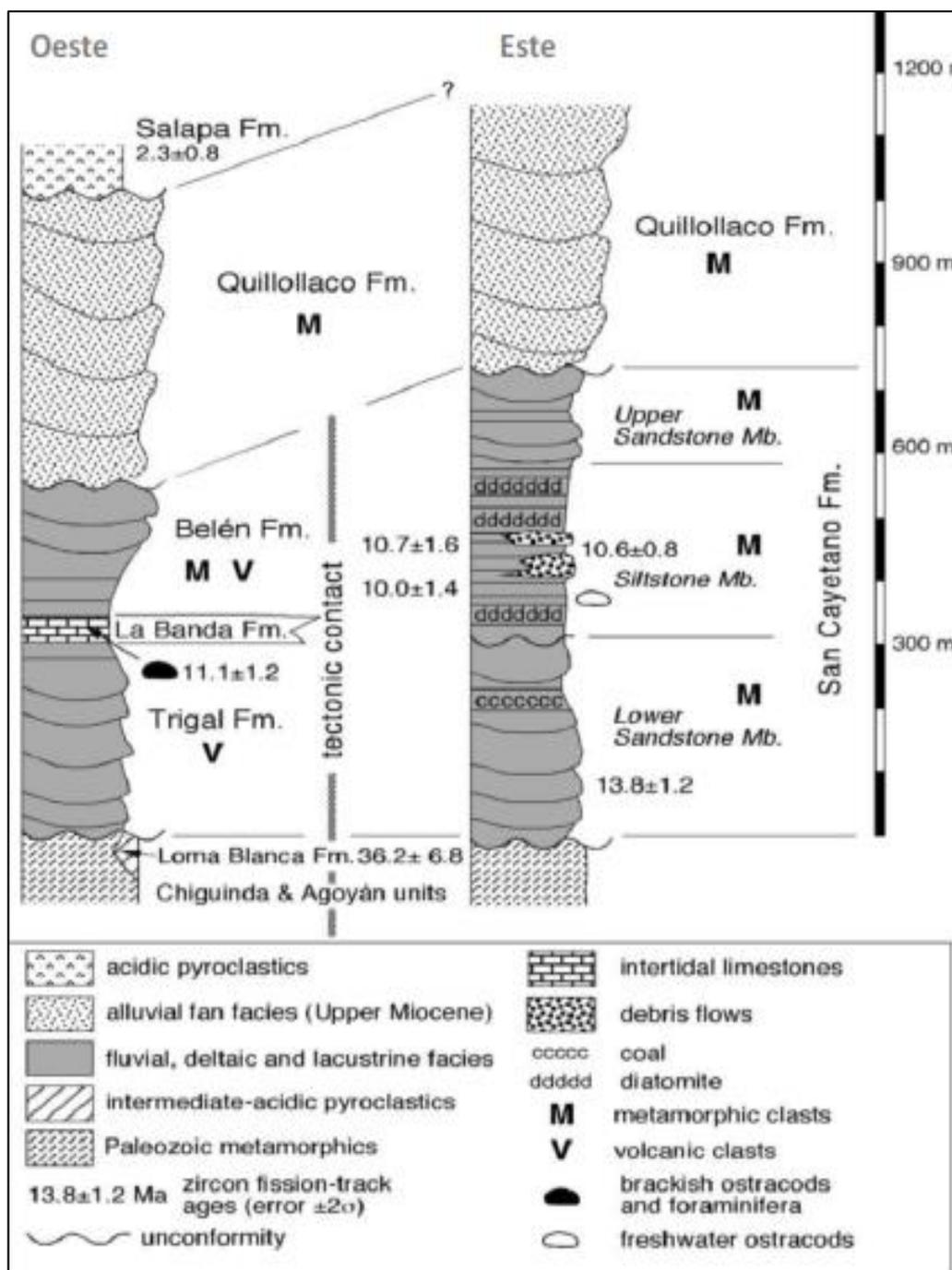


Ilustración 3. Columna estratigráfica de la cuenca sedimentaria de Loja
 Fuente: Hungerbühler, y otros, 2002.
 Elaboración: Hungerbühler, y otros, 2002.

Consta de intercalaciones de calizas blancas, láminas delgadas de lutitas carbonatadas, algunas capas de cherts (sílices) y areniscas amarillas de grano fino (Hungerbühler, y otros, 2002). Su espesor es de aproximadamente 10 a 20 m y se disponen de forma continua y horizontal. Descansa sobre la Formación Trigal con un contacto poco erosivo, y se encuentra sobrepuesta de forma concordante a la Formación Belén. Aflora en la parte Noroccidental de la cuenca, a lo largo de la vía Loja-San Lucas.

- **Formación Belén (Mioceno Medio Tardío).**

Esta formación se encuentra ubicada al Occidente de la cuenca, en el sector de Belén y consiste en gruesas capas de areniscas con un tono marrón, contienen lentes de conglomerados estratificados de manera horizontal; que ocasionalmente presentan slumps, las areniscas muestran estratificación cruzada, los clastos que forman parte de los conglomerados son de origen metamórficos en su mayoría y con menos clastos volcánicos (Hungerbühler, y otros, 2002). El máximo espesor es de 300 metros con evidencias de variaciones no regionales.

- **Formación San Cayetano (Mioceno Tardío).**

En un estudio que hizo el INIGEMM (2017) propone que está ubicada en el barrio San Cayetano y Zamora Huayco, al Oriente y Sur de la cuenca de Loja, está conformada por estratos de lutitas con ondulitas, improntas de tallos y hojas, también podemos encontrar fósiles tales como restos de gasterópodos; diatomitas, areniscas, limolitas y ocasionalmente conglomerados.

- **Formación Quillollaco (Mioceno Tardío).**

Dicha formación está conformada por conglomerados gruesos de clasto-soportados en matriz arenosa con mínimas intercalaciones de arenisca de color café, también existe la presencia de clastos metamórficos redondeados (filitas, cuarcitas, vetas de cuarzo y esquistos); hay intervalos menores de arenisca ínterestratificadas. El espesor va desde los 100 a los 600 m; aproximado son 600 metros al Sur de la cuenca, 100 m en la parte central y 500 m en la parte Este de la cuenca. Los sedimentos muestran una facies típica asociada de un ambiente de abanico aluvial, las imbricaciones de clastos implican dirección del transporte con sentido E-O.

- **Formación Salapa (Oligoceno-Mioceno).**

Está ubicada en el barrio Salapa Alto está compuesta de lavas andesíticas marrones y aglomerados andesíticos con matriz clasto-soportada, tobas purpuras muy diaclasadas y meteorizadas.

- **Depósitos Coluviales.**

Al norte de la cuenca de Loja predominan depósitos de avalancha y *debris* que presentan cantos y guijarros de rocas metamórficas en matriz arenosa (INIGEMM, 2017).

- **Depósitos Aluviales.**

Se depositan al margen del río Jipiro y Zamora, presentan granulometrías con dimensiones de bloques, cantos y guijarros de rocas volcánicas y metamórficas, con formas subredondeadas a redondeada, en una matriz arenosa poco consolidada (INIGEMM, 2017).

El INIGEMM (2017), ha identificado formaciones:

- Unidad Tres Lagunas.
- Unidad Quebrada El Volcán.

1.5.2 Geología Local

El polígono de investigación está ubicado en la zona sur oeste de la cuenca de Loja abarca la formación Quillollaco.

En polígono encontramos rocas pertenecientes a la formación Quillollaco está dominada por conglomerados en su mayoría de grano sostenido con intercalaciones de arenisca, arcilla, limos y alteraciones de óxidos de hierro como se muestra en la ilustración 4.



Ilustración 4. Formación Quillollaco en la vía de Integración Barrial.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

1.5.3 Evolución de la cuenca

La cuenca de Loja tiene una similar evolución a la de las demás cuencas sedimentarias Miocénicas del Sur del Ecuador (Cuenca, Girón, Nabón, Malacatos Vilcabamba y Catamayo - Gonzanamá) que presentan facies costeras marinas y sedimentarias continentales de edad Mioceno Medio a Tardío (Steinmann, Hungerbühler, Seward, & Winkler, 1999), aunque Lahuate (2005) les atribuye un único origen continental. La sedimentación desde 19 hasta 9

Ma (llamada Estado Pacífico Costero), fue predominantemente de tipo marino costero, extendiéndose sobre un área mucho mayor que los actuales perímetros de las cuencas. En esta etapa, la subsidencia extensional en la región interandina causó una transgresión de mares someros en las “bahías” de Loja y Cuenca, desde las cuencas de Manabí y Progreso (Hungerbühler, y otros, 2002).

El origen de la sedimentación en este período fue predominantemente la Cordillera Real. Este estado terminó cuando una etapa de compresión E-W hace aproximadamente 9.5-8Ma, exhumó la región y por tanto, la sedimentación se restringió a cuencas más pequeñas, remanentes de las cuencas extensivas más antiguas. Este período fue denominado Estado Intramontano (Steinmann y otros, 1999); y, su fuente principal fue la Cordillera Occidental. La cuenca de Loja tiene una forma elíptica elongada en dirección N-S (Kennerly, 1973). Las series sedimentarias en la cuenca de Loja están tectónicamente divididas por una falla inversa importante post-deposicional con tendencia al W, en dos partes, una oriental y otra occidental; yuxtaponiendo diferentes secuencias de sedimentos en sus límites mutuos (Hungerbühler, y otros, 2002). Dichas series yacen discordantemente sobre el basamento a los dos lados de la cuenca (Litherland y otros, 1994).

Luego de la acreción del arco volcánico Macuchi al continente en el Eoceno Medio, empieza la etapa de orogenia de los Andes ecuatorianos, paralelamente a este suceso se da la formación de las cuencas sin-orogénicas, sedimentarias lacustres de edad Miocénica, en donde se encuentra emplazada la cuenca de Loja. Esta tiene como basamento el levantamiento de los Andes Centrales (corteza continental) que inicia su evolución durante el Mioceno Medio-Superior, ciclo orogénico Barístico, en un medio lacustre, entre la Cordillera Real y la Cordillera de Tahuín, constituyendo de esta forma una de las cuencas intramontañosas Neógenas de fases lacustres, palustres y marinas más importantes de la zona Sur del Callejón Interandino. En cuanto a la evolución general de la cuenca de Loja, está representada por tres fases de desarrollo:

- Inicial (de abertura y sedimentación),
- Erosión, cierre y
- Sedimentación.

Es decir que la cuenca depositaria de los sedimentos Miocénicos de Loja fue expuesta a compresiones horizontales orogénicas, por lo tanto aparecerán los estratos y bancadas en muchos lugares plegadas y erguidas hasta la posición vertical. Este aspecto tectónico se manifiesta sobre todo hacia el lado oriental de la hoya, en donde se observa un sinclinal cuyo flanco oriental se adosa al declive de la cordillera de Zamora, y de aquí hacia el Oeste,

en un nivel más bajo, hundido a lo largo de una falla longitudinal, el amplio anticlinal que en su vértice abierto alberga a la ciudad de Loja.

La cuenca de Loja presenta una forma asimétrica, en la que predominan los sedimentos del Mioceno Inferior, Medio y Superior. En donde los sedimentos del lado Oriental se presentan inclinados con respecto al borde Oeste de la falla inversa, mientras que en lado Occidental de la hoya se presentan los conglomerados marginales y demás capas de areniscas y lutitas de la cuenca, con la fuerte inclinación hacia el Este, y separados por rupturas y hundimientos verticales en secciones escalonadas. Hacia el centro de la hoya siguen, uno tras otro, los barrancos e hileras de las crestas de los pliegues rotos por las fallas longitudinales, siempre con dirección general N-S.

Las fallas que están afectando a la ciudad de Loja han sido analizadas en base al mapa geológico estructural de la cuenca de Loja. Escala 1:100 000 tomado de J. B. Kennerley 1980 (Tamay, 2004), en el que se evidencia que como resultado de proceso orogénicos, la cuenca está controlada por un sistema de fallas.

Las fallas más importantes dentro de la cuenca de Loja tienen orientación N-S y SW-NE, las mismas que han influenciado en la división de la cuenca en secciones de deposición, oriental y occidental.

La falla incidente en la ciudad tiene una orientación N-S determina la dirección del río Malacatos al Sur y del río Zamora al Norte. Los depósitos aluviales que estos ríos han dejado están cubriendo esta falla. Esta puede ser observada al sur de la ciudad Loja-Vilcabamba.

Al norte de la cuenca, la falla con dirección NW representa el límite entre la formación Belén y San Cayetano, en tanto en la parte oriental de la cuenca atraviesa la formación Quillollaco.

En el flanco nororiental de la cuenca se observa una falla con dirección NW y otra con dirección SW-NE. Estas fallas ponen en contacto las rocas sedimentarias de la formación Quillollaco con las rocas metamórficas de la Unidad Chigüinda.

Hacia la parte occidental de la cuenca, la falla con dirección SW-NW separa la formación Quillollaco del depósito Cuaternario y de las formaciones Belén y Trigal. En este mismo flanco una falla con dirección NW-SW separa las rocas sedimentarias de las metamórficas. Respecto al sistema de pliegues, estos se localizan en la parte oriental, como resultado de movimiento inverso de la falla de borde.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1. Descripción de las arcillas

Los materiales dispersivos al tener una gran tendencia a la erosión por dispersión hay algunos factores que se deben considerar es como la mineralogía y propiedades químicas de las arcillas, así como las sales disueltas en el agua en los poros del suelo y en el flujo de agua erosionable. Este flujo se trata de un movimiento lento y erosiona rápidamente las arcillas, es incluso mucho más rápido en comparación con suelos no cohesivos, arenas finas y limos. Los coloides y cationes de las moléculas de arcilla son separados y arrastrados por el flujo de agua a la salida del flujo de filtración, aún con la presencia de un filtro. Esta erosión puede comenzar en una grieta seca, una hendidura por asentamiento, una fractura hidráulica u otro canal de alta permeabilidad en una masa de suelo (Knodel, 1991).

2.2. Arcillas

Los minerales arcillosos son formados principalmente por la meteorización química de las rocas, es decir que estos minerales son producto de la alteración de minerales preexistentes en la roca. Estos minerales son tan diminutos que sólo pueden ser vistos utilizando un microscopio electrónico.

Los principales elementos químicos constituyentes de estos minerales son átomos de: silicio, aluminio, hierro, magnesio, hidrógeno y oxígeno. Estos elementos atómicos se combinan formando estructuras atómicas básicas, que combinándose entre sí forman láminas, la que al agruparse forman estructuras laminares que finalmente al unirse por medio de un enlace forman un mineral de arcilla.

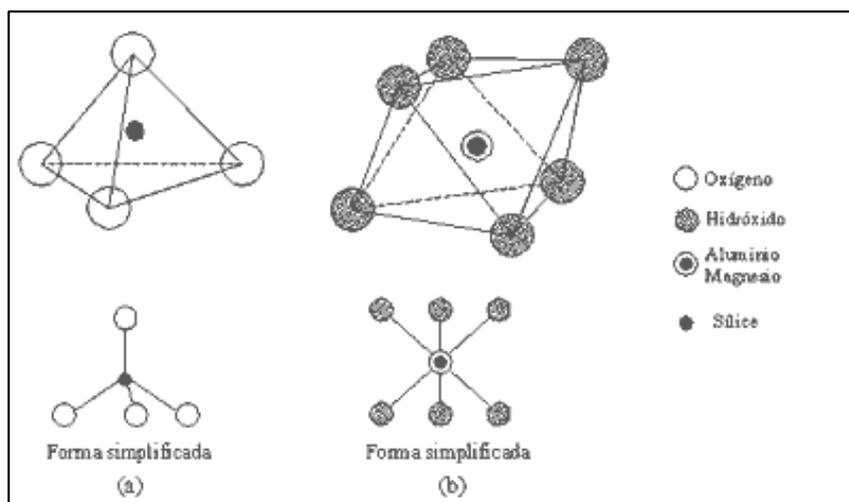


Ilustración 5. Estructuras atómicas básicas de los minerales de arcilla.

Fuente: Whitlow (1994).

Elaboración: Whitlow (1994).

En la ilustración 5 se muestra las dos unidades estructurales básicas de los minerales de arcilla, que son: la unidad tetraédrica constituida por un ion de silicio rodeado por cuatro átomos de oxígeno (Ilustración 5a) y la unidad octaédrica formada por un ión central de aluminio o magnesio rodeado por seis iones de oxidrilo (Ilustración 5b). En ambos casos el metal con valencia positiva está situado en el interior, mientras que los iones no metálicos con valencia negativa forman el exterior.

Las estructuras laminares mostradas en la ilustración 6 se forman cuando varias unidades atómicas básicas se enlazan covalentemente mediante los iones de oxígeno u oxidrilo. Entre las estructuras laminares se tiene la lámina tetraédrica y octaédrica.

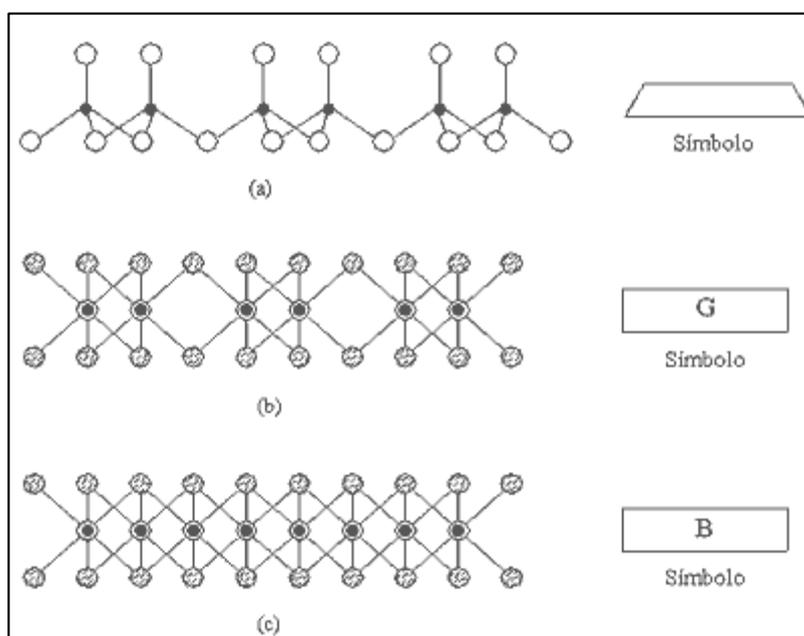


Ilustración 6 Láminas formadas por estructuras atómicas básicas.
Fuente: Whitlow (1994).
Elaboración: Whitlow (1994).

En la ilustración 6a se muestra una lámina tetraédrica llamada sílice, que está formada por tetraedros enlazados que comparten dos átomos de oxígeno, la forma simbólica de representar esta lámina es por medio de un trapecio. La ilustración 6b muestra una lámina octaédrica formada por octaedros de aluminio enlazados que forman una estructura dioctaédrica llamada alúmina o gibsita, simbólicamente está representada por un rectángulo con letra G. La lámina de la ilustración 6c, corresponde a una lámina formada por octaedros de magnesio que forman una estructura trioctaédrica llamada brucita, simbólicamente está representada por un rectángulo con letra B.

La separación entre los iones externos de las láminas de tetraédricas y octaédricas es suficiente para que ambas láminas puedan unirse por medio de iones oxígeno u oxidrilo

mutuamente; esto hace posible la formación de estructuras laminares de dos o de tres láminas.

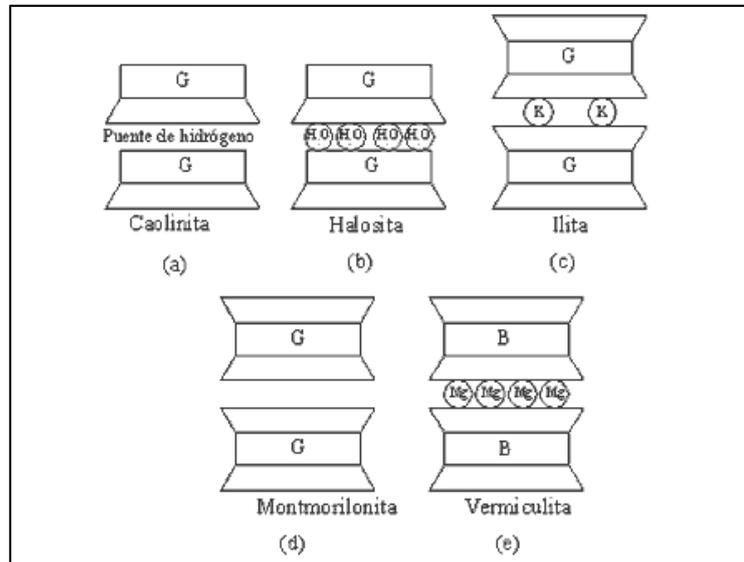


Ilustración 7. Minerales de arcilla.

Fuente: Whitlow (1994).

Elaboración: Whitlow (1994).

Grupo de la caolinita.- La caolinita ($Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$) es el principal constituyente del caolín y las arcillas para porcelana. Las caolinitas son producto de la meteorización del feldespato ortoclasa proveniente del granito y comúnmente se encuentran en suelos compuestos de sedimento. La caolinita se presenta en hojuelas hexagonales de tamaño pequeño, su estructura consiste en una distribución de dos láminas de sílice y gibsita fuertemente enlazadas (Ilustración 7a). Algunos minerales de arcilla que pertenecen a este grupo son: la dickita que tiene la misma composición de la caolinita pero con un orden diferente en sus láminas y la halosita que generalmente aparece en algunos suelos tropicales, cuyas láminas en forma tubular están enlazadas por moléculas de agua (Ilustración 7a).

Grupo de la illita.- La illita es el resultado de la meteorización de las micas, es similar en muchos aspectos a la mica blanca pero tiene menos potasio y más agua en su composición. Se presenta en forma de hojuelas y su estructura consiste en arreglos de tres láminas de gibsita con los iones de K proporcionando el enlace entre láminas adyacentes de sílice como muestra la Ilustración 7c. Debido a que el enlace es más débil que el de la caolinita sus partículas son más pequeñas y delgadas.

Grupo de la montmorillonita.- La montmorillonita es el constituyente principal de la bentonita y otras variedades similares de arcilla. Las montmorillonita suelen ser el resultado de la meteorización del feldespato plagioclasa en los depósitos de ceniza volcánica. Su estructura fundamental consiste de distribuciones de tres láminas, cuya lámina octaédrica

intermedia es casi siempre gibsita o en otro caso brucita. Diversos enlaces metálicos además del potasio (K) forman enlaces débiles entre las láminas como muestra Ilustración 7 d. Una característica particular de los minerales del grupo de la montmorillonita es su considerable aumento de volumen al absorber partículas de agua.

Grupo de la vermiculita.- Este grupo contiene productos de la meteorización de la biotita y la clorita. La estructura de la vermiculita es similar a la montmorillonita, excepto que los cationes que proporcionan los enlaces entre láminas son predominantemente Mg, acompañados por algunas moléculas de agua como muestra la Ilustración 7e.

2.3. Propiedades Físicas.

Al hablar de arcillas dispersivas debemos decir que cualquier arcilla puede ser dispersiva, pueden ser rojas, cafés, grises, amarillas o las combinaciones de los mismos. Suelos negros con un alto contenido de materia orgánica no son dispersivos debido a que en este tipo de materiales se tiende a la alta compresibilidad. La mayoría de los suelos de grano fino que se derivan de la meteorización de rocas ígneas y metamórficas no son dispersivos, también no son dispersivos los suelos derivados de piedra caliza (Knodel, 1991).

Mientras sucede el fenómeno de dispersividad las partículas de arcilla tienen una mínima cantidad de atracción electroquímica gracias a esto se adhieren estrechamente a otras partículas de suelo. El tipo de arcilla, el pH, la materia orgánica, temperatura, contenido de agua, tixotropía son los factores que afectan al esfuerzo de corte crítico requerido para iniciar la erosión (Acuña, 2015).

Dicho flujo es de movimiento lento y esto provoca que se erosione de forma rápida las arcillas, incluso más rápido que los suelos no cohesivos, arenas finas y limos. Los coloides junto con los cationes de las moléculas de arcilla son separados y arrastrados por el flujo de agua a la salida del flujo de filtración, esto se da aún con la presencia de un filtro. Esta erosión puede comenzar en una grieta seca, una hendidura por asentamiento, una fractura hidráulica u otro canal de alta permeabilidad en una masa de suelo (Knodel, 1991).

2.4. Propiedades Químicas.

Se puede decir que la diferencia principal entre las arcillas dispersivas y las que ordinariamente resisten la erosión interna radica en el tipo de cationes disueltos en el agua intersticial los que se adhieren a la doble capa de difusión de la partícula. En aquellas arcillas que tienen un comportamiento dispersivo predominan los cationes de sodio (Na^+),

mientras que en las ordinarias predominan los cationes de calcio (Ca^{2+}), potasio (K^+) y magnesio (Mg^{2+}).

Los cationes de sodio (Na^+) tienen valencia 1+, por lo que la fuerza electrostática que lo fijan a la partícula sólida de arcilla es menor que la que ocurre en el caso de los cationes de calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}), con valencia 2+. Además, se necesita un mayor número de cationes de sodio para satisfacer la carga electrostática de la partícula de arcilla. Por tal razón, los cationes (Na^+) son más propensos a ser arrastrados por el agua, que los cationes (Ca^{2+}) y (Mg^{2+}).

En comparación con el potasio (K^+), los cationes de sodio tienen menor radio, por lo que tienen mayor tendencia hacia la interacción ión-dipolo con las moléculas de agua. Por tanto, aunque los cationes de sodio (Na^+) y potasio (K^+) tienen igual valencia 1+, los primeros son arrastrados con mayor facilidad.

Con la salida de los cationes de sodio disminuyen las dimensiones de las partículas de arcilla y las fuerzas que las enlazan, formándose oquedades que facilitan su arrastre. El flujo de agua con bajo contenido de sales, activa y acelera el proceso, incluso con cargas hidráulicas muy bajas, creando pequeños conductos que con el tiempo se convierten en grandes sifones y ocasionan pérdidas de volúmenes de agua e inestabilidad en las masas de suelo. El agua remanente es turbia, cargada con una suspensión coloidal de partículas de arcilla entre las que median fuerzas electrostáticas de repulsión. Los cationes de sodio disueltos no son tan efectivos como los de otros elementos al neutralizar la carga de los coloides, por lo que las partículas de arcilla continúan repeliéndose y la suspensión es estable. En presas de tierra construidas con estas arcillas se origina el “sifonamiento mecánico”, una de las causas de falla catastrófica en este tipo de estructuras (González Haramboure & Armas Novoa, 2008).

2.5. Origen geológico de las arcillas dispersivas.

Sería especular si se afirma que estas arcillas deban su origen a rocas que estuvieron en algún tiempo geológico sumergidas en el mar, donde pudieron haber adquirido los niveles de sodio que las caracterizan.

Las arcillas dispersivas no tienen una base que sustente definitivamente su origen geológico concreto, pero la gran mayoría de ellas han sido encontradas en depósitos aluviales, sedimentos lacustres y depósitos de loess. Ha resultado frecuente encontrar en el agua de los poros de rocas calizas y esquistos originarios de depósitos marinos el mismo contenido

de sales que en las arcillas dispersivas, y el suelo residual de estas rocas es también dispersivo (González & Armas, 2008) .

Los suelos dispersivos son derivados de rocas con bajo contenido de calcio y magnesio, pero con un alto contenido de sodio, rocas como la albita y la anfibolita. El sodio en los suelos puede ser derivado del envejecimiento natural de ciertos tipos de rocas, de materiales depositados bajo condiciones marinas o salinas, o de disolución, filtración y deposición de sodio en la estratificación del suelo durante procesos geomorfológicos (Hernández & Gómez, 2012).

2.6. Procesos de piping

Para poder considerar procesos de *piping* se debe considerar que están controlados por una gran cantidad de factores, uno de estos es el índice de dispersión y el contenido de sodio. Se puede decir que el *piping* es todo un conjunto de procesos hidromorfológicos que favorecen el desarrollo de conductos sub superficiales en materiales generalmente poco coherentes, tanto suelos como depósitos no consolidados (Jones, 2004). Los conductos se suelen formar a no menos de cinco metros de la superficie, estos generalmente evolucionan por colapso en hoyos o agujeros de distintos diámetro y ocasionalmente se convierten en paisajes caóticos en el que tales hundimientos forman parte de badlands (Bryan & Yair, 1982).

Los primeros estudios asociaron las arcillas dispersivas a suelos formados en climas áridos y semiáridos, y en áreas de suelos alcalinos. También se han encontrado en varias regiones de clima húmedo. Países como Australia, Tasmania, México, Trinidad, Vietnam, Sudáfrica, Tailandia, Israel, Ghana, Kenya, Brasil, Venezuela y varias regiones del sur de los Estados Unidos, han experimentado problemas con las arcillas dispersivas en sus obras hidrotécnicas. En Zimbabue, más del 60% de los suelos han sido identificados como dispersivos. En Cuba se ha encontrado arcilla dispersiva en la provincia de Camagüey, específicamente utilizada en los terraplenes de las presas Buen Tiempo, Caonao, Dique Barroso, San Juan de Dios, y Las Cabrerías. Esta última falló completamente, en junio de 1993, debido al fenómeno de sifonamiento mecánico, mientras que las otras se mantienen fuera de explotación. En Granma, la presa Cauto El Paso tiene arcillas dispersivas en 9km de su dique izquierdo, por lo que se mantiene unos metros por debajo del nivel de agua para el cual fue diseñada, perdiéndose así la explotación varios millones de metros cúbicos. Debido a que las arcillas dispersivas han sido encontradas en muestras de los más diversos orígenes, puede afirmarse que estas son representativas (González & Armas, 2008).

2.7. Mecanismos de arcillas dispersivas

Las arcillas dispersivas están compuestas por partículas con una carga negativa provoca una sustitución isomórfica o bordes rotos por lo que repelen naturalmente el uno del otro.

La presencia de cationes adsorbidos tiende a enmascarar la carga negativa (repulsión) en diversos grados, esto dependiendo del tipo de catión. Pequeños cationes multicargados (Al^{+3} , Ca^{+2} , Mg^{+2}) son fuertemente adsorbidos por los coloides reduciendo en gran medida las cargas. Si la carga negativa de un coloide es lo suficientemente reducida la floculación ocurrirá como se muestra en la ilustración 11 literal B. Por otro lado, los coloides están saturados con grandes cationes débilmente cargados (Na^+ , K^+), aquí ocurrirá la dispersión (Neetu & Sammer, 2015). El sodio, un catión débilmente cargado que estimula la dispersión, y el calcio, un catión de múltiples cargas que fomenta la floculación, proporcionan un ejemplo de la relación intrincada entre la química de suelos y la condición física en que se encuentra; la floculación y la dispersión son producto del intercambio de cationes. El intercambio de cationes es una interacción que se da entre un catión en solución y otro catión en la superficie de cualquier material, como arcilla o materia orgánica. El intercambio de cationes ocurre entre el sodio y el calcio en las superficies de minerales de arcilla (Neetu & Sammer, 2015).

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE TRABAJO

Empezamos con la recopilación de información, posteriormente la elección en campo de una zona con indicadores que nos muestren la existencia de arcillas dispersivas siendo este el punto de partida, para luego realizar una recolección de muestras en los lugares donde se identificó estructuras típicas que forman los materiales dispersivos, luego de esto se pasó a la etapa de laboratorio donde se realizaron dos ensayos uno cualitativo como es el ensayo de Crumb y un cuantitativo que es el de doble hidrómetro. A continuación se detalla la metodología realizada.

3.1 Recopilación de Información

Para la recolección de información se realizó la búsqueda y análisis de información ya sea en libros o en investigaciones digitales, en la ciudad de Loja no encontramos precedente alguno por lo que fuimos expandiendo la investigación, de esta manera encontramos que en Latinoamérica no existen una buena cantidad de estudios relacionados con arcillas dispersivas, por esto la búsqueda se amplificó hasta estudios que fueron hechos en América y Europa. Los documentos más relevantes que se encontraron son:

- Identificación de arcillas dispersivas en los suelos se la presa Chomjampe 2 del proyecto Pacalori.
- Estudio de arcillas dispersivas y sensitivas en la zona del canal San Antonio.
- Study of Piping Failures and Erosion Damage from Rain in Clay Dams in Oklahoma and Mississippi Mechanics por James Sherard (1972).
- Implications of natural soil piping for basin por Jones (2004).
- Identification, Testing, and Use of Dispersive Soil in Zimbabwe por M. Clark (1986).

James Sherard con sus trabajos publicados publicados en (1972) es uno de los investigadores con más renombre en cuanto arcillas dispersivas ya que gracias a sus aportes se tiene un panorama más claro al momento de identificar las mismas.

3.2 Métodos de reconocimiento en campo de arcillas dispersivas.

Para el reconocimiento de afloramientos con posible presencia de arcillas dispersivas se hizo un plan de campo el que consistió en la búsqueda de algún identificador de materiales dispersivos en superficie como tubificaciones (*piping*), estructuras de tipo *popcorn*. Durante este proceso se identificaron 12 puntos de muestreo de los cuales tres no presentaban estructuras típicas que se suelen encontrar en suelos dispersivos. También se muestrearon estos tres afloramientos para comprobar si era el mismo tipo de suelo y no se han desarrollado dichas estructuras o era un suelo diferente al de interés.

El Ingles & Metcalf (1972) y (Fell, MacGregor, Stapledon, & Foster, 1992) sugieren que la presencia *gullies* y fallas por tubificación son indicadores clave para reconocer material dispersivo en pequeñas presas habitualmente indican la presencia de suelos dispersivos. La erosión en grietas de los caminos, la erosión tipo túnel a lo largo de las líneas de quebradas y la erosión de intemperización o arcillas unidas en roca pueden señalar suelos potencialmente dispersivos, la presencia de agua nublada en presas y charcos de agua después de la lluvia es un indicador de la existencia de suelos dispersivos.

3.3 Ensayos de Laboratorio utilizados para reconocimiento de arcillas dispersivas

Para la identificación de arcillas dispersivas en laboratorio se utilizó los siguientes ensayos:

- Procedimiento estándar para las características de suelos dispersivo por doble hidrometría norma ASTM D4221-90.
- Ensayo de Emerson Crumb (ASTM D 6572).

Se hicieron también ensayos que van de la mano al momento de caracterizar el suelo.

3.3.1. Método del picnómetro

Es necesario determinar el peso específico de cada una de las muestras, estos resultados serán utilizados para el ensayo de doble hidrómetro. Necesitamos un picnómetro, agua, una balanza de precisión y la muestra. El procedimiento es: se pesa el picnómetro vacío (P1); luego se añade muestra al picnómetro y se pesa (P2); luego se añade agua hasta aforar el picnómetro y se pesa (P3); se añade agua y muestra al picnómetro y se pesa (P4). El proceso se repite por tres veces por muestra para realizar un análisis comparativo. El método aplica la fórmula 1:

$$\gamma = \frac{(P2-P1)}{(P3-P1)-(P4-P2)} \quad (1)$$

P1=Peso del picnómetro vacío.

P2=Peso del picnómetro más muestra.

P3=Peso del picnómetro más agua.

P4=Peso del picnómetro más muestra y agua.

3.3.2. Determinación del pH

Para el ensayo de potencial hidrógeno se utilizaron los siguientes instrumentos; una balanza analítica, un vaso de precipitación de 100 ml, agua destilada, agitador de vidrio, 10 gr de muestra pasante del tamiz número 200 y un pH metro. El procedimiento seguido es; primero se homogeniza la muestra en el vaso de precipitación agregando 30 ml de agua destilada para posteriormente dejar reposar por un periodo de 30 minutos, luego se mide con el

ánodo del pH metro y se coloca dentro de la solución hasta que la lectura se estabilice y se toma el dato como se muestra en la ilustración 8.



Ilustración 8. Lectura del pH.
Fuente: Autor
Elaboración: Autor

3.3.3. Límites de Atterberg ASTM D4318-95

Fueron originalmente ideados por un sueco de nombre Atterberg especialista en agronomía y posteriormente redefinidos por Casagrande para fines de mecánica de suelos de la manera que hoy se conocen. Norma ASTM D4318-95. Con los parámetros obtenidos con el ensayo de Límites de Atterberg se podrá definir si las muestras obtenidas en campo son aplicables los ensayos de Crumb y Doble Hidrómetro.

Determinación del límite líquido.

Equipo

- Equipo de Casagrande
- Ranurador
- Balanza de sensibilidad 0.1g

- Varios: espátula de acero flexible, cápsulas de porcelana, placa de vidrio, horno regulable a 110°, agua destilada.

Para hacer el ensayo de límite líquido se debe calibrar el equipo de Casagrande luego se prepara la muestra humedeciendo y homogenizando la muestra, después se coloca alrededor de 50 a 70 g de material en el aparato de Casagrande y se divide en dos partes iguales con el ranurador se debe lograr que las dos partes se unan media pulgada luego de 15 vueltas de la manivela, se deja reposar 24 horas. Después del reposo se debe colocar la muestra en la cuchara del equipo y obtener muestra de la sección unida entre los intervalos de cinco en cinco empezando en 15 y culminando en 35.

Finalmente se realiza la gráfica de curva de flujo como se indica en la ilustración 9, los valores tienden a alinearse sobre una recta y se determina el valor para 25 golpes.

Límite Plástico ASTM D4318-95

Seleccionar una porción de 20 gramos o más de tierra del material preparado para la prueba de límite líquido, ya sea, después de la segunda mezcla antes de la prueba, o de la tierra que queda después de la finalización de la prueba de límite líquido. Reducir el contenido de agua del suelo con la consistencia en la que se puede rodar sin pegarse a la mediante la difusión de las manos o la mezcla continuamente en la placa de cristal o en el disco de mezcla y almacenamiento. El proceso de secado se puede acelerar mediante la exposición del suelo a la corriente de aire de un ventilador eléctrico, o con papel secante, que no añade ninguna fibra hasta el suelo. Papel, tales como toallas de papel duros de superficie o de alta resistencia a la humedad, papel de filtro es el adecuado. Como muestra la ilustración 9.



Ilustración 9. Límite plástico

Fuente: Autor

Elaboración: Autor.

Índice de Plasticidad

Se calculó usando la fórmula 2.

$$IP = LL - LP \quad (2)$$

IP=Índice de plasticidad.

LL=Límite líquido

LP=Límite plástico.

3.3.4. Difracción de Rayos X (DRX)

Este ensayo químico es usado para la identificación mineralógica, esto mediante la propagación de una onda que escanea la superficie del cristal (Skoog, 2001). En el instante que las ondas de rayos X impactan con el cristal se dispersan y difractan en superficies paralelas de átomos. La Ley de Bragg permite analizar las diferentes direcciones en las que se dispersan y difractan esto es usado por el difractor metro, que luego con ayuda de un software y una base de datos de difracción de sustancias cristalinas puras, analiza las fases minerales existentes en la muestra (Skoog, 2001).

3.3.5. Ensayo de Crumb

El ensayo de Emerson Crumb (ASTM D 6572) fue creado como un procedimiento sencillo para poder identificar suelos dispersivos en campo, pero en la actualidad es usado en laboratorio. El ensayo consiste en preparar una muestra con forma de cubo, de unos 15 mm de longitud por cada lado (1/4" a 3/8"). Se sumerge el cubo en un recipiente con 250 ml de agua destilada o agua potable.

- Grado 1: No se observa reacción. La muestra se desmorona y esparce en el fondo del recipiente sin enturbiar el agua.
- Grado 2: Reacción ligera. Débil turbulencia en el agua próxima a la superficie del terrón.
- Grado 3: Reacción moderada. Turbulencia coloidal en suspensión, fácilmente distinguible, y que se esparce por el fondo del recipiente.
- Grado 4: Reacción fuerte. La turbulencia cubre el fondo del recipiente y puede llegar a expandirse en todo el volumen de agua.

El procedimiento a seguir es: Un cubo, aproximadamente 15 + - 5 mm (~ 5/8 + - 1/4 pulgadas) en cada lado, está preparado a partir de suelo húmedo que ha pasado un 2 mm (No. 10) de tamiz.

Alternativamente, el suelo se seca al aire o en el suelo a la humedad natural se pueden pasar a través de una de 2 mm (Nº 10) de tamiz y se forman en el cubo. Si se necesita la humedad adicional para formar el cubo, Tipo Agua IV, de acuerdo con la Especificación D1193 se puede añadir hasta que se puede formar el cubo.

Resultados de los métodos de ensayo de la miga se pueden alterar mediante la mezcla de porciones de una muestra que tienen propiedades de dispersión con una porción de la muestra con propiedades no dispersivas. El ensayo de migas remodelado se utilizan para la prueba, minimizar la mezcla de suelo visualmente no homogénea para obtener el material para la miga remodelar para evitar la mezcla de los segmentos dispersivos y no dispersivos de la muestra.

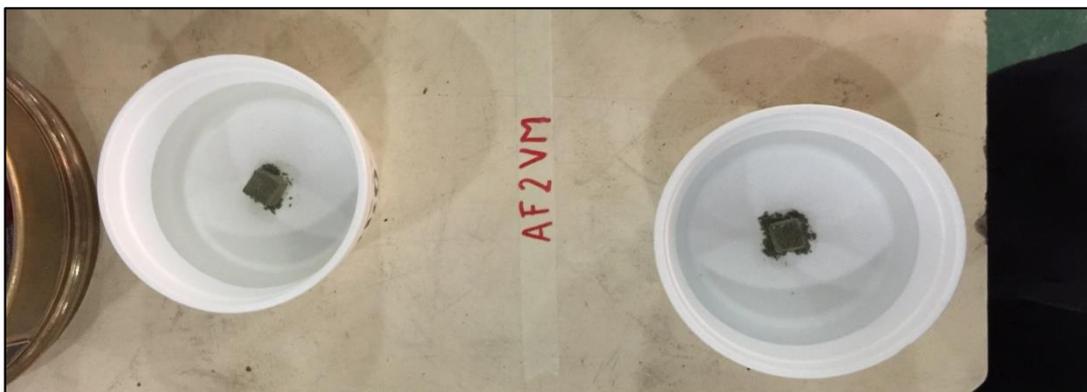


Ilustración 10. Ensayo de Crumb.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor



Ilustración 11. Ensayo de Crumb, muestra con dispersión

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

3.3.6. Ensayo de Doble Hidrómetro

El ensayo del Doble Hidrómetro, o el Ensayo de Dispersión en Porcentaje (Norma de la Asociación de Australia, 1980). Este ensayo implica dos ensayos de hidrometría (ASTM D

4221-99, ASTM D 4222-63). Como objetivo principal tiene de obtener el porcentaje de arcilla ya que la curva de distribución granulométrica cuando más de 12 % del material pasa a través del tamiz No. 200 no es utilizada con criterio dentro de ningún sistema de clasificación de suelos y no existe ningún tipo de conducta particular que dependa intrínsecamente de la forma de dicha curva.

Primero se aplica el ensayo estándar del Hidrómetro (ASTM D 4222-63) para determinar la distribución del tamaño de partículas, este método implica que la muestra de suelo sea dispersada en agua destilada, con fuerte agitación mecánica y con un dispersante químico en nuestro caso hexametáfosfato de sodio. Luego de obtener los resultados de la primera hidrometría se debe hacer una segunda hidrometría con un espécimen duplicado; pero sin agitación mecánica y sin dispersante químico. El porcentaje de dispersión es la relación de transformación de las partículas de 0.005 mm de diámetro del segundo ensayo al primero, expresado en porcentaje.

La dispersión en porcentaje es:

$$\text{porcentaje de dispersión} = \frac{A}{B} \times 100 \quad (3)$$

Donde

A = porcentaje de suelos más finos que 0.005 mm para el ensayo sin dispersante.

B = porcentaje de suelos más finos que 0.005 mm para el ensayo con dispersante.

La interpretación del porcentaje de dispersión es la siguiente:

- Mayor que 30% es no dispersivo
- Entre 30% a 50% es intermedio
- Mayor al 50% es dispersivo

ASTM D422-63

El método de ensayo es utilizado para la determinación cuantitativa de la distribución de los tamaños de partícula en los suelos. Para la determinación de la distribución de tamaños de partícula mayores de 75 μm es determina mediante tamizado, mientras que la distribución de los tamaños de partícula menor de 75 μm se determina mediante un proceso de sedimentación, utilizando un hidrómetro para asegurar los datos necesarios.

Al ensayo se lo puede hacer mediante dos equipos de dispersión (1) de alta velocidad de agitación mecánica, y (2) de dispersión de aire, en este caso se usó el equipo de alta velocidad de agitación mecánica.

Para el ensayo se utilizó una Balanza sensible a 0,01 g para el pesaje pasando el material a un tamiz N°10 (2,00 mm), y un equilibrio sensible al 0,1% de la masa del material retenido en un tamiz N°10. Equipo de agitación mecánica el mismo debe estar montado con un motor eléctrico con eje vertical a una velocidad no inferior a 10 000 rpm sin carga. El eje deberá estar equipado con una paleta hecha de metal, plástico o caucho duro. Hidrómetro gradado para leer en la gravedad específica de la suspensión o en gramos por litro de suspensión y de conformidad con los requisitos para las EH 151H o 152H se utilizó el hidrómetro 152H. Cilindro de sedimentación de vidrio de 18 pulg. (457 mm) de altura y 2 1/2 pulg. (63,5 mm) de diámetro, y marcado para un volumen de 1000 ml. Termómetro a precisión a 1°F (0,5°C). Una serie de tamices, de cuadrados de malla tejida, vaso de precipitación con una capacidad de 250 ml, cronómetro.

Los materiales utilizados; Hexámatafosfato de sodio (NaPO_3)₆ se utilizará en agua destilada o agua desmineralizada, a razón de 40 g de sodio hexámatafosfato / litro de solución. Muestra.

Procedimiento:

1. Tamizado.
 - Primero se debe llevar a cabo el proceso de tamizado por medio de un movimiento vertical del tamiz usando el tamiz 10 (2mm) la cantidad necesaria de muestra para suelos limosos-arcillosos es 50 gramos.
2. Determinación del factor de corrección por menisco: se debe encerar el hidrómetro con agua destilada y observar la lectura más corriente en el hidrómetro 152 H.
3. Corrección por temperatura
 - En la corrección por temperatura se realizó una tabla de correcciones compuestas para una serie de temperatura de 1°C.
 - Se preparó 1000 ml de líquido compuesto de agua destilada o agua desmineralizada y agente dispersante en la misma proporción como en el ensayo de sedimentación. Se colocó el líquido en un cilindro de sedimentación y el cilindro en el baño de agua a temperatura constante, fijado para una de las dos temperaturas que se utilizarán como límite. Cuando la temperatura del líquido se vuelve constante, se insertó el

hidrómetro y, después de un breve intervalo para permitir que el hidrómetro alcance la temperatura del líquido, se lee el hidrómetro en la parte superior del menisco formada en el tallo del de hidrometría. Para el hidrómetro 152H que es él se uso es la diferencia entre la lectura y cero.

4. Corrección por defloculante

Este valor se calcula mediante la fórmula 5 usando la lectura del hidrómetro, la corrección por menisco y la corrección por temperatura.

5. Dispersión de la muestra de suelo.

- Cuando el suelo es en su mayoría es de tamaño de la arcilla y limo como es el caso de las muestras tomadas, se toma una muestra aproximadamente de 50 gramos.
- Se coloca la muestra en el vaso de 250 ml y cubrir con 125 ml de solución de hexámatafosfato de sodio (40g/l). Se remueve hasta que el suelo esté completamente saturado y se deja en remojo por lo menos 16 horas.
- Al final del remojo se dispersa la muestra utilizando el dispositivo de agitación mecánica, se transfiere la suspensión de muestra-agua de la cubeta al vaso especial tratando de eliminar cualquier residuo dentro del vaso de precipitados con agua destilada o agua desmineralizada; se añade agua destilada hasta que la taza esté más de la mitad llena y se remueve durante un período de 1 min como muestra la ilustración 12.



Ilustración 12. Aparato de agitación mecánica

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

- Transferir la solución de suciedad-agua de la cubeta a la copa de chorro de aire por lavado con agua destilada o desmineralizada. Añadir agua destilada o agua

desmineralizada, si es necesario, de manera que el volumen total la taza sea de 250 ml.

6. Prueba de hidrómetro

- Inmediatamente después de la dispersión, se transfiere el agua del suelo en la suspensión al cilindro de sedimentación de vidrio, y se agregó agua destilada hasta que el volumen total sea de 1000 ml.



Ilustración 13.
Agitación de la muestra de forma manual

Fuente: Autor
Elaboración: Autor

- Utilizando la palma de la mano sobre el extremo abierto del cilindro (o un tapón de goma en el extremo abierto), se agita el cilindro durante un período de 1 minuto, las vueltas son aproximadamente a una vuelta por segundo, esto se muestra en la ilustración 13.
- Se coloca el cilindro en una superficie plana que este bien nivelado y se procede a tomar lecturas utilizando el hidrómetro en intervalos de 2, 5, 15, 30, 60, 250 y 1440 minutos, la lectura se toma en el menisco.
- El hidrómetro se debe introducir 30 segundos antes de la lectura. Una vez realizada la lectura se retira cuidadosamente el hidrómetro y se lo coloca con un movimiento giratorio en una probeta llena de agua destilada.
- Después de cada lectura, se tomó la temperatura de la suspensión.

7. Análisis de tamiz

Después de tomar la lectura del hidrómetro final, de suspensión a un tamiz No. 200 (75 μm) y lavar con agua del grifo hasta que el agua de lavado esté despejada. Se transfiere el material sobre el No. 200 en un recipiente adecuado, y se seca en un horno a 110,65 ° C.

Cálculos

1. Factores de corrección

Corrección por defloculante y punto cero (Cd).

$$Cd = \tau' + Cm \pm Ct \quad (5)$$

τ' = Lectura del hidrómetro, en agua con únicamente defloculante.

Ct= Corrección por temperatura.

Cm= Corrección por menisco

Calculamos Rc mediante la lectura de hidrómetro corregida por menisco menos corrección por defloculante y punto cero más corrección por temperatura.

$$Rc = R' - Cd \pm Cm \quad (6)$$

2. Lectura del hidrómetro corregida

Se calculan las lecturas del hidrómetro corregidas por el menisco (R) sumándole cada lectura no corregida (R'), la corrección por menisco Cm:

$$R = R' + Cm \quad (7)$$

R= Lecturas de hidrómetro corregidas por menisco

R' = Lectura de hidrómetro no corregida.

Cm= Corrección por menisco.

3. Porcentaje de suelo en suspensión que se tiene a la profundidad H

Según la norma existe una fórmula para el hidrómetro 151H y otra para el 152H, en nuestro caso usaremos la siguiente formula:

$$P = \left(\frac{Ra}{W} \right) \times 100 \quad (8)$$

R= Lecturas de hidrómetro corregidas por menisco

a =Factor de corrección a aplicar a 152 G estos valores se encuentran en la tabla 2.

W=Peso de las partículas sólidas.

Tabla 1.Factor de Corrección para Gravedades Especificas

Factor (a)	
Gs	a
2.35	1.080
2.45	1.050
2.50	1.030
2.55	1.032
2.60	1.010
2.65	1.000
2.70	0.990
2.75	0.980
2.80	0.970
2.85	0.960
2.95	0.940

Fuente: American Society for Testing and Materials 1998

Fuente: Autor

Elaboración: Autor.

4. Profundidad efectiva (L)

Es la distancia de la superficie de la suspensión al nivel en el que la densidad de la suspensión es medida (cm). Esta distancia se conoce como profundidad eficaz y se encuentran en la tabla 3.

Tabla 2. Valores de L para lecturas de hidrómetro

Hidrómetro 152 H					
Lectura real del Hidrómetro	Lectura real del Hidrómetro	Profundidad efectiva, L	Profundidad efectiva, L	Lectura real del Hidrómetro	Profundidad efectiva, L
	mm	Cm		Mm	cm
0	163	16.3	31	112	11.2
1	161	16.1	32	111	11.1
2	160	16.0	33	109	10.9
3	158	15.8	34	107	10.7
4	156	15.6	35	106	10.6
5	155	15.5	36	104	10.4
6	153	15.3	37	102	10.2
7	152	15.2	38	101	10.1
8	150	15.0	39	99	9.9
9	148	14.8	40	97	9.7
10	147	14.7	41	96	9.6

11	145	14.5	42	94	9.4
12	143	14.3	43	92	9.2
13	142	14.2	44	91	9.1
14	140	14.0	45	89	8.9
15	138	13.8	46	88	8.8
16	137	13.7	47	86	8.6
17	135	13.5	48	84	8.4
18	133	13.3	49	83	8.3
19	132	13.2	50	81	8.1
20	130	13.0	51	79	7.9
21	129	12.9	52	78	7.8
22	127	12.7	53	76	7.6
23	125	12.5	54	74	7.4
24	124	12.4	55	73	7.3
25	122	12.2	56	71	7.1
26	120	12.0	57	70	7.0
27	119	11.9	58	68	6.8
28	117	11.7	59	66	6.6
29	115	11.5	60	65	6.5
30	114	11.4			

Fuente: American Society for Testing and Materials 1998

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

5. K es una constante que depende de la temperatura de la suspensión y la gravedad específica de las partículas de suelo. Los valores de K se muestran en la tabla 4.

Tabla 3. Valores de K en función de la temperatura y Gs

T°C	2.45	2.5	2.55	2.6	2.65	2.7	2.75	2.8	2.85
16	0.01530	0.01505	0.01481	0.01457	0.01435	0.01414	0.01394	0.01374	0.01356
17	0.01511	0.01486	0.01452	0.01439	0.01417	0.01398	0.01376	0.01356	0.01338
18	0.01492	0.01467	0.01443	0.01421	0.01399	0.01378	0.01359	0.01339	0.01321
19	0.01474	0.01449	0.01425	0.01403	0.01382	0.01361	0.01342	0.01323	0.01305
20	0.01456	0.01431	0.01408	0.01366	0.01365	0.01344	0.01325	0.01307	0.01289
21	0.01438	0.01414	0.01391	0.01369	0.01348	0.01328	0.01309	0.01291	0.01273
22	0.01421	0.01397	0.01374	0.01353	0.01332	0.01312	0.01294	0.01276	0.01258
23	0.01404	0.01381	0.01358	0.01337	0.01317	0.01297	0.01279	0.01261	0.01243
24	0.01388	0.01365	0.01342	0.01321	0.01301	0.01282	0.01264	0.01246	0.01229
25	0.01372	0.01349	0.01327	0.01306	0.01286	0.01267	0.01249	0.01232	0.01218
26	0.01357	0.01334	0.01312	0.01291	0.01272	0.01253	0.01235	0.01218	0.01201
27	0.01342	0.01319	0.01297	0.01277	0.01258	0.01239	0.01221	0.01204	0.01188

28	0.01327	0.01304	0.01283	0.01264	0.01244	0.01225	0.01208	0.01191	0.01175
29	0.01312	0.0129	0.01289	0.01249	0.0123	0.01212	0.01195	0.01178	0.01162
30	0.01298	0.01276	0.01256	0.01238	0.01217	0.01199	0.01182	0.01185	0.01149

Fuente: American Society for Testing and Materials 1998

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

6. Diámetro de partícula (mm), esto se calculó mediante la siguiente fórmula donde T es el intervalo de tiempo que se da entre las lecturas:

$$D = K \sqrt{\frac{L}{T}} \quad (9)$$

7. Por último, se grafica usando en el eje de las abscisas de poner el diámetro de partícula (D) y en el eje de las ordenadas se pone el porcentaje que pasa (P).

ASTM D4221-99

Este es el método de prueba estándar para la caracterización de arcilla dispersiva por Doble Hidrómetro, se utiliza en conjunto con el Método de Ensayo ASTM D 422-63 en una muestra de suelo duplicada, este método solo es aplicable a suelos con índice de plasticidad superior a 4, y más del 12% de una fracción del suelo más fina que 5 µm determinada de acuerdo con la Prueba Método ASTM D 422.

Este método de ensayo es similar al Método de Prueba ASTM D 422-63, excepto que este método cubre la determinación del porcentaje de partículas de suelo menor de 5 µm de diámetro en una suspensión de agua y suelo sin agitación mecánica ya la que no se añadió agente dispersante.

Para el ensayo se utilizó una balanza con sensibilidad de 0,01 g para el pesaje pasando el material a un tamiz N° 10 (2,00 mm), y un equilibrio sensible al 0,1% de la masa del material retenido en un tamiz N° 10. Bomba de vacío, para evacuar el aire atrapado de la muestra, y capaces de tirar de al menos 20 a 25 pulgadas de Hg en este caso se dejó reposar la muestra 24 horas antes. Cilindro de sedimentación de vidrio de 18 pulg. (457 mm) de altura y 2 1/2 pulg. (63,5 mm) de diámetro, y marcado para un volumen de 1000 ml. Termómetro aA precisión a 1 °F (0,5 °C). Una serie de tamices, de cuadrados de malla tejida. Vaso de precipitados de la capacidad de 250 ml. Cronómetro.

Procedimiento:

1. Obtener 50 g de suelo secada al horno. Determinar el porcentaje de paso de 5 µm de acuerdo con la Prueba Método ASTM D 422.

2. Colocar aproximadamente 125 ml de agua destilada en el frasco de filtración.
3. Obtener del envase menor al tamiz No. 10 suelo húmedo, una muestra representativa equivalente a 25,0 g de suelo seco al horno, ya sea por división u otros medios apropiados, y colóquelo en el filtro con el agua destilada.
4. Se coloca un tapón de goma en la boca del filtro de matraz y se conecta el matraz a la bomba de vacío. Bajo la mayoría de condiciones, 20 a 23 pulgadas de Hg es suficiente para airear la muestra como se indica en la ilustración 16.



Ilustración 14. Bomba de vacío conectada al matraz con la muestra
Fuente: Autor.
Elaboración: Autor

5. A los 3 min, 5 min y 8 min después de la aplicación de vacío, se agita el frasco varias veces de manera rotativa para eliminando el aire atrapado.
6. Se desconecta el matraz del vacío después de haber tiempo de evacuación de 10 min.
7. Lavar la suspensión suelo-agua del frasco en el cilindro de sedimentación y añadir agua de destilada hasta que alcance un volumen de 1000 ml.
8. Utilizando la palma de la mano sobre el extremo abierto del cilindro (o un tapón de goma en el extremo abierto), sacudir el cilindro sobre el extremo durante un período de 1 min. En el final del 1 min, coloque el cilindro en un lugar conveniente y registre la hora. Este es el comienzo del período de sedimentación. El intervalo de tiempo entre el paso 4 y el paso 9 no debería superior a 1 h.

9. Se toma las lecturas del hidrómetro y de la temperatura necesaria para determinar el porcentaje de material más fino que 5 μm en suspensión utilizando procedimientos y cálculos descritos en Test Método ASTM D 422.

**CAPÍTULO IV:
RESULTADOS Y DISCUSIONES**

4.1 Reconocimiento de puntos de muestreo

A partir de los criterios descritos al apartado 3.1 donde se mencionan los métodos para reconocer suelos dispersivos se seleccionó los siguientes doce afloramientos que se muestran en la ilustración 15 y cuyas coordenadas se muestran en la tabla 4. En ellos se encontraron estructuras típicas de materiales dispersivos.

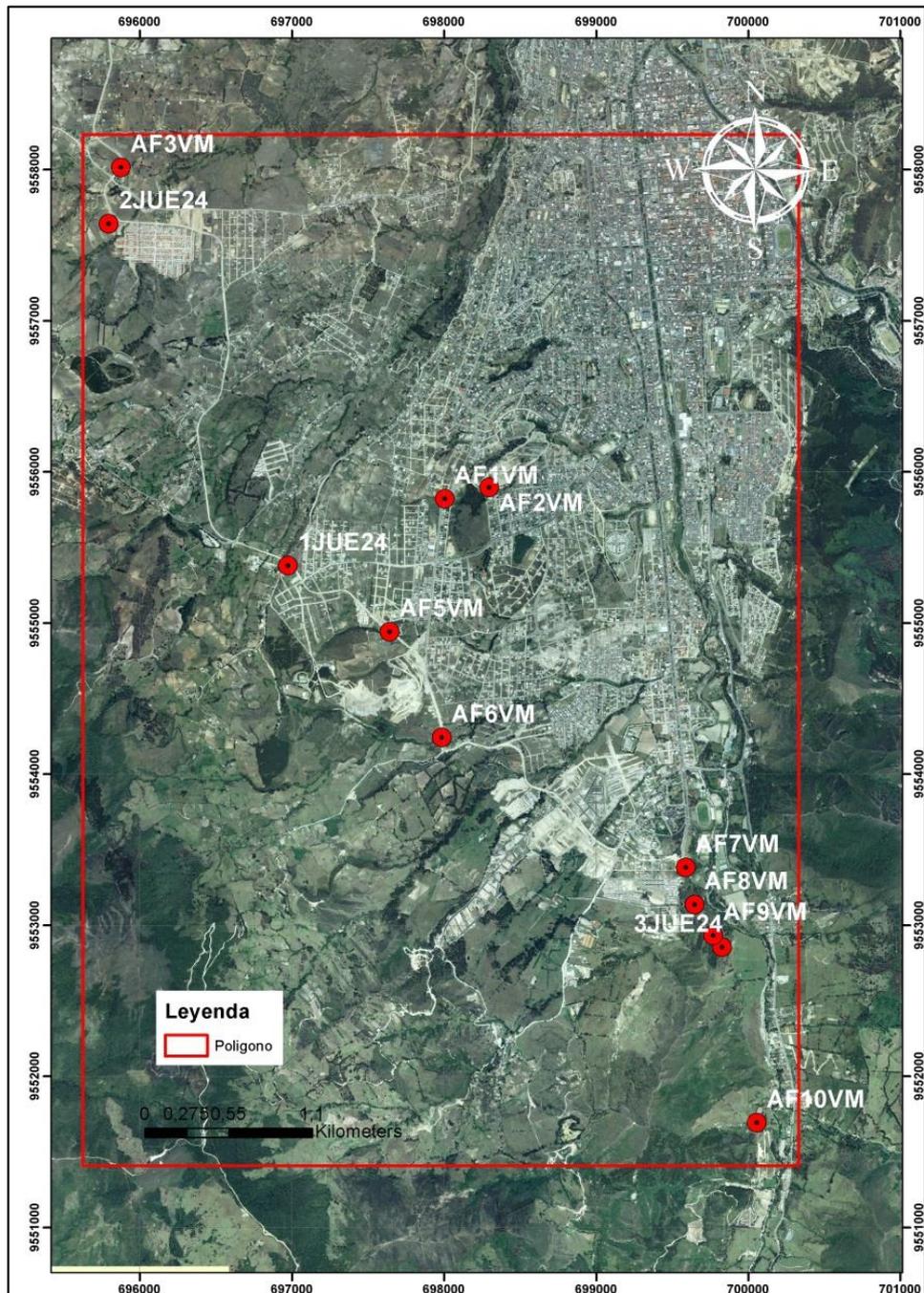


Ilustración 15. Puntos de muestreo.

Fuente: IGM. (2010).

Elaboración: Autor

Tabla 4. Coordenadas de puntos de muestreo (WGS84).

AFLORAMIENTO	X	Y	Z
AF2VM	698722	9555897	2185
3JUE24	699830	9552855	2189
1JUE24	696973	9554220	2292
AF6VM	697987	9554241	2219
AF10VM	700059	9551693	2160
AF7VM	699591	9553382	2140
AF9VM	699772	9552933	2151
AF3VM	695878	9558014	2194
AF8VM	699649	9553135	2147
AF5VM	697646	9554941	2239
2JUE24	695878	9558014	2194
AF1VM	698006	9555821	2178

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

4.2 Ensayo de Picnómetro

Para la obtención de gravedad específica utilizamos la fórmula uno en las doce muestras ensayadas. Para obtener una mejor estimación del valor de la gravedad específica, por cada muestra se realizó tres veces el ensayo para posterior sacar un promedio. Dichos resultados se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Resultados de gravedad específica

AFLORAMIENTO	GRAVEDAD ESPECÍFICA
AF1VM	3,04
AF3VM	3,57
AF2VM	3,09
2JUE24	2,36
AF5VM	2,75
AF10VM	2,36
2JUE24	2,27
3JUE24	2,56
AF6VM	2,34
AF9VM	2,34
AF7VM	2,78
AF8VM	2,81

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

4.3 Potencial Hidrogeno (pH)

Aplicando el procedimiento indicado en el apartado 3.3.2, mediante el uso del phmetro se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Resultados de pH

AFLORAMIENTO	pH	CLASIFICACIÓN
AF2VM	8,86	Alcalino
3JUE24	6,60	Ácido
1JUE24	6,40	Ácido
AF6VM	7,54	Neutro
AF10VM	8,67	Alcalino
AF7VM	6,50	Ácido
AF9VM	8,22	Alcalino
AF3VM	8,68	Alcalino
AF8VM	6,50	Ácido
AF5VM	7,73	Neutro
2JUE24	5,73	Ácido
AF1VM	7,05	Neutro

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

4.4 Difracción de Rayos X (DRX)

Como se muestran en los resultados obtenidos en el análisis de difracción de rayos X se puede observar que exististe una constata de minerales como la albita, illita, caolinita, cuarzo (tabla 7). Los difractogramas se encuentran en el anexo III.

Tabla 7. Resultados de DRX

Afloramiento	Minerales	Fórmula
AF1VM	Cuarzo	SiO ₂
	Illita	K,H ₃ O)(Al, Mg, Fe) ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ [(OH) ₂ ,(H ₂ O)
	Zeolita	Al ₆ Ba 14H ₁ O ₈ K ₄ Si ₃
	Clorita	(Mg,Fe) ₃ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ·(Mg,Fe) ₃ (OH) ₆
	Albita	NaAlSi ₃ O ₈
	Ortoclasa	KAlSi ₃ O ₈
AF2VM	Cuarzo	SiO ₂
	Caolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
	Illita	K,H ₃ O)(Al, Mg, Fe) ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ [(OH) ₂ ,(H ₂ O)
	Clorita	(Mg,Fe) ₃ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ·(Mg,Fe) ₃ (OH) ₆
	Aerinita	(Ca _{5,1} Na _{0,5})(Fe ³⁺ ,Al,Fe ²⁺ ,Mg)(Al,Mg) ₆ [HSi ₁₂ O ₃₆ (OH) ₁₂][(CO ₃) _{1,2} (H ₂ O) ₁₂]
AF3VM	Cuarzo	SiO ₂
	Illita	K,H ₃ O)(Al, Mg, Fe) ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ [(OH) ₂ ,(H ₂ O)
	Montmorillonita	(Na,Ca) _{0,3} (Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ·nH ₂ O ¹
	Clorita	(Mg,Fe) ₃ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ·(Mg,Fe) ₃ (OH) ₆
	Albita	NaAlSi ₃ O ₈
	Ortoclasa	KAlSi ₃ O ₈
AF5VM	Cuarzo	SiO ₂

	Illita	$K,H_3O)(Al, Mg, Fe)_2(Si, Al)_4O_{10}[(OH)_2,(H_2O)$
	Caolinita	$Al_2 Si_2O_5(OH)_4$
	Clorita	$(Mg,Fe)_3(Si,Al)_4O_{10} (OH)_2 \cdot (Mg,Fe)_3(OH)_6$
	Montmorillonita	$(Na,Ca)_{0,3}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O^1$
	Zeolita	$Al_6Ba 14H_1O_8K_4 Si_3$
	Albita	$NaAlSi_3O_8$
AF6VM	Cuarzo	SiO_2
	Illita	$K,H_3O)(Al, Mg, Fe)_2(Si, Al)_4O_{10}[(OH)_2,(H_2O)$
	Caolinita	$Al_2 Si_2O_5(OH)_4$
	Albita	$NaAlSi_3O_8$
	Ortoclasa	$KAlSi_3O_8$
AF7VM	Cuarzo	SiO_2
	Illita	$K,H_3O)(Al, Mg, Fe)_2(Si, Al)_4O_{10}[(OH)_2,(H_2O)$
	Caolinita	$Al_2 Si_2O_5(OH)_4$
	Clorita	$(Mg,Fe)_3(Si,Al)_4O_{10} (OH)_2 \cdot (Mg,Fe)_3(OH)_6$
	Albita	$NaAlSi_3O_8$
AF8VM	Cuarzo	SiO_2
	Illita	$K,H_3O)(Al, Mg, Fe)_2(Si, Al)_4O_{10}[(OH)_2,(H_2O)$
	Zeolita	$Al_6Ba 14H_1O_8K_4 Si_3$
	Caolinita	$Al_2 Si_2O_5(OH)_4$
	Faujasita	$(Mg,Na,K,Ca)_n(Si,Al)_{12}O_{24} \cdot 15H_2O$
AF9VM	Cuarzo	SiO_2
	Illita	$K,H_3O)(Al, Mg, Fe)_2(Si, Al)_4O_{10}[(OH)_2,(H_2O)$
	Caolinita	$Al_2 Si_2O_5(OH)_4$
	Albita	$NaAlSi_3O_8$
	Faujasita	$(Mg,Na,K,Ca)_n(Si,Al)_{12}O_{24} \cdot 15H_2O$
AF10VM	Cuarzo	SiO_2
	Illita	$K,H_3O)(Al, Mg, Fe)_2(Si, Al)_4O_{10}[(OH)_2,(H_2O)$
	Caolinita	$Al_2 Si_2O_5(OH)_4$
	Albita	$NaAlSi_3O_8$
	Ortoclasa	$KAlSi_3O_8$
1JUE24	Cuarzo	SiO_2
	Illita	$K,H_3O)(Al, Mg, Fe)_2(Si, Al)_4O_{10}[(OH)_2,(H_2O)$
	Montmorillonita	$(Na,Ca)_{0,3}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O^1$
	Faujasita	$(Mg,Na,K,Ca)_n(Si,Al)_{12}O_{24} \cdot 15H_2O$
	Zeolita	$Al_6Ba 14H_1O_8K_4 Si_3$
	Albita	$NaAlSi_3O_8$
3JUE24	Cuarzo	SiO_2
	Illita	$K,H_3O)(Al, Mg, Fe)_2(Si, Al)_4O_{10}[(OH)_2,(H_2O)$
	Montmorillonita	$(Na,Ca)_{0,3}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O^1$
	Ortoclasa	$KAlSi_3O_8$
	Caolinita	$Al_2 Si_2O_5(OH)_4$
	Biotita	$K(Mg, Fe)_3AlSi_3O_{10}(OH, F)_2$
2JUE24	Cuarzo	SiO_2
	Illita	$K,H_3O)(Al, Mg, Fe)_2(Si, Al)_4O_{10}[(OH)_2,(H_2O)$
	Montmorillonita	$(Na,Ca)_{0,3}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O^1$
	Caolinita	$Al_2 Si_2O_5(OH)_4$
	Albita	$NaAlSi_3O_8$

Fuente: Autor

Elaboración: Autor.

4.5 Límites de Atterberg

Basado en la Norma ASTM D4318-95, la misma que hace referencia a los límites de Atterberg se obtuvo los valores de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, los que fueron clasificados según Sowers (1979). Se utilizó la fórmula 2 para calcular el límite líquido y la fórmula 3 para calcular el índice de plasticidad. En la tabla 8 se muestran los resultados de cada afloramiento respectivamente.

A continuación se muestra un ejemplo de cálculo de los límites de Atterberg.

Tabla 8. Cálculo del Índice de Plasticidad

 UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL TITULACIÓN DE GEOLOGÍA Y MINAS						
Afloramiento AF9VM						
Proyecto:	Caracterización del grado de dispersión en arcillas de la zona Sur-Oeste de la cuenca sedimentaria de Loja, para determinar potencial de generación de procesos de piping.					
Autor:	Víctor Martínez					
	GOLPES	PESO HM.	SECO	DE CAPS	w %	RESULTADO
LÍMITE LÍQUIDO	33	82,39	77,53	53,76	20,45	20,84
	26	97,81	93,14	70,67	20,78	
	21	91,12	87,58	70,77	21,06	
	15	91,08	87,32	69,91	21,60	
LÍMITE PLÁSTICO		73,11	72,33	67,14	15,03	15,29
		74,77	73,86	68,01	15,56	
RESULTADOS	LL = 21,00 % LP = 15,00 % IP = 6,00 %					

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

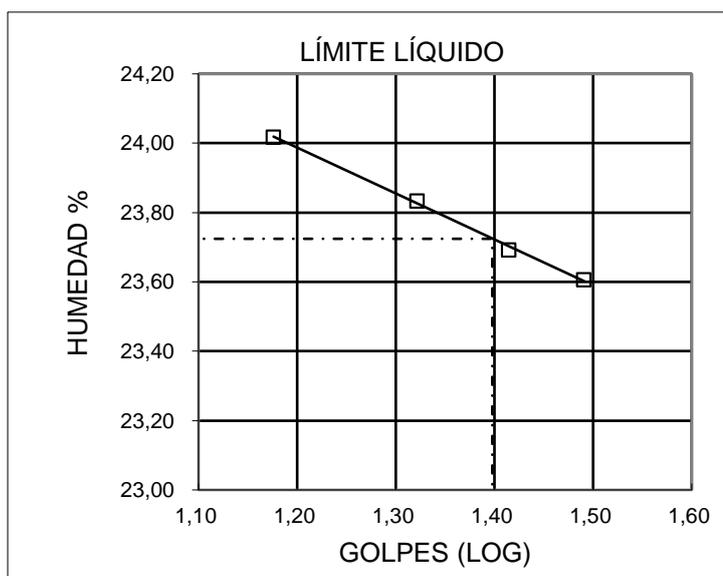


Ilustración 16, Gráfica de Casagrande para Límite líquido

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Tabla 9. Resultados de Índice de plasticidad.

AFLORAMIENTO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	CLASIFICACIÓN SEGÚN USCS
AF2VM	6	22,93	17,37	Arcilla inorgánica de baja plasticidad
3JUE24	7	22,26	22,26	Arcilla inorgánica de baja plasticidad
1JUE24	5	22,75	17,85	Arcilla inorgánica de baja plasticidad
AF6VM	7	22,54	15,78	Arcilla inorgánica de baja plasticidad
AF10VM	4	22,35	17,60	Arcilla inorgánica de baja plasticidad
AF7VM	10	26,41	15,57	Arcilla orgánica de baja plasticidad
AF9VM	6	20,84	15,03	Arcilla inorgánica de baja plasticidad
AF3VM	9	36,83	27,65	Arcilla inorgánica de mediana plasticidad
AF8VM	9	28,49	18,65	Arcilla inorgánica de baja plasticidad
AF5VM	13	28,70	15,69	Arcilla inorgánica de baja plasticidad
2JUE24	12	27,47	14,61	Arcilla inorgánica de baja plasticidad
AF1VM	6	23,72	17,69	Arcilla inorgánica de baja plasticidad

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

4.6 Ensayo de Crumb

Conforme lo descrito en el apartado 3.3.5 se utilizó la norma ASTM D 6572-00; este ensayo no se puede aplicar para suelos con un porcentaje menor al del 12% de una fracción más fina que el 0,005 mm, ni el índice de plasticidad menor e igual a 8 por lo que en este caso se pudo aplicar a todas las 12 muestras recolectadas. En las tablas 9 y 10 se muestran los resultados en agua potable y en agua destilada respectivamente.

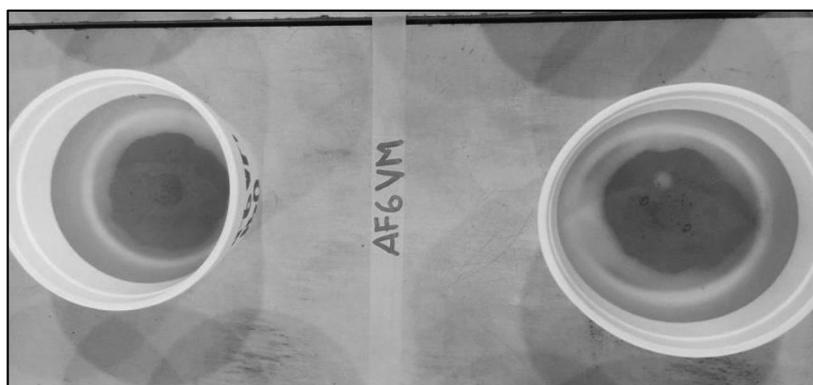


Ilustración 17. Ensayo de Crumb, muestra en agua potable y agua destilada

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Tabla 10. Resultados de Crumb en agua normal.

AFLORAMIENTO	INDICE DE PLASTICIDAD	CRUMB H ₂ O POTABLE					
		2 MINUTOS		1 HORA		6 HORAS	
		GRADO	TEMPERATURA C°	GRADO	TEMPERATURA C°	GRADO	TEMPERATURA C°
AF2VM	6	1	18	2	18	2	18
3JUE24	7	1	18	3	18	3	18
1JUE24	5	1	18	1	18	1	18
AF6VM	7	1	18	3	18	3	18
AF10VM	4	1	18	2	18	2	18
AF7VM	10	1	18	1	18	4	18
AF9VM	6	1	18	3	18	3	18
AF3VM	9	1	18	2	18	4	17
AF8VM	9	1	18	2	18	3	17
AF5VM	13	1	18	1	18	1	17
2JUE24	12	1	18	1	18	1	17
AF1VM	6	1	18	3	18	3	17

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Tabla 11. Resultados de Crumb en agua destilada

AFLORAMIENTO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	CRUMB H ₂ O DESTILADA					
		2 MINUTOS		1 HORA		6 HORAS	
		GRADO	TEMPERATURA C°	GRADO	TEMPERATURA C°	GRADO	TEMPERATURA C°
AF2VM	6	1	18	1	18	1	18
3JUE24	7	1	18	1	18	1	18
1JUE24	5	1	18	1	18	1	18
AF6VM	7	1	18	3	18	3	18
AF10VM	4	1	18	2	18	2	18
AF7VM	10	1	18	1	18	4	18
AF9VM	6	1	18	1	18	1	18
AF3VM	9	1	18	1	18	3	17
AF8VM	9	1	18	1	18	1	17
AF5VM	13	1	18	1	18	1	17
2JUE24	12	1	18	1	18	1	17
AF1VM	6	1	18	1	18	2	17

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

4.7 Ensayo de Doble Hidrómetro

El ensayo de Doble Hidrómetro se desarrolló usando las normas ASTM D 4221-99 y ASTM D 422-63 como se indica en el apartado 3.3.6 del capítulo III. A continuación, en las tablas 12, 13 y 14 se resume los resultados obtenidos en el ensayo de doble hidrómetro.

ASTM D 422-63

Tabla 12. Resultado de Hidrometría D422 y análisis.

AFLORAMIENTO	RESULTADO NORMA D 422 (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	CUMPLE PARA NORMA D 421
AF2VM	12	6	SI
3JUE24	18	7	SI
1JUE24	9	5	NO
AF6VM	10	7	NO
AF10VM	10	4	NO
AF7VM	40	10	SI
AF9VM	26	6	SI
AF3VM	16	9	SI
AF8VM	57	9	SI
AF5VM	20	13	SI
2JUE24	13	12	SI
AF1VM	16	6	SI

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

ASTM D 4221-99

Tabla 13. Resultado de Hidrometría D421 y análisis.

AFLORAMIEN TO	RESULTADO NORMA D 4221 (%)
AF2VM	10
3JUE24	8
1JUE24	NO
AF6VM	NO
AF10VM	NO
AF7VM	14
AF9VM	10
AF3VM	10
AF8VM	24

AF5VM	9
2JUE24	5
AF1VM	12

Fuente: Autor
Elaboración: Autor

Tabla 14. Resultados de Doble Hidrómetro

AFLORAMIENTO	RESULTADO NORMA D 422 (%)	RESULTADO NORMA D 4221 (%)	VALOR DE DISPERSIÓN	CLASIFICACIÓN
AF2VM	12	10	83	DISPERSIVO
3JUE24	22	8	36	INTERMEDIO
1JUE24	10	NO	NO	NO
AF6VM	11	NO	NO	NO
AF10VM	11	NO	NO	NO
AF7VM	40	14	35	INTERMEDIO
AF9VM	26	10	38	INTERMEDIO
AF3VM	16	10	62	DISPERSIVO
AF8VM	57	24	42	INTERMEDIO
AF5VM	20	9	45	INTERMEDIO
2JUE24	13	5	38	INTERMEDIO
AF1VM	16	12	75	DISPERSIVO

Fuente: Autor
Elaboración: Autor

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En campo se observó la erosión tipo túnel (*piping*) como muestra la ilustración 18 las que han sufrido un cambio a lo largo del tiempo desde que se realizó la primera salida de campo cuando empecé a desarrollar mi proyecto de fin carrera



Ilustración 18. Arcillas dispersivas *piping* vía de Integración Barrial.

Fuente: Autor
Elaboración: Autor.

Influencia del pH en la dispersividad.

Existen dos autores Holmgren & Flanagan (1977) que proponen que la influencia del pH es mínima en la dispersividad. Brinkman (1988) indica que si el pH es mayor el nivel de dispersión aumenta, al ser la presencia de sodio la que condicione directamente relacionada con el elevado pH.

Chorom, Rengasamy & Murray (1994), hablan sobre suelos sódicos que tienen un pH que van generalmente entre 4 y 10, los valores de pH influye en la carga neta negativa de las partículas de suelo, la mineralogía de arcilla y el contenido de óxido de los suelos pueden exhibir una carga negativa o positiva neta a pH alto o bajo, respectivamente. En dicho estudio se muestra que el pH afecta la dispersión cambiando la carga neta negativa, es importante esto porque al tener una carga negativa las partículas se repelen y estimula el proceso de dispersión, a mayor pH la carga neta negativa aumenta.

En tabla 15 muestra una relación entre pH y Crumb. Al comparar el pH con agua normal, muestra que en valores de pH ácidos son suelos dispersivos en los puntos AF7VM, AF8VM, y en los puntos 1JUE24 y 2JUE24 no presentan dispersión. Casi todos los valores neutros son de grado intermedio de dispersión y valores mayores a 7 son intermedios o dispersivos a excepción de los puntos AF5VM. En cambio, el pH comparado con el ensayo de Crumb en agua destilada indica que valores ácidos no son dispersivos a excepción del punto AF7VM y los valores superiores a 7 no son dispersivos excepto AF6VM y AF10VM. Sin embargo, calculando el coeficiente de correlación entre las variables se observa una débil relación positiva.

Tabla 15. Comparación de pH y Crumb.

AFLORAMIENTO	pH	CLASIFICACIÓN	CRUMB EN AGUA	GRADO DE DISPERSIÓN SEGÚN CRUMB	CRUMB EN AGUA DESTILADA	GRADO DE DISPERSIÓN SEGÚN CRUMB
AF2VM	8,86	Alcalino	2	Intermedio	1	No Dispersivo
3JUE24	6,60	Ácido	3	Dispersivo	1	No Dispersivo
1JUE24	6,40	Ácido	1	No Dispersivo	1	No Dispersivo
AF6VM	7,54	Neutro	3	Dispersivo	3	Dispersivo
AF10VM	8,67	Alcalino	2	Intermedio	2	Intermedio
AF7VM	6,50	Ácido	4	Muy dispersivo	4	Muy Dispersivo
AF9VM	8,22	Alcalino	3	Dispersivo	1	No Dispersivo
AF3VM	8,68	Alcalino	4	Muy Dispersivo	3	Dispersivo

AF8VM	6,50	Ácido	3	Dispersivo	1	Muy Dispersivo
AF5VM	7,73	Neutro	1	No Dispersivo	1	Intermedio
2JUE24	5,73	Ácido	1	No Dispersivo	1	Muy Dispersivo
AF1VM	7,05	Neutro	3	Dispersivo	2	Intermedio

Fuente: Autor

Elaboración: Autor.

El pH obtenido se puede observar en la tabla 16 donde se correlaciona con el método de doble hidrómetro, según la tabla la dispersión no es proporcional al pH, materiales dispersivos se encuentran en pH ácidos, básicos y neutros.

Tabla 16. Comparación entre Doble Hidrómetro y pH

AFLORAMIENTO	VALOR DE DISPERSIÓN	CLASIFICACIÓN	pH	CLASIFICACIÓN
AF2VM	No	No	8,86	Alcalino
3JUE24	36	Intermedio	6,60	Ácido
1JUE24	No	No	6,40	Ácido
AF6VM	No	No	7,54	Neutro
AF10VM	No	No	8,67	Alcalino
AF7VM	35	Intermedio	6,50	Ácido
AF9VM	38	Intermedio	8,22	Alcalino
AF3VM	50	Dispersivo	8,68	Alcalino
AF8VM	42	Intermedio	6,50	Ácido
AF5VM	45	Intermedio	7,73	Neutro
2JUE24	38	Intermedio	5,73	Ácido
AF1VM	91	Dispersivo	7,05	Neutro

Fuente: Autor

Elaboración: Autor.

Origen geológico de las arcillas dispersivas en la cuenca de Loja.

No podemos mencionar un origen cierto sobre las arcillas dispersivas, tan solo se conoce que poseen un gran porcentaje de sodio. A pesar de las dudas que se tiene sobre su origen Sherard (1977) menciona que sus orígenes más probables son de tipo aluvial y el continental.

La cuenca sedimentaria de Loja tiene un origen definido por Hungerbühler y otros (2002) él indica que las facies sedimentarias y datos paleontológicos sugieren un ambiente de llanura

costera con transgresiones marinas periódicas que se extienden en una zona de transición, por otro lado Kennerly (1973) indica que las facies de la cuenca son típicas de un ambiente de abanico aluvial, esto demuestra que podemos encontrar material dispersivo en la cuenca de Loja.

Al hablar del origen aluvial de la cuenca debemos mencionar un ambiente de naturaleza marino somero en el que se deposita la formación San Cayetano en el Mioceno Tardío, luego en la orogénesis los terrenos se levantaron e hídricamente se forman ríos encajados los cuales comienzan con una etapa de sedimentación en la cuenca, esa sedimentación provoca el origen de la formación Quillollaco que es la portadora de estructuras de dispersión encontradas dentro de la cuenca.

Tucker (1981) indica que la química del agua y la salinidad son los factores principales para que se dé la floculación de las arcillas. Habla también que en áreas relativamente cercanas a la costa como plataformas continentales con frecuencia se detecta zonas ricas en caolinita pero estas si presentan dispersividad, lo que indica que la floculación no es exclusiva de la montmorillonita, esta teoría refuerza lo propuesto por Hungerbühler y otros (2002) en la cuenca de Loja.

La montmorillonita es el mineral que tiene mayor relación con materiales dispersivos, este es el producto de una lixiviación intermedia en condiciones climáticas moderadas, siendo común en suelos temperados con buen drenaje y un pH neutral, también en suelos pobremente drenados y suelos áridos altamente alcalinos (Tucker, 1981). Este no es único mineral que se asocia a dispersión en el caso de mi investigación existe dispersión en minerales como la illita, caolinita y albita indicado en el apartado 4.3.

Soto y otros, (2017) publicó un estudio sobre la caracterización de los deslizamientos en la cuenca de Loja donde indica que los la mayoría de los deslizamientos encontrados en la cuenca son suelos ricos en illita y caolinita lo que sería un factor a considerar al momento de considerar un detonante de los deslizamientos. En los 12 puntos analizados en la cuenca Sur-Oeste de Loja se obtuvo resultados de difracción de DRX (tabla 7) el contenido de dichos minerales.

Pérez (2017) realiza una caracterización hidrogeológica de la cuenca de Loja y determina en su estudio la presencia de agua bicarbonatada sódica, bicarbonatada cálcica y clorurada sódica en el sector de la Argelia, sin embargo, en este estudio se le atribuye un origen antropogénico a la presencia de sodio. En la presente investigación se le puede atribuir el contenido de sodio a la albita, ceolita, aerinita y faujasita según difracción de DRX como se indica en la tabla 7.

Índice de plasticidad relacionado con dispersividad.

Mitchell (1993), Bell y Maud (2000) indica que las arcillas dispersivas han sido principalmente de baja a media plasticidad y contenían montmorillonita, caolinita. Los suelos más susceptibles a dispersión son lo que tienen de media a baja plasticidad.

Las muestras analizadas dieron que su plasticidad va desde media a baja por lo que podemos correlacionar con dispersión.

Tabla 17. Comparación entre índice de plasticidad con Crumb y Doble Hidrómetro.

AFLORAMIENTO	CLASIFICACIÓN SEGÚN CRUMB	CLASIFICACIÓN SEGÚN DOBLE HIDRÓMETRO	IP	DESCRIPCIÓN
AF2VM	2	Dispersivo	6	Arcilla inorgánica de baja plasticidad
3JUE24	3	Intermedio	8	Arcilla inorgánica de baja plasticidad
1JUE24	1	No	5	Arcilla inorgánica de baja plasticidad
AF6VM	3	No	7	Arcilla inorgánica de baja plasticidad
AF10VM	2	No	4	Arcilla inorgánica de baja plasticidad
AF7VM	4	Intermedio	10	Arcilla orgánica de baja plasticidad
AF9VM	3	Intermedio	8	Arcilla inorgánica de baja plasticidad
AF3VM	4	Dispersivo	9	Arcilla inorgánica de mediana plasticidad
AF8VM	3	Intermedio	9	Arcilla inorgánica de mediana plasticidad
AF5VM	1	Intermedio	13	Arcilla inorgánica de baja plasticidad
2JUE24	1	Intermedio	12	Arcilla inorgánica de baja plasticidad
AF1VM	3	Dispersivo	8	Arcilla inorgánica de mediana plasticidad

Fuente: Autor

Elaboración: Autor.

Correlación entre Ensayos de Dispersividad.

Al momento de correlacionar todos los ensayos realizaos obtuvimos que los puntos; AF2VM, 3JUE24, AF7VM, AF1VM, AF9VM, AF3VM son los que tienen un mayor grado de dispersividad como se muestra en la tabla 18.

Tabla 18. Correlación de valores obtenidos en el trabajo.

AFLORAMIENTO	CRUMB AGUA DESTILADA	CRUMB AGUA POTABLE	DOBLE HIDROMETRO
	GRADO DE DISPERSIÓN	GRADO DE DISPERSIÓN	
AF2VM	1	2	No
3JUE24	1	3	Intermedio
1JUE24	1	1	No
AF6VM	3	3	No
AF10VM	2	2	No
AF7VM	4	4	Intermedio
AF9VM	1	3	Intermedio
AF3VM	3	4	Dispersivo
AF8VM	1	3	Intermedio
AF5VM	1	1	Intermedio
2JUE24	1	1	Intermedio
AF1VM	2	3	Dispersivo

Fuente: Autor

Elaboración: Autor.

Correlación entre Ensayos de Dispersividad.

En la tabla 19 se muestra la correlación de todos los valores obtenidos en los ensayo, indicando los puntos que presentaron dispersividad. Se muestra el pH, el índice de plasticidad, Crumb en agua y agua destilada y la clasificación según doble hidrómetro.

Tabla 19. Correlación de valores obtenidos en el trabajo.

Afloramiento	pH	Clasificación.	IP	Crumb en agua	Grado de dispersión según Crumb	Crumb en agua destilada	Grado de dispersión según Crumb	Valor de dispersión	Clasificación según Doble Hidrómetro
AF2VM	3,04	Alcalino	6	2	Intermedio	1	No Dispersivo	83	DISPERSIVO
3JUE24	3,57	Ácido	7	3	Dispersivo	1	No Dispersivo	36	INTERMEDIO
1JUE24	3,09	Ácido	5	1	No dispersivo	1	No Dispersivo	NO	NO
AF6VM	2,36	Neutro	7	3	Dispersivo	3	Dispersivo	NO	NO

AF10VM	2,75	Alcalino	4	2	Intermedio	2	Intermedio	NO	NO
AF7VM	2,36	Ácido	10	4	Muy dispersivo	4	Muy Dispersivo	35	INTERMEDIO
AF9VM	2,27	Alcalino	6	3	Dispersivo	1	No Dispersivo	38	INTERMEDIO
AF3VM	2,56	Alcalino	9	4	Muy dispersivo	3	Dispersivo	62	DISPERSÍVO
AF8VM	2,34	Ácido	9	3	dispersivo	1	No Dispersivo	42	INTERMEDIO
AF5VM	2,34	Neutro	13	1	Dispersivo	1	Muy Dispersivo	45	INTERMEDIO
2JUE24	2,78	Ácido	12	1		1	No Dispersivo	38	INTERMEDIO
AF1VM	2,81	Neutro	6	3	Intermedio	2	Intermedio	75	DISPERSIVO

Elaboración: Autor.

Consideraciones ingenieriles.

Los suelos dispersivos deben ser identificados de manera temprana en todo tipo de obra civil ya que los problemas que puede ocasionar pueden ser catastróficos. Es necesario utilizar apropiadamente los materiales de construcción y conocimientos ingenieriles para prevenir y remediar posibles daños por la presencia de arcillas dispersivas.

En un estudio Sherard (1972) asegura que los filtros de arena o arena grava con $D_{15} = 0.5$ mm o más pequeño pueden controlar y sellar de manera segura las fugas de la mayoría de las arcillas dispersivas con d_{85} mayor de 0.03 mm. Los filtros de arena con $D_{15} = 0.2$ mm o menos son conservadores para la dispersión más fina arcillas. Se requieren los mismos filtros para arcillas que tienen una distribución de tamaño de partícula similar, ya sea dispersiva o no dispersiva, requieren los mismos filtros.

Estabilización de suelos dispersivos.

Es necesario estabilizar o eliminar las afecciones que producen los suelos dispersivos, esto se lo puede hacer mediante métodos químicos que reemplacen los cationes inestables de sodio por cationes estables de calcio, magnesio y aluminio.

La agricultura es la solución más factible, la siembra de pastos en conjunto con obras menores.

La estabilización de suelos dispersivos con cemento Pórtland está dado por el proceso de compactación de la mezcla suelo-aditivo, de esta mezcla se han obtenido resultados positivos al obtener un grado de compactación mayor al 95 % de la densidad máxima calculada en laboratorio. Esta relación funciona por el efecto aglomerante del aditivo. Al ser

necesario mezclar el suelo antes de su utilización resulta muy costoso y poco aplicable en obras de gran magnitud.

El Sulfato de Aluminio Hidratado $\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ es de uso común en la estabilización de suelos dispersivos en un estudio realizado por Ouhadi y Goodarzi (2006) hablan acerca de un material no dispersivo; arcilla bentonita. Mediante ensayos químicos y utilizando Sulfato de Sodio NaSO_4 como agente dispersante, convierten la bentonita en dispersiva, lo cual corroboran mediante ensayos de doble hidrómetro, y un análisis químico detallado que demostró el enriquecimiento de la bentonita con cationes de Sodio, suspendidos en el agua intersticial, y adheridos eléctricamente a las partículas de arcilla. La permeabilidad también disminuye, en razón directa al incremento de aditivo El suelo dispersivo así obtenido es sometido luego a un nuevo proceso de intercambio catiónico mediante la adición de Sulfato de Aluminio Hidratado, induciéndose la sustitución de los cationes de Sodio por cationes de Aluminio. Durante este proceso se controla rigurosamente el comportamiento de las variables de temperatura y pH. El estudio dio como resultado que la adición de un 1,5% de Sulfato de Aluminio Hidratado estabilizó de manera positiva las muestras de suelo dispersivo.

Al usar cal viva como solución para tratar suelos dispersivos es una opción viable debido a que ocasiona grandes cantidades de calor que disminuyen la humedad que existe en el suelo. La cal hidratada es casi insoluble, la lechada de cal cual tiene muy pocos cationes libres de calcio los que son necesarios para que se produzca el fenómeno de intercambio catiónico necesario para estabilizar los suelos dispersivos. A pesar de que a simple vista parezca un débil proceso de estabilización ocurre un proceso de migración de iones de Calcio desde las partículas de cal hidratada hacia las partículas de arcilla, desplazando los iones menos estables. Provocando floculación y aglomeración, este proceso dura algunas y el resultado es un suelo granular y friable, y como efecto secundario ocurre una gran reducción en el valor del Índice de Plasticidad.

CONCLUSIONES

En la zona sur-oeste de la cuenca de Loja se puede afirmar la existencia de arcillas dispersivas. En la actualidad la zona más afectada por la presencia de arcillas dispersivas es la vía de Integración Barrial y ciudadela ubicada en el barrio Daniel Álvarez donde se puede observar el colapso de estructuras como lo son vías y postes de luz en el caso de la ciudadela y el excesivo material granular que está disperso a lo largo de la vía y varios taludes en peligro de colapsar ya que su estructura se ve afectada por *piping* de gran tamaño además que están muy evolucionadas hasta.

Los resultados obtenidos en el ensayo de Crumb indican que cinco de los 12 afloramientos tienen un grado de dispersión media, dos son muy dispersivos y los demás muestran resultados entre no dispersivo y baja dispersión. Los puntos con mayor grado de dispersión se encuentran ubicados a lo largo de la vía de Integración Barrial y un punto en la nueva ciudadela ubicada en el barrio Daniel Álvarez.

El ensayo de doble hidrómetro arrojó resultados que van desde intermedio a dispersivo por lo que podemos concluir que las arcillas dispersivas están presentes dentro de todo el polígono de investigación.

La correlación entre el ensayo cualitativo de Crumb y el ensayo cuantitativo de doble hidrómetro aplicado a las 12 muestras no indica a ciencia cierta que en los afloramientos 3JU24, AF7VM, AF9VM, AF3VM, AF1VM, existe un grado de dispersión de intermedio a dispersivo.

Se puede decir que el motivo por el cual se desarrollaron de manera acelerada las estructuras de *piping* en las dos zonas más afectadas es la presencia de agua lluvia ya que no se encontró nivel freático y de las dos obras civiles como es la apertura de la vía y la edificación de la estructura de la nueva ciudadela.

El acelerado proceso de eluviación que provoca la percolación de partículas dispersivas en estratos más profundos ha dado origen a *piping* de gran tamaño lo que pueden influir en el desplazamiento o movimiento del terreno

RECOMENDACIONES

Se debe utilizar este estudio como una base de datos para futuros estudios civiles en la zona que fue caracterizada con la presencia de arcillas dispersivas.

Es necesario continuar con el estudio de arcillas dispersivas en la ciudad de Loja en especial las zonas donde se identifiquen estructuras típicas de estos materiales dispersivos con la finalidad de implementar una normativa de construcción que exija tomar en cuenta este factor ya que es una realidad su existencia para de esta forma prevenir y remediar obras que han sido afectadas.

Se deben complementar los resultados de este proyecto de fin de carrera con un análisis de microscopio de barrido, método de Pinhole para corroborar en un 100% la validez de los ensayos realizados.

Se debe hacer cumplir el artículo 389 del marco constitucional de la República del Ecuador, el mismo que menciona el estudio de arcillas dispersivas. En la ciudad de Loja se debe realizar estudios de arcillas dispersivas para cualquier obra civil que se encuentre dentro de la zona de estudio.

Una posible solución para controlar el problema evidente en la vía de integración sería encausar el agua de escorrentía superficial de tal manera que no tenga contacto con el estrato donde se encontró arcillas dispersivas, como trabajo adicional se debería impermeabilizar los taludes así no tendrían un desfogue de agua evitando la generación de estructuras de *piping*.

El uso de cal viva puede ser una solución viable en obras civiles de menor escala esta se aplica realizando un orificio con un diámetro de 10 cm y una profundidad donde se tenga contacto con el material dispersivo. La cal viva se aplica en una dilución con agua y se deja saturar por un periodo de 96 a 120 horas.

BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, C. (2015). *Estudio de arcillas dispersivas y sensitivas en la zona del canal San Antonio Manabí*. Sangolqui: ESPE.
- American Society for Testing and Materials. (1999). *D 4221-99 Standard Test Method for Dispersive Characteristics of Clay Soil by Double Hydrometer*.
- American Society for Testing and Materials. (1998). *D 422-63 Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*.
- American Society for Testing and Materials. (2000). *Standard Test Methods for Determining Dispersive Characteristics of Clayey Soils by the Crumb Test*.
- American Society for Testing Materials. (1999). *D4318-95a Standard Test Method for Liquid Limit, and Plasticity Index of Soils*.
- Anon. (1999). *Effects of sodicity and salinity on soil structure*.
- Bell, & Maud. (2000). *A groundwater survey of the greater Durban area and environs*.
- Bennett, & Hulbert. (1991). *Determinants of clay and shale microfabric signatures: Processes and mechanisms*. New York.
- Boggs, S. (2009). *Petrology of Sedimentary Rocks*. New York: Cambridge University Press.
- Bowles. (1981). *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil*. Ciudad de Mexico: Poligrafica S.A.
- Brinkman. (1988). Saline and sodic soils. In: *Land Reclamation and Water Management. ILRI*.
- Bryan, R., & Yair, A. (1982). *Badlands Geomorphology and Piping*. Oslo: Geobooks.
- Cardenas, J. E., & Delgado, J. M. (2015). *Identificación de arcillas dispersivas en los suelos de la presa Chojampe 2 del proyecto Pacalori*. Cuenca.
- Chorom, Rengasamy, & Murray. (1994). Clay Dispersion as Influenced by pH and Net Particle Charge of sodic soils. *Department of soil science*.
- Clark, M. (1986). *Mechanics, Identification, Testing, and Use of Dispersive Soil in Zimbabwe*.
- Emerson. (1964). *The Slaking of Soil Crumbs as Influenced by Day Mineral Composition*.
- Encyclopedia Britannica. (2012). *The Editors of Encyclopædia Britannica*.
- Fell, MacGregor, Stapledon, & Foster. (1992). *Geotechnical Engineering of Dams, 2nd Edition*.
- Figueras, J. (2009). *Estabilidad de las dispersiones, mecanismos y aditivos*. Additives y Instrumentos.
- Garay, & Alva. (2014). *Identificación y Ensayos en Suelos Dispersivos*.

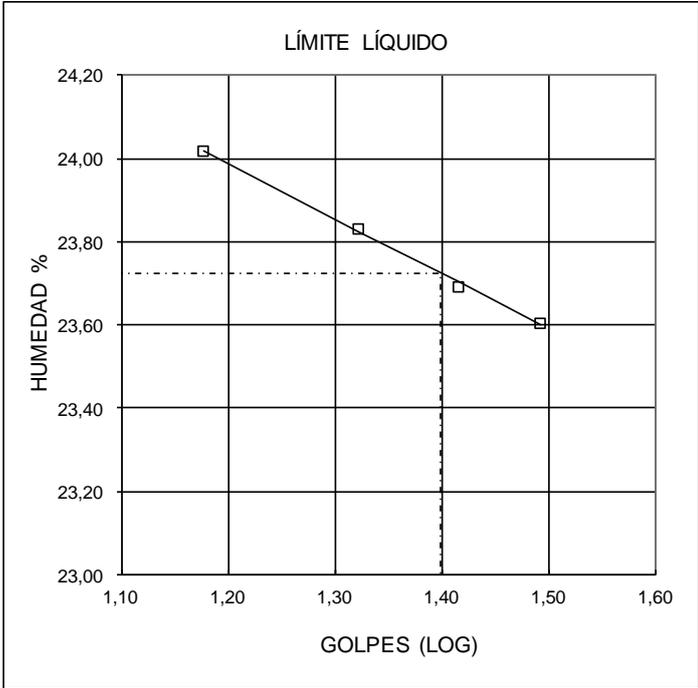
- García, E., & Suárez, M. (2011). *Las Arcillas: Propiedades y Usos*.
- Gobierno Provincial de Loja, G. (2013). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Loja. Obtenido de <http://www.life-in-ecuador.com/ecuadors-loja-province.html>
- González, Y., & Armas, R. (2008). Identificación y estabilización de suelos dispersivos. *Identificación y estabilización de suelos dispersivos*, (pág. 10). La Habana.
- Guartan, J. (2010). *Zonificación Sísmica de la cuenca de Loja (Ecuador), a partir de datos litológicos y medidas de ruido ambiental*. Granada: Universidad de Granada.
- Guggenheim, S. (2014). *Introduction to the properties of clay minerals*. Illinois.
- Haliburton, Petry, & Hayden. (1975). *Identification and Treatment of dispersive soils*. Denver.
- Hanson, B., Grattan, S., & Fulton, A. (2006). *Agricultural Salinity and Drainage*. California: University of California.
- Hernández, J., & Gómez, J. (2012). *Estudio y Caracterización de Suelos Dispersivos*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Holmgren, & Flanagan. (1977). Factors affecting spontaneous dispersion of soil materials as evidenced by crumb test. *ASTM*.
- Hosseini, Abdul, Mojiri, & Jan. (2017). Treatment of dispersive clay soil by Zelac.
- Huddleston, & Lynch. (1975). *Dispersive Soils in Mississippi*.
- Hungerbühler, Steinmann, Winkler, Seward, Egüez, Peterson, Hammer. (2002). Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador. *Earth Science*, 124.
- IGM. (s.f.). *Instituto Geográfico Militar*. Obtenido de www.igm.gob.ec
- INAMHI. (2011). *Anuario Meteorológico*. Quito.
- INEC. (2010). *Censo de población y vivienda*.
- Ingles, & Metcalf. (1972). *Soil Stabilization*. Sydney.
- Ingles, O., & Metcalf. (1972). *Soil stabilization*.
- INIGEMM. (2017). *Proyecto de Investigación Geológica y Disponibilidad de ocurrencias de recursos minerales en el territorio ecuatoriano*.
- Jones, J. (2004). *Implications of natural soil piping for basin*. Wiley Interscience, 25.
- Kennerly, J. (1973). Geology of Loja Province, southern Ecuador. *Institute of Geological Sciences Overseas Division*, 24.
- Knodel, P. C. (1991). Characteristics and Problems of Dispersive Clay Soils. *Laboratory Service Division Materials Engineering Branch*.
- Lahuate, J. (2005). *Levantamiento geológico y análisis de la deformación tectónica entre las latitudes 2°28' S y 2°37' S, provincia de Cañar*. Quito: EPN.

- Litherland, M., Aspend, A., & Jemielita, A. (1994). The metamorphic belts of Ecuador: Overseas Memoir of the British Geological Survey. 147.
- Lopez, F., & Torcal, L. (1986). *Procesos de erosion en tunel en cuencas sedimentarias de Murcia*.
- Maldonado, N. (2014). *Clima de Loja, Rasgos Generales*. Obtenido de <http://casadelaculturaloja.gob.ec/archives/250>
- Marsal. (1975). *Presas de Tierra y Enrocamiento*.
- Mitchell, J. (1993). *Fundamentals of Soil Behavior*. New York.
- Moon, & Hurst. (1984). *Fabric of muds and shales: an overview, in Stow D. A. V. and D. J. W. Piper (eds.), Fine-Grained Sediments: Deep-Water Processes and*. Geological Society Special Publication.
- Moriwaki, Yoshiharu, & Mitchell. (1977). *The Role of Dispersion in the Slaking of Intact Clay*.
- Neetu, & Sammer. (2015). Characterization of Dispersive Soils- A Comparative Evaluation between Available Test. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 11.
- Olphen. (1977). *An Introduction to Clay Colloid Chemistry*.
- Ouhadi, & Goodarzi. (2006). *Assessment of the stability of a dispersive soil treated by alum*.
- Parker, G. (1964). *Piping, a geomorphic agent in landform development of the drylands*. International Association of Scientific Hydrology.
- Pérez, Á. (2017). *Caracterización Hidrogeológica de las cuencas de Loja y Catamayo*. Loja.
- Petropedia. (2017). *Petropedia Inc*. Obtenido de <https://www.petropedia.com/definicion/1058/deflocculation>
- PNUMA. (2007). *Geo Loja*. Loja.
- Porteros, H. G., & Hurtado, J. A. (1999). *Identificación y ensayos en suelos dispersivos*.
- Quimplex S.A. (28 de 08 de 2010). *Quimplex S.A*. Obtenido de <http://www.quimplex.com/?p=239>
- Ruiz. (2008). *Delimitacion y Codificacion de Unidades Hidrograficas de Sudamerica*. Quito.
- Salinas, L. M., Yapari, J. H., Canelas, A., & Aranibar, A. (2000). *Mecanica de Suelos*.
- Schlumberger. (2017). *Schlumberger Oilfield Glossary en Español*. Recuperado el Jueves de Noviembre de 2017, de Schlumberger : http://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/p/peptizing_agent.aspx?p=1
- Sherard, J. (1972). *Study of Piping Failures and Erosion Damage from Rain in Clay Dams in Oklahoma and Mississippi*. California: National Agricultural Library.
- Skoog. (2001). *Principios de Análisis Instrumental*. Madrid.

- Soto, Galve, Palenzuela, Azañon, Tamay, & Irigaray. (2017). A multi-method approach for the characterization of landslides in an intramontane basin in the Andes (Loja, Ecuador).
- Sowers, G. (1979). *Soil Mechanics and Foundations: Geotechnical Engineering*.
- Steinmann, Hungerbühler, Seward, & Winkler. (1999). Neogene tectonic evolution and exhumation of the southern Ecuadorian Andes: a combined stratigraphy and fission-track approach. *Tectonophysics*, 22.
- Tamay, J. (2004). Mapa Geologico Preliminar de la Hoya de Loja. Loja, Ecuador: UTPL.
- Terra Soil Science. (2015). *Hakskeenpan Challenge*. Obtenido de <http://www.terrasoil.co.za/education-bits.html>
- Trejo, A. (2008). *Identificación de arcillas dispersivas en las llanuras costeras del Golfo de Mexico*. Mexico D.F.
- Tucker, M. (1981). *Sedimentary Petrology: An Introduction to the Origin of Sedimentary Rocks*.
- Unified Soil Classification System. (s.f.). *USCS*.
- United States Department of Agriculture. (2004). *Clasificación de suelos*.
- UNL y PNUD. (2013). *Vulnerabilidad a nivel municipal del cantón Loja*. Loja.
- USDA. (2004). *Clasificación de suelos*.
- Whitlow. (1994). *Fundamentos de mecánica de suelos*.

ANEXOS

ANEXO I: LÍMITES DE ATTERBERG

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL TITULACIÓN DE GEOLOGÍA Y MINAS</p>						
Afloramiento 2JUE24						
Proyecto:	Caracterización del grado de dispersión en arcillas de la zona Sur-Oeste de la cuenca sedimentaria de Loja, para determinar potencial de generación de procesos de piping.					
Autor:	Víctor Martínez					
	GOLPES	PESO HM.	SECO	DE CAPS	w %	RESULTADO
LÍMITE LÍQUIDO	32	91,28	85,92	65,99	26,89	27,47
	26	93,22	88,38	70,75	27,45	
	22	79,69	74,95	57,86	27,74	
	18	82,90	77,19	56,91	28,16	
LÍMITE PLÁSTICO		60,82	59,92	53,76	14,61	14,52
		76,46	75,00	64,88	14,43	
RESULTADOS	LL = 27,00 % LP = 15,00 % IP = 12,00 %					
 <p style="text-align: center;">LÍMITE LÍQUIDO</p>						
ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD (CL)						



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL
 TITULACIÓN DE GEOLOGÍA Y MINAS

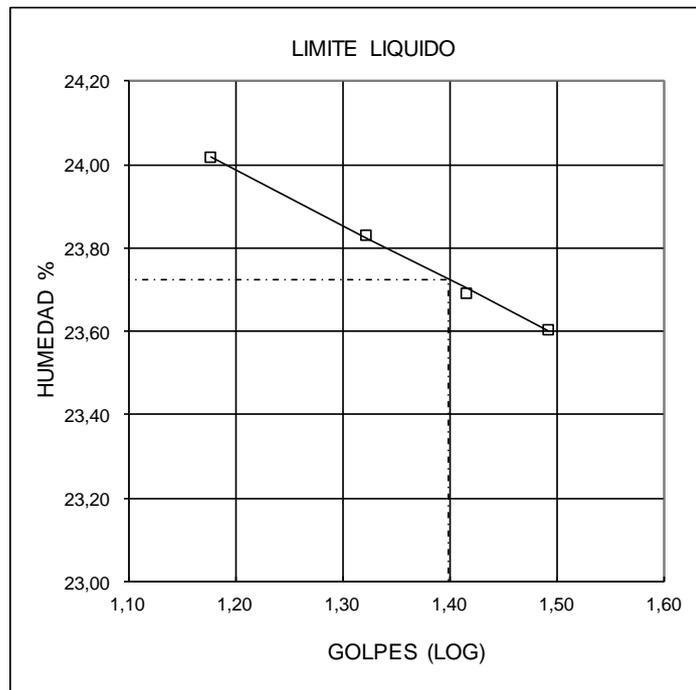
Afloramiento 3JUE24

Proyecto: Caracterización del grado de dispersión en arcillas de la zona Sur-Oeste de la cuenca sedimentaria de Loja, para determinar potencial de generación de procesos de piping.

Autor: Víctor Martínez

	GOLPES	PESO HM.	SECO	DE CAPS	w %	RESULTADO
LÍMITE LÍQUIDO	34	84,08	79,52	58,22	21,41	22,26
	27	80,50	76,04	55,82	22,06	
	24	94,07	89,07	66,68	22,33	
	18	96,58	91,56	69,93	23,21	
LÍMITE PLÁSTICO		68,12	67,29	61,59	14,56	14,12
		73,24	72,46	66,76	13,68	

RESULTADOS
 LL = **22,00** %
 LP = **15,00** %
 IP = **7,00** %



ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD (CL)



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL
TITULACIÓN DE GEOLOGÍA Y MINAS

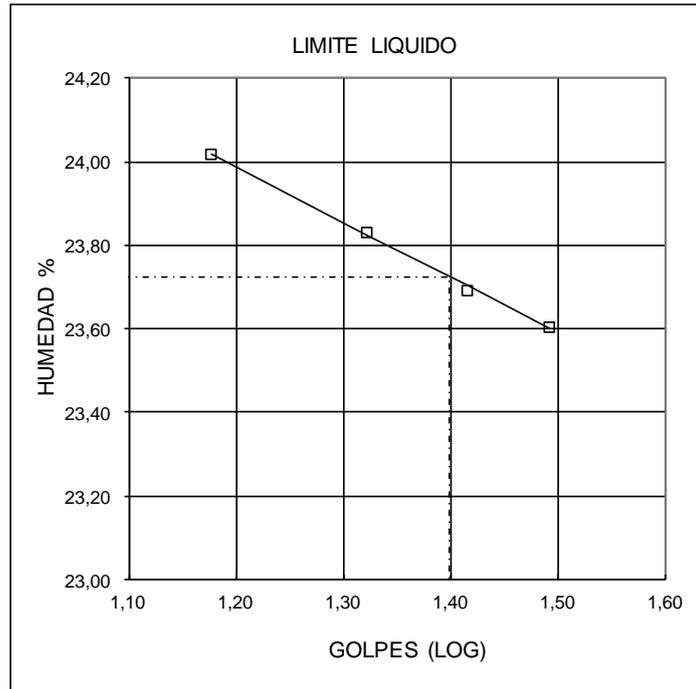
Afloramiento 1JUE24

Proyecto: Caracterización del grado de dispersión en arcillas de la zona Sur-Oeste de la cuenca sedimentaria de Loja, para determinar potencial de generación de procesos de piping.

Autor: Víctor Martínez

	GOLPES	PESO HM.	SECO	DE CAPS	w %	RESULTADO
LÍMITE LÍQUIDO	32	94,03	89,55	69,58	22,43	22,75
	27	82,46	78,30	59,95	22,67	
	23	87,79	83,01	62,11	22,87	
	15	87,35	82,80	63,31	23,35	
LÍMITE PLÁSTICO		78,30	76,11	63,84	17,85	17,31
		75,43	73,61	62,76	16,77	

RESULTADOS
 LL = **23,00** %
 LP = **18,00** %
 IP = **5,00** %



ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD (CL)



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL
 TITULACIÓN DE GEOLOGÍA Y MINAS

Afloramiento AF6VM

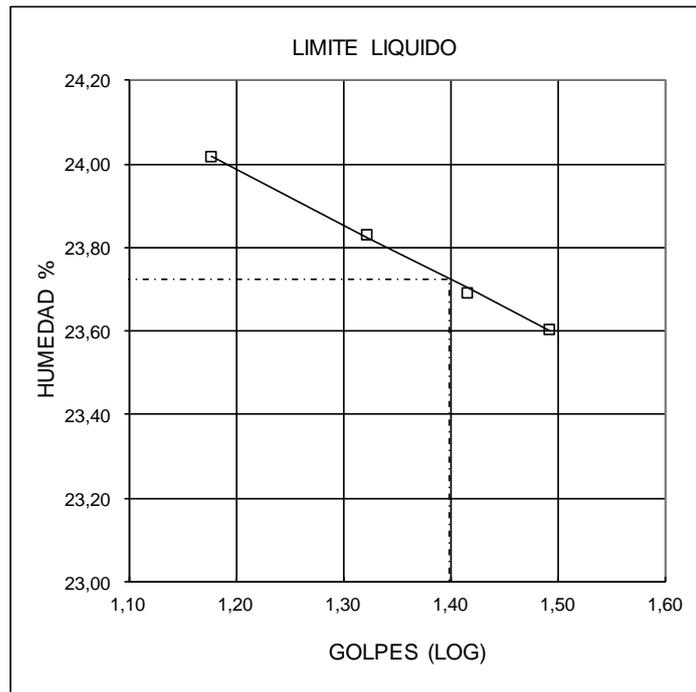
Proyecto: Caracterización del grado de dispersión en arcillas de la zona Sur-Oeste de la cuenca sedimentaria de Loja, para determinar potencial de generación de procesos de piping.

Autor: Víctor Martínez

	GOLPES	PESO HM.	SECO	DE CAPS	w %	RESULTADO
LÍMITE LÍQUIDO	30	80,96	76,55	56,81	22,34	22,54
	27	73,88	69,41	49,51	22,46	
	22	89,73	85,18	65,13	22,69	
	15	78,95	75,10	58,43	23,10	
LÍMITE PLÁSTICO		63,81	62,63	55,15	15,78	15,79
		75,44	73,59	61,88	15,80	

RESULTADOS

LL = **23,00** %
 LP = **16,00** %
 IP = **7,00** %



ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD (CL)



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL
 TITULACIÓN DE GEOLOGÍA Y MINAS

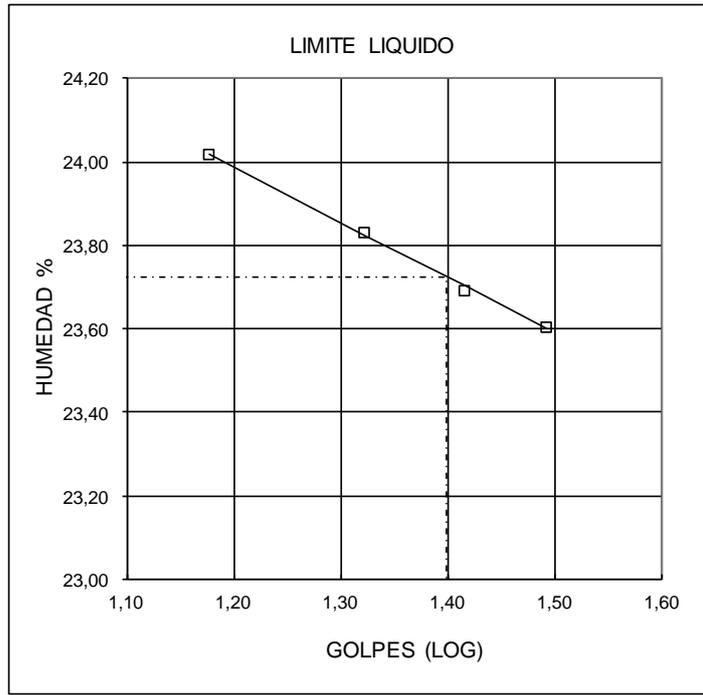
Afloramiento AF10VM

Proyecto: Caracterización del grado de dispersión en arcillas de la zona Sur-Oeste de la cuenca sedimentaria de Loja, para determinar potencial de generación de procesos de piping.

Autor: Víctor Martínez

	GOLPES	PESO HM.	SECO	DE CAPS	w %	RESULTADO
LÍMITE LÍQUIDO	31	79,65	75,60	57,40	22,25	22,35
	27	93,22	89,41	72,34	22,32	
	24	82,39	78,06	58,71	22,38	
	16	96,25	91,94	72,83	22,55	
LÍMITE PLÁSTICO		78,15	77,14	71,40	17,60	17,46
		74,66	72,94	63,01	17,32	

RESULTADOS
 LL = **22,00** %
 LP = **18,00** %
 IP = **4,00** %



ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD (CL)



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL
 TITULACIÓN DE GEOLOGÍA Y MINAS

Afloramiento AF9VM

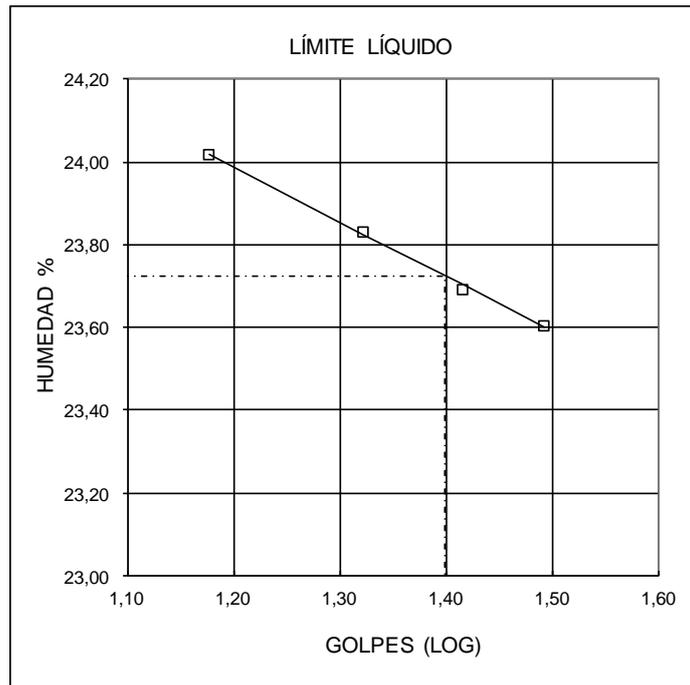
Proyecto: Caracterización del grado de dispersión en arcillas de la zona Sur-Oeste de la cuenca sedimentaria de Loja, para determinar potencial de generación de procesos de piping.

Autor: Víctor Martínez

	GOLPES	PESO HM.	SECO	DE CAPS	w %	RESULTADO
LÍMITE LÍQUIDO	33	82,39	77,53	53,76	20,45	20,84
	26	97,81	93,14	70,67	20,78	
	21	91,12	87,58	70,77	21,06	
	15	91,08	87,32	69,91	21,60	
LÍMITE PLÁSTICO		73,11	72,33	67,14	15,03	15,29
		74,77	73,86	68,01	15,56	

RESULTADOS

LL = **21,00** %
 LP = **15,00** %
 IP = **6,00** %



ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD (CL)



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL
 TITULACIÓN DE GEOLOGÍA Y MINAS

Afloramiento AF10VM

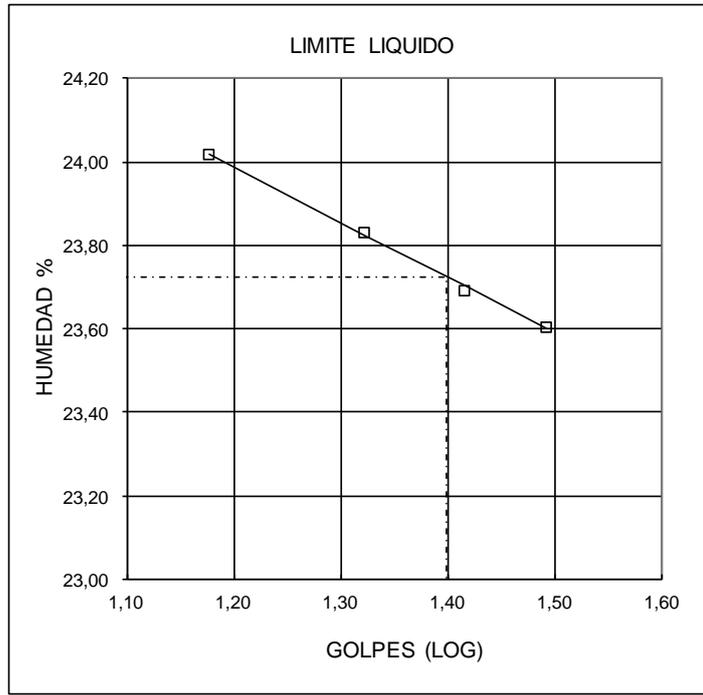
Proyecto: Caracterización del grado de dispersión en arcillas de la zona Sur-Oeste de la cuenca sedimentaria de Loja, para determinar potencial de generación de procesos de piping.

Autor: Víctor Martínez

	GOLPES	PESO HM.	SECO	DE CAPS	w %	RESULTADO
LÍMITE LÍQUIDO	31	79,65	75,60	57,40	22,25	22,35
	27	93,22	89,41	72,34	22,32	
	24	82,39	78,06	58,71	22,38	
	16	96,25	91,94	72,83	22,55	
LÍMITE PLÁSTICO		78,15	77,14	71,40	17,60	17,46
		74,66	72,94	63,01	17,32	

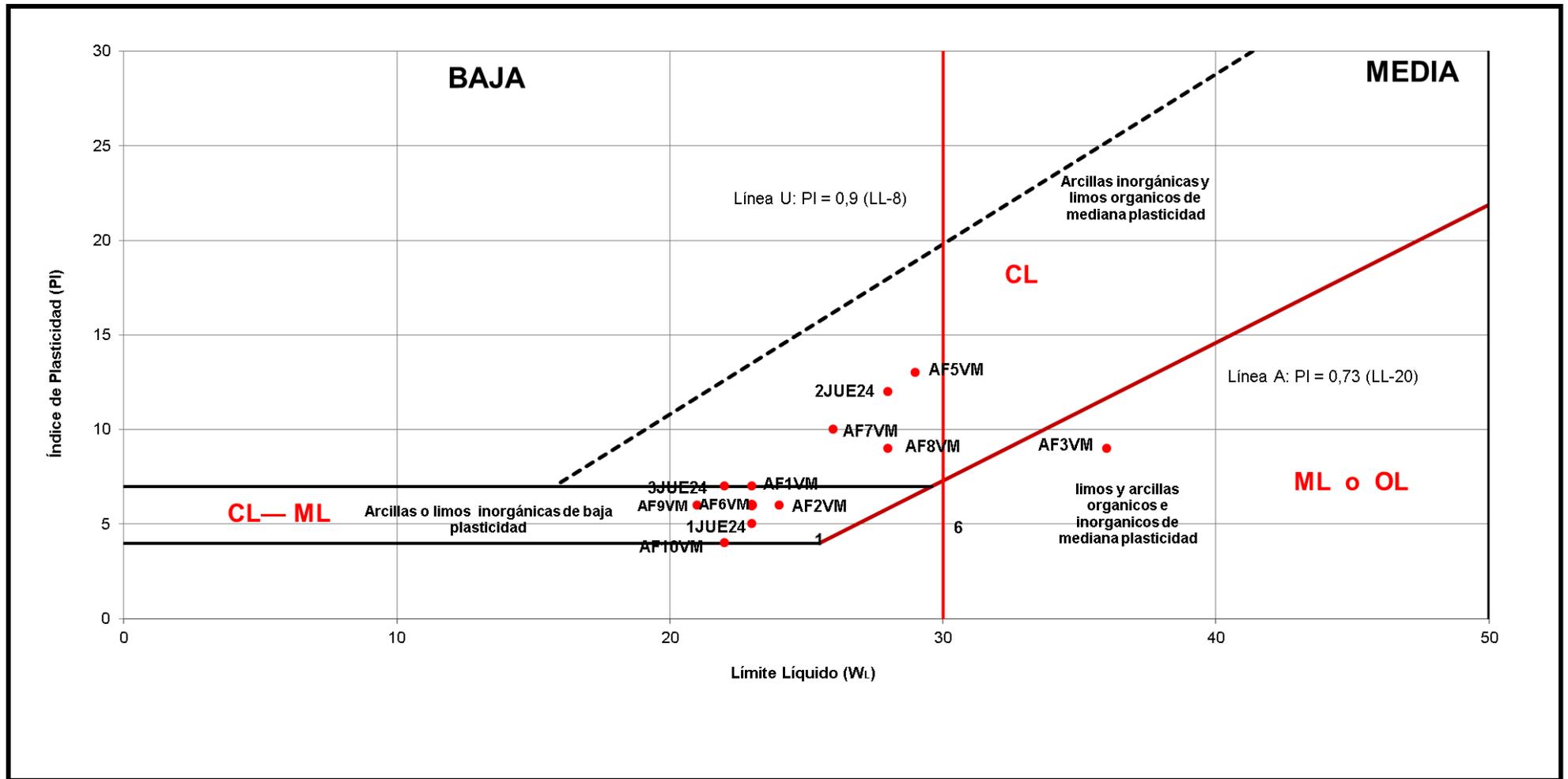
RESULTADOS

LL = **22,00** %
 LP = **18,00** %
 IP = **4,00** %



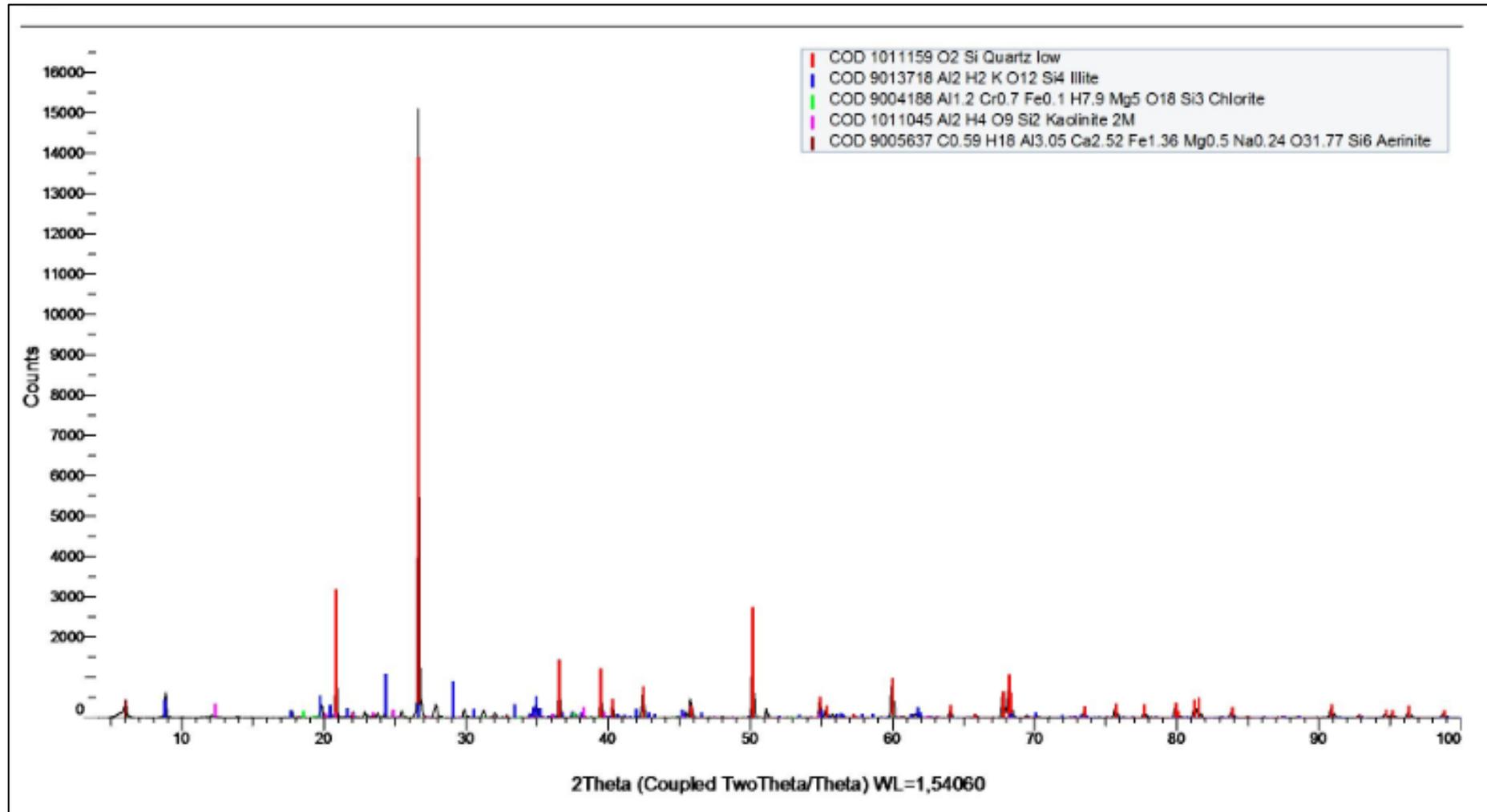
ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD (CL)

ANEXO II: CARTA DE CASAGRANDE

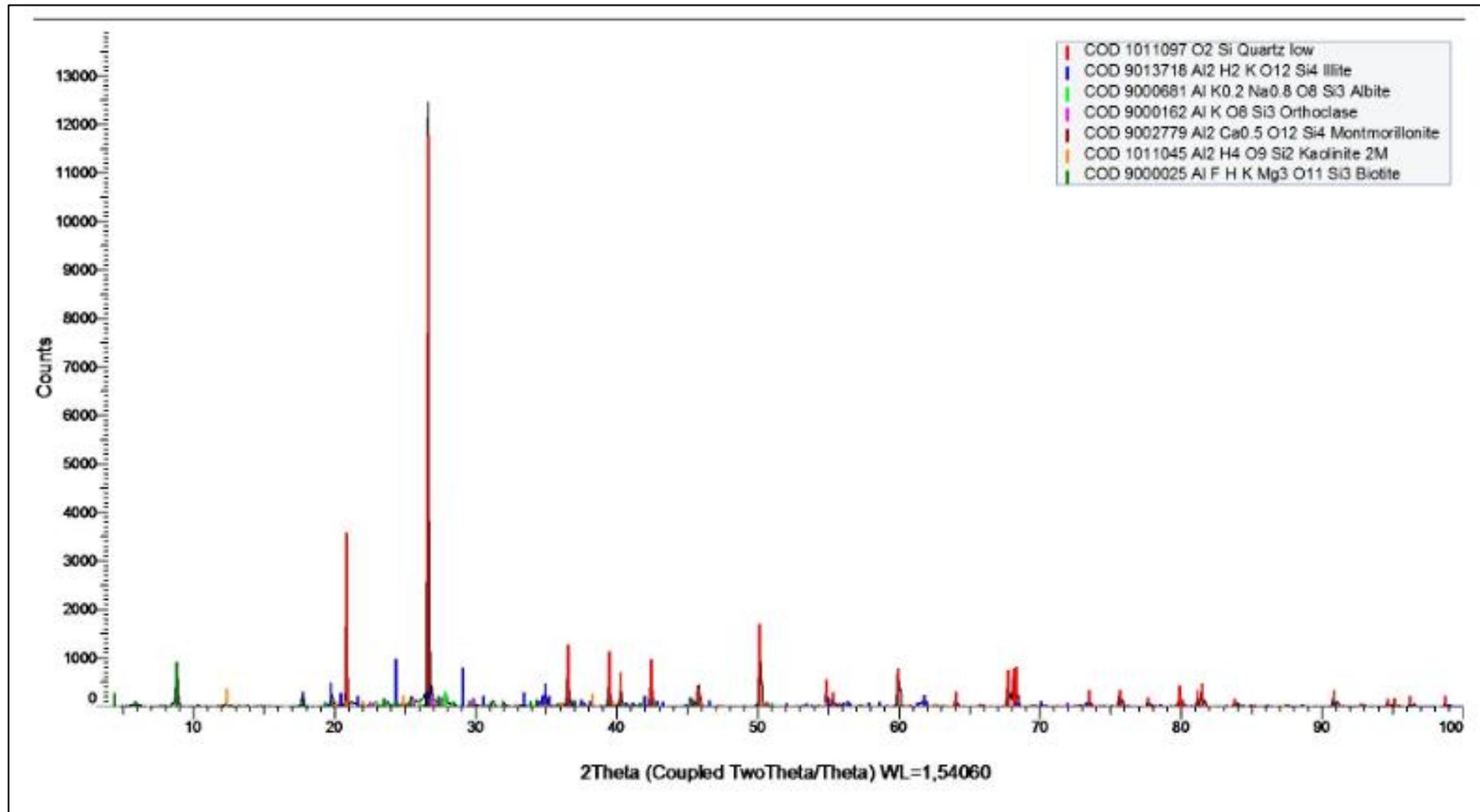


ANEXO III: DIFRACTOGRAMAS DRX

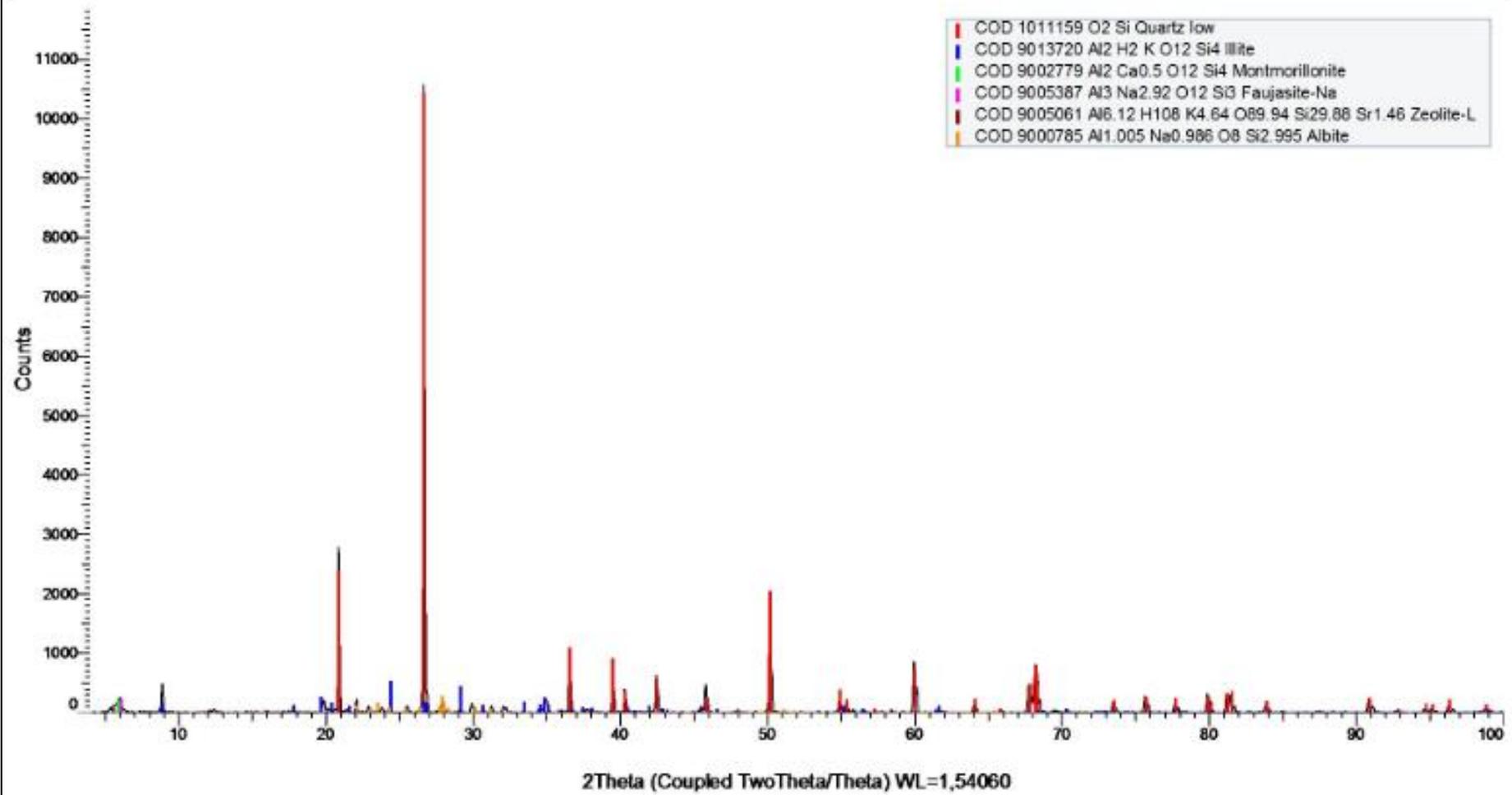
Afloramiento AF2VM

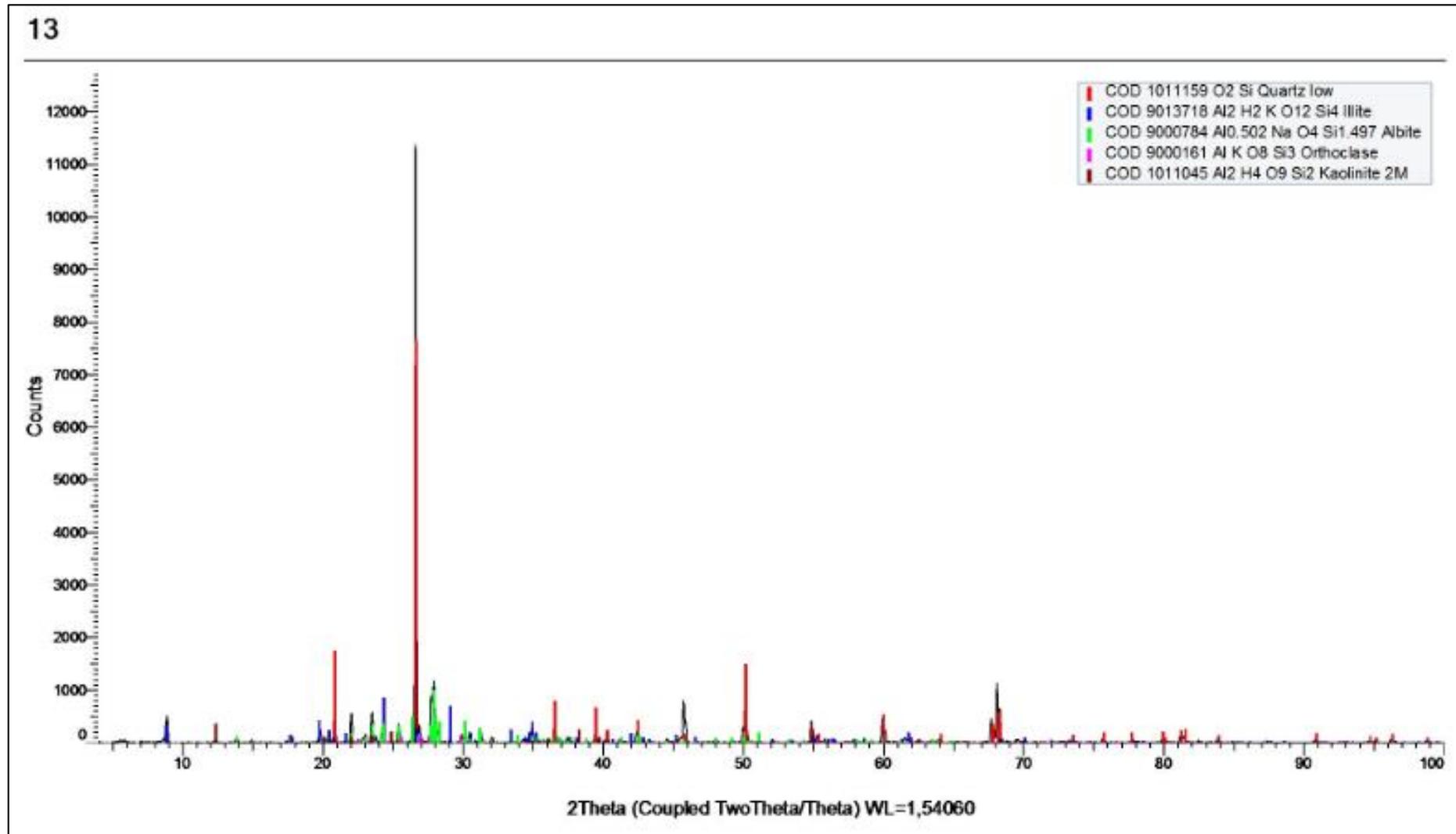


Afloramiento 3JUE24

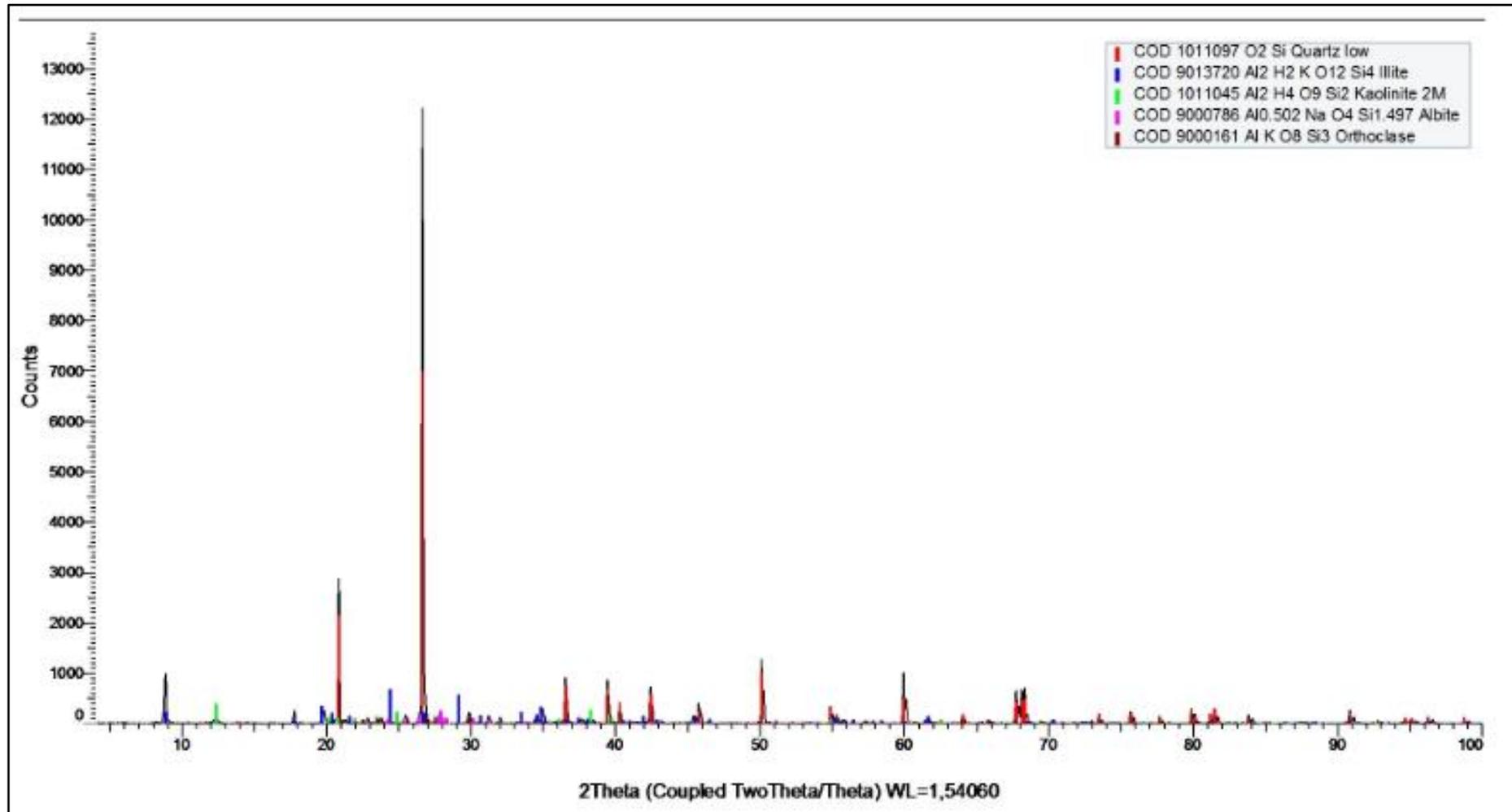


18

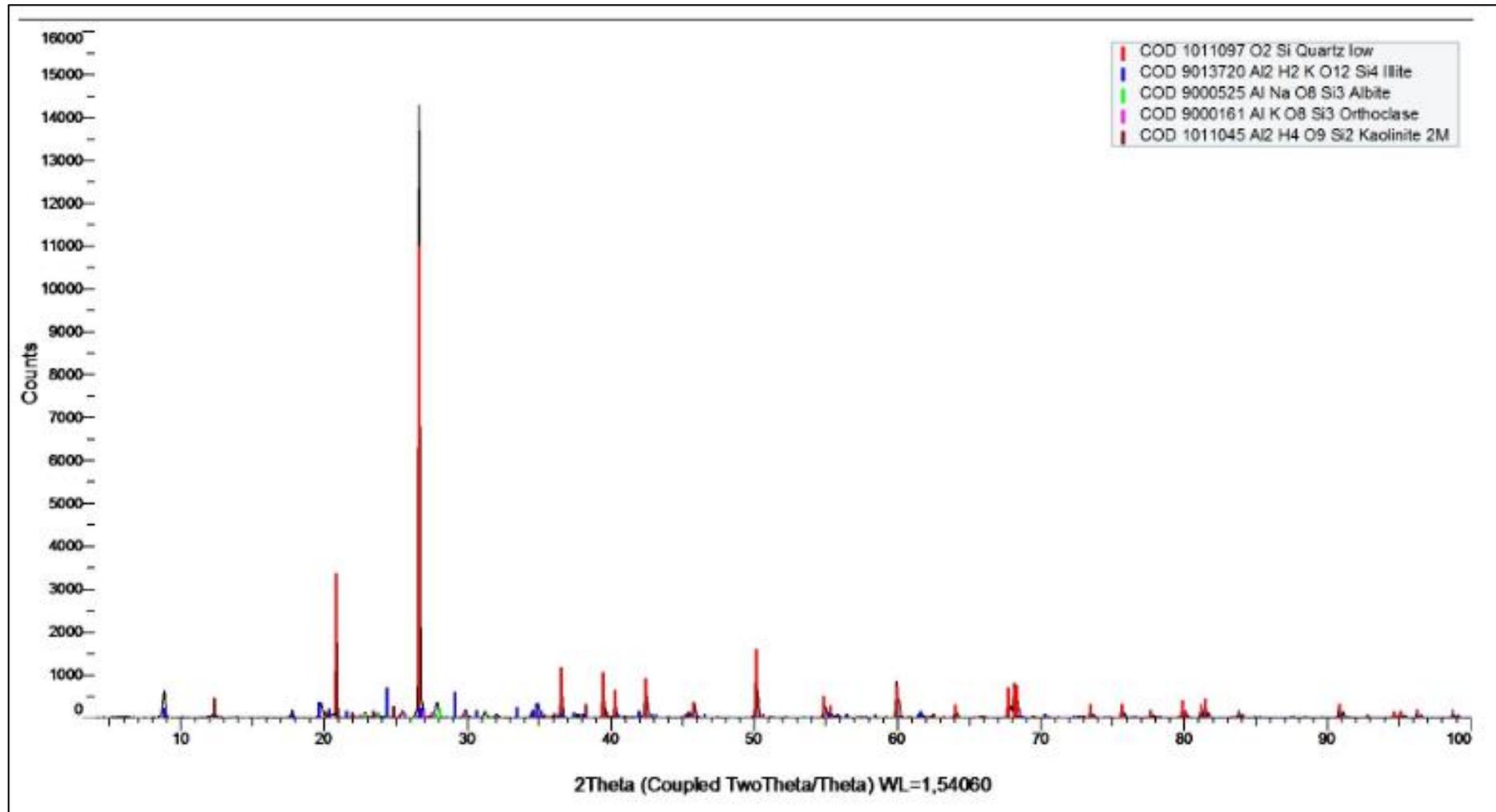




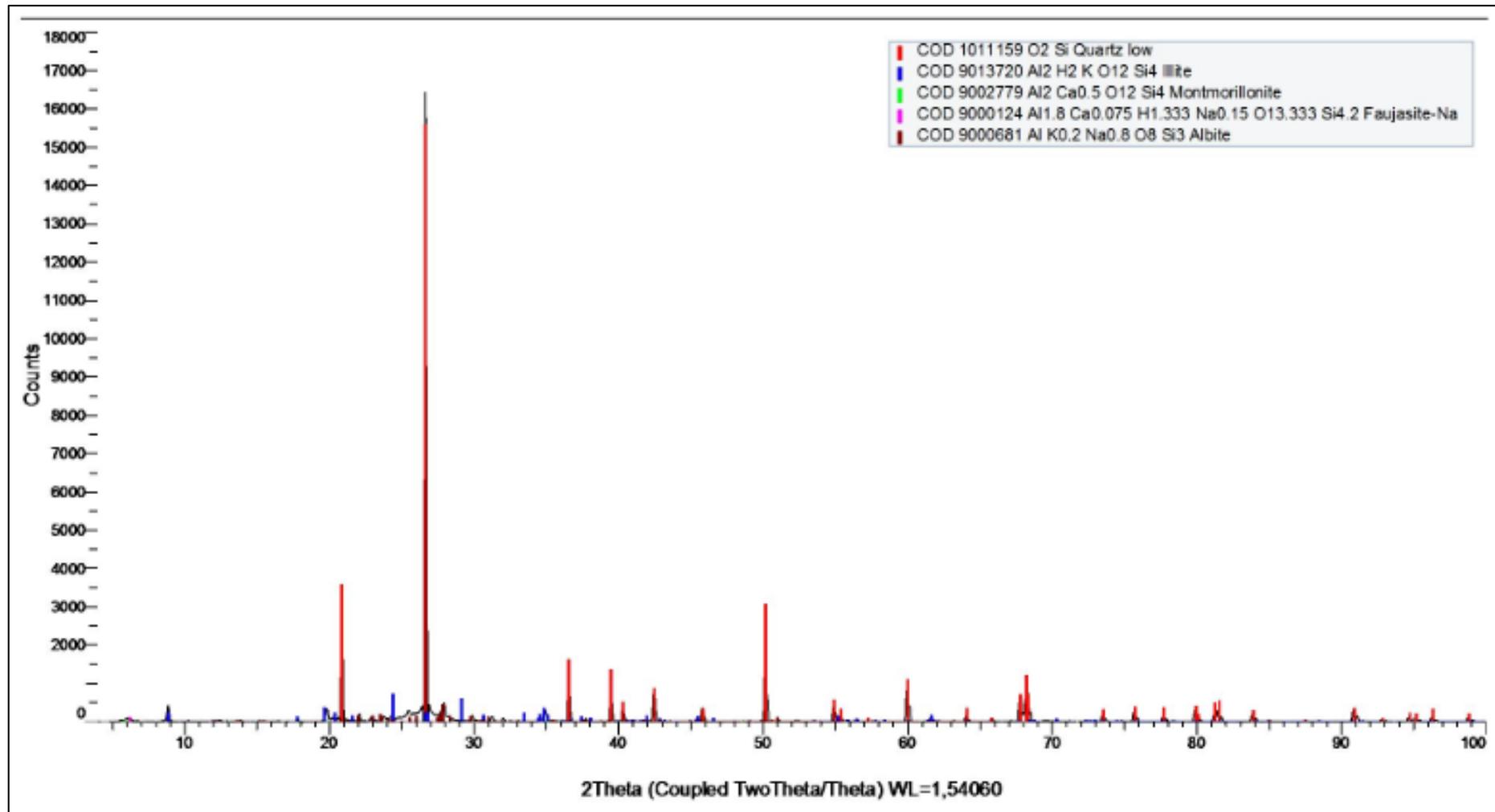
Afloramiento AF10VM



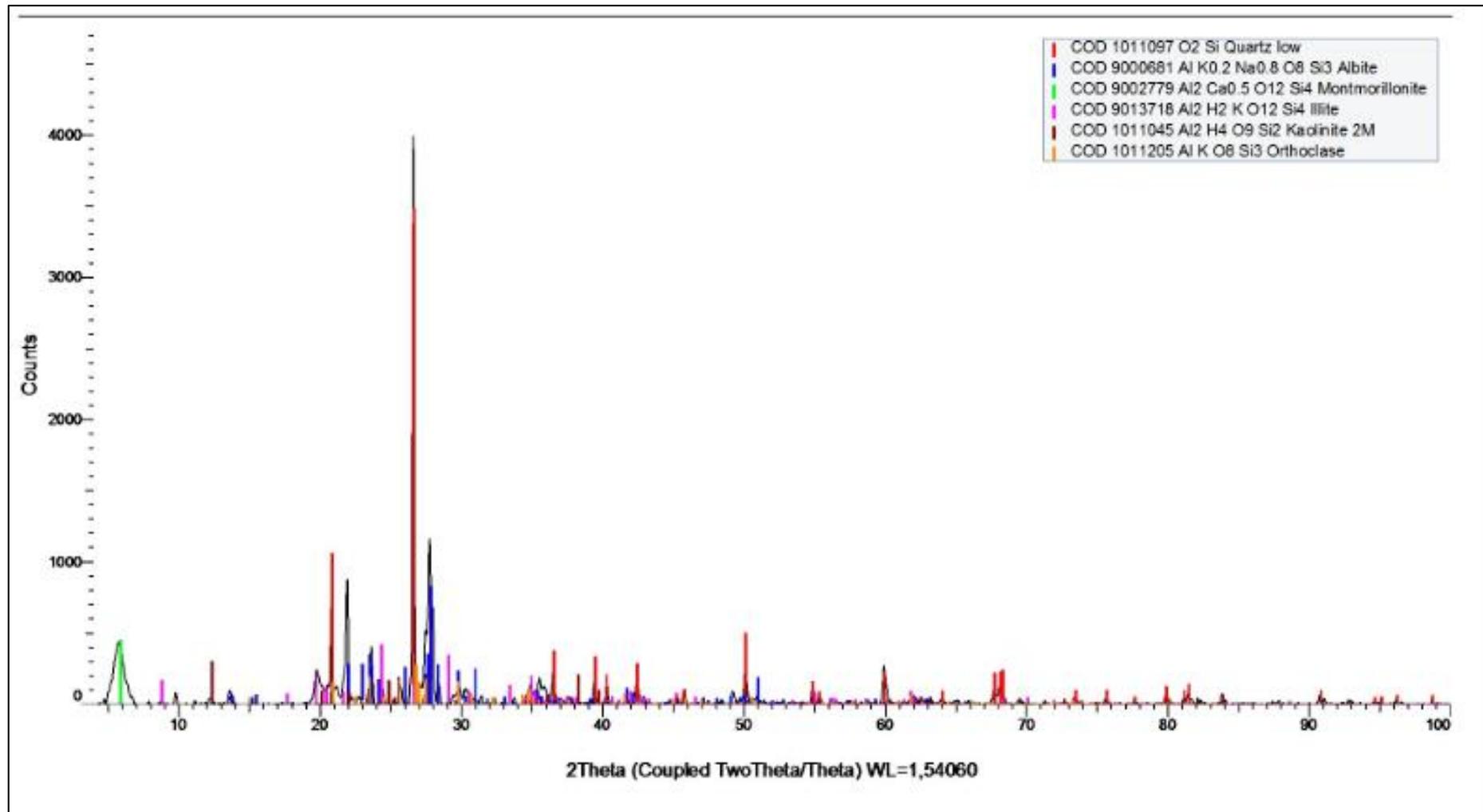
Afloramiento AF7VM



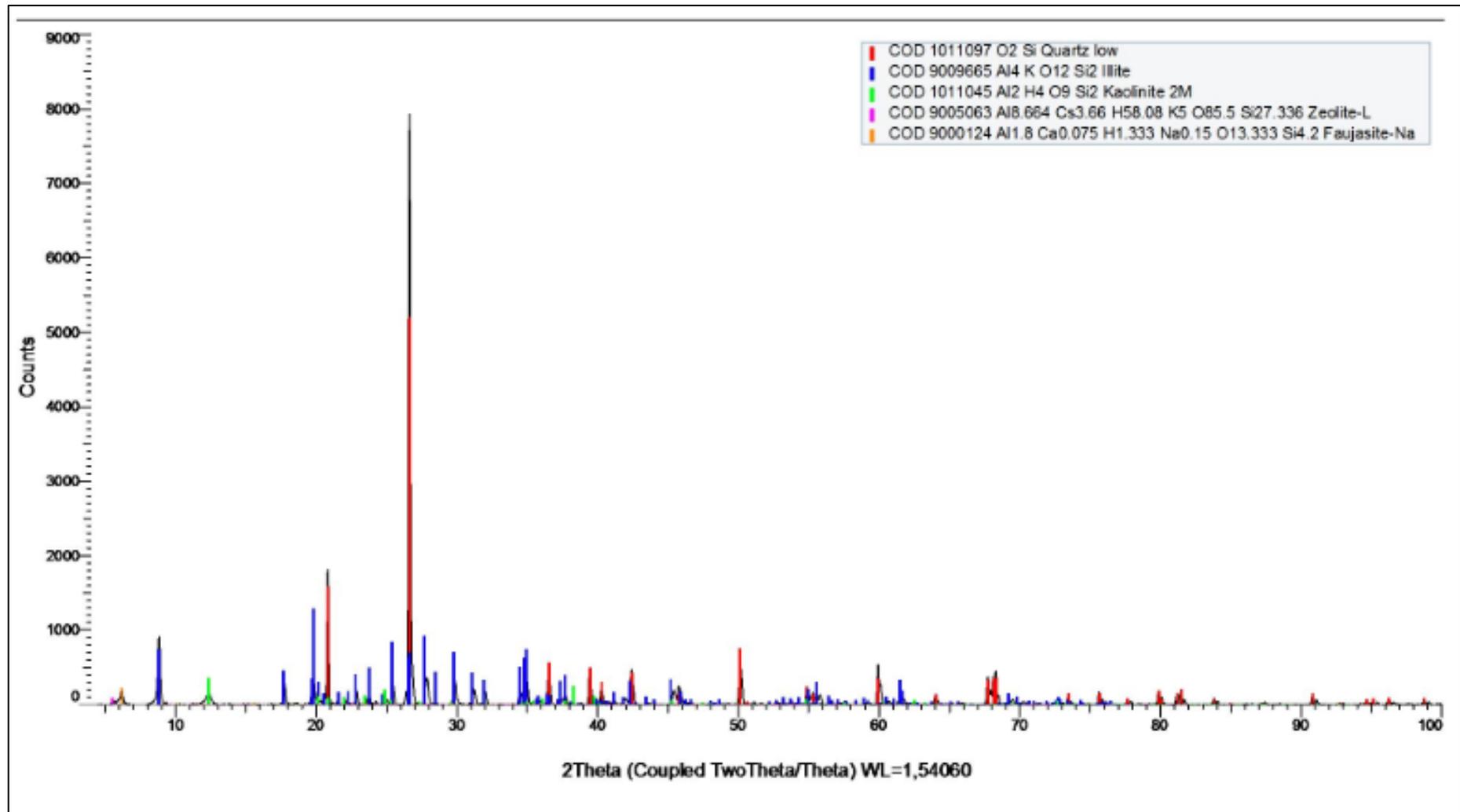
Afloramiento AF9VM



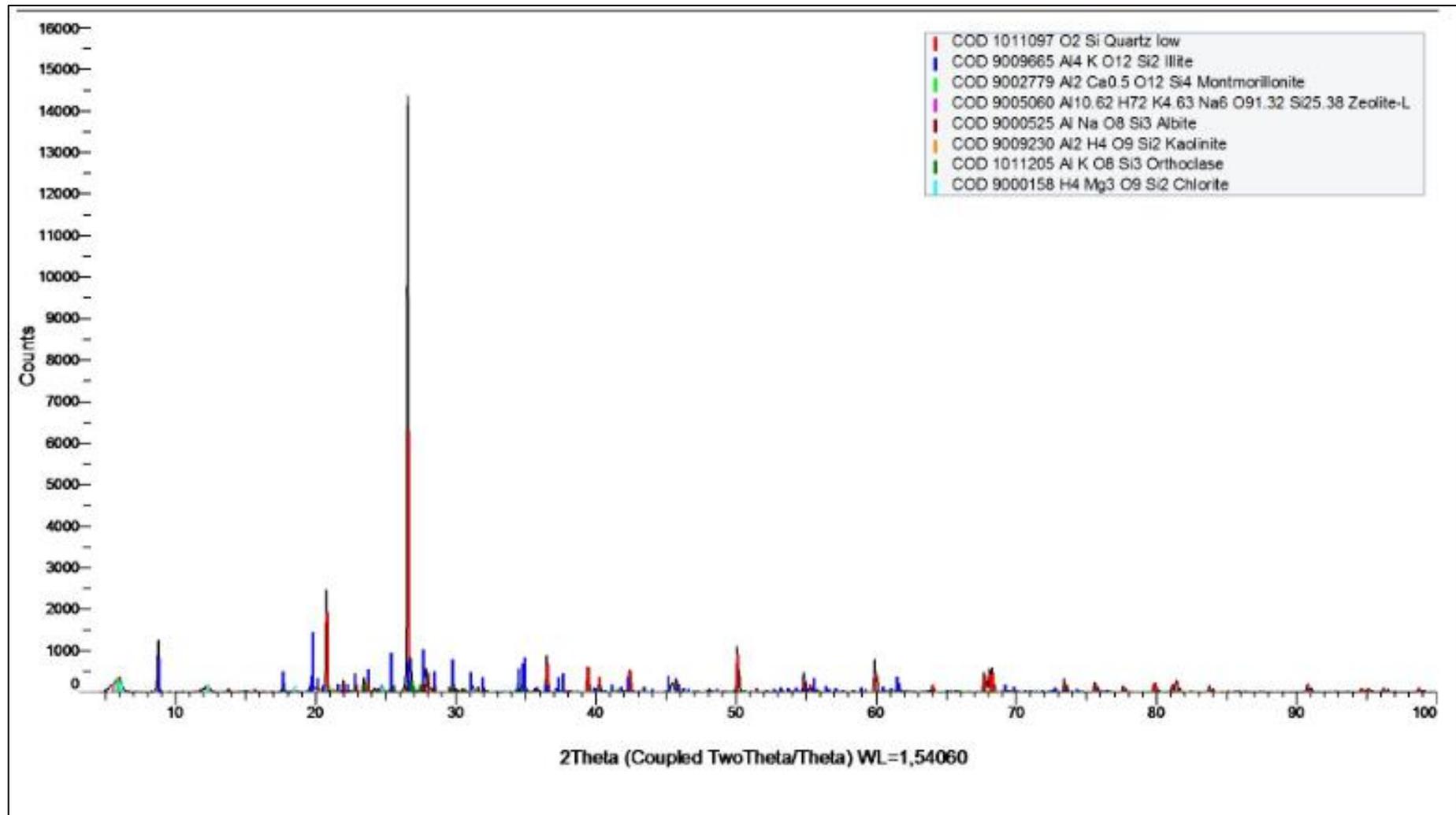
Afloramiento AF3VM



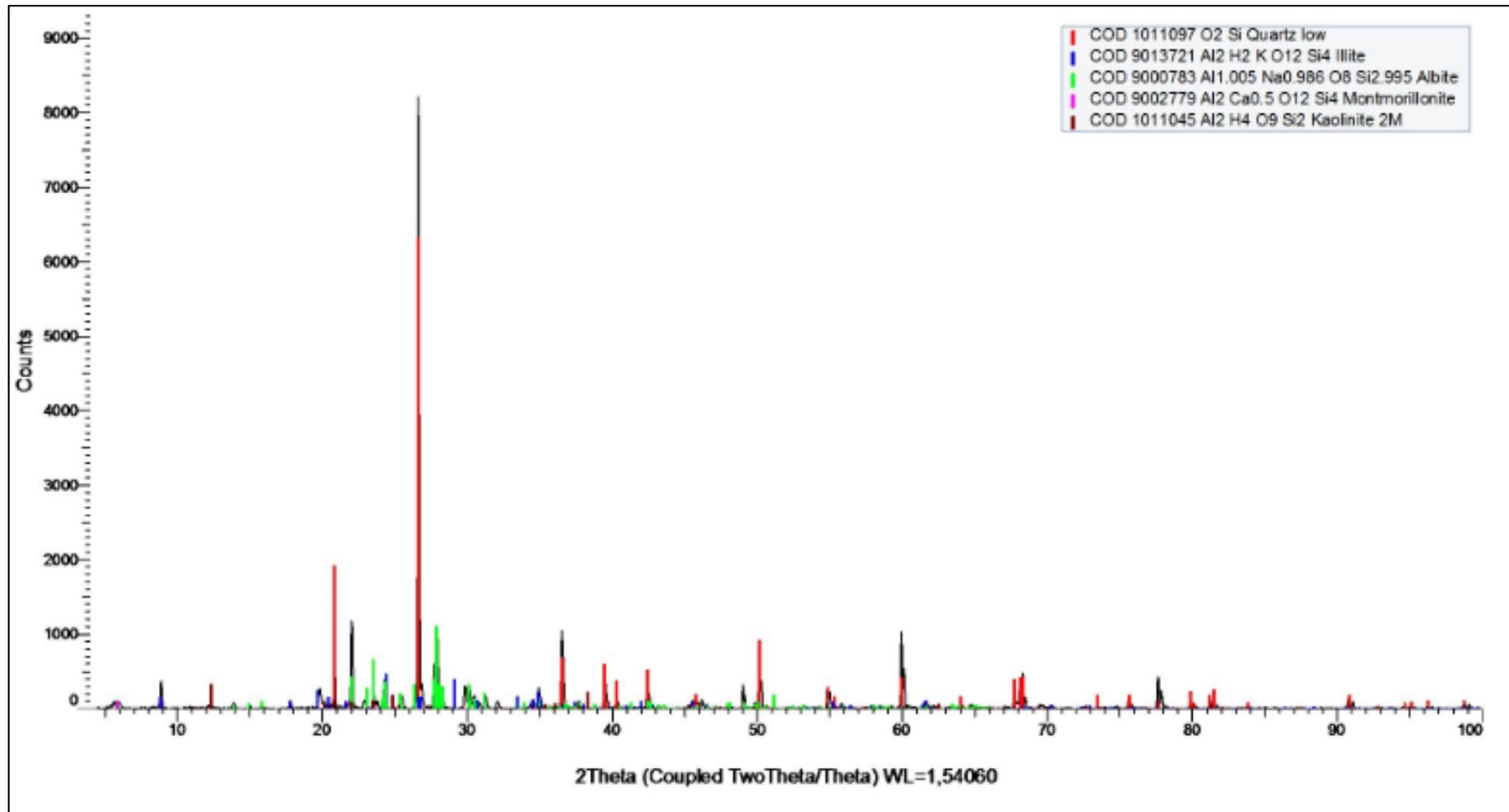
Afloramiento AF8VM



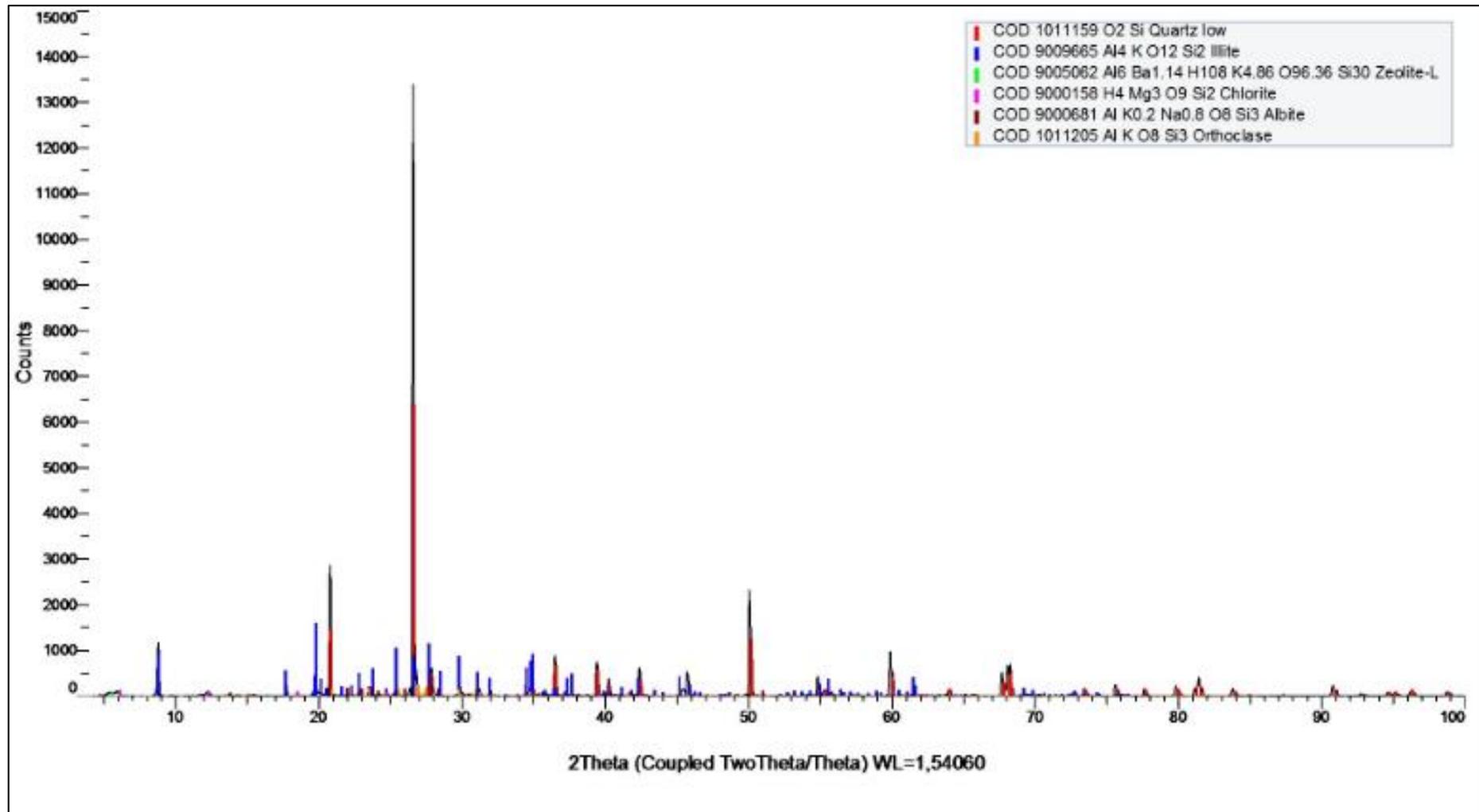
Afloramiento AF5VM



Afloramiento 2JUE24



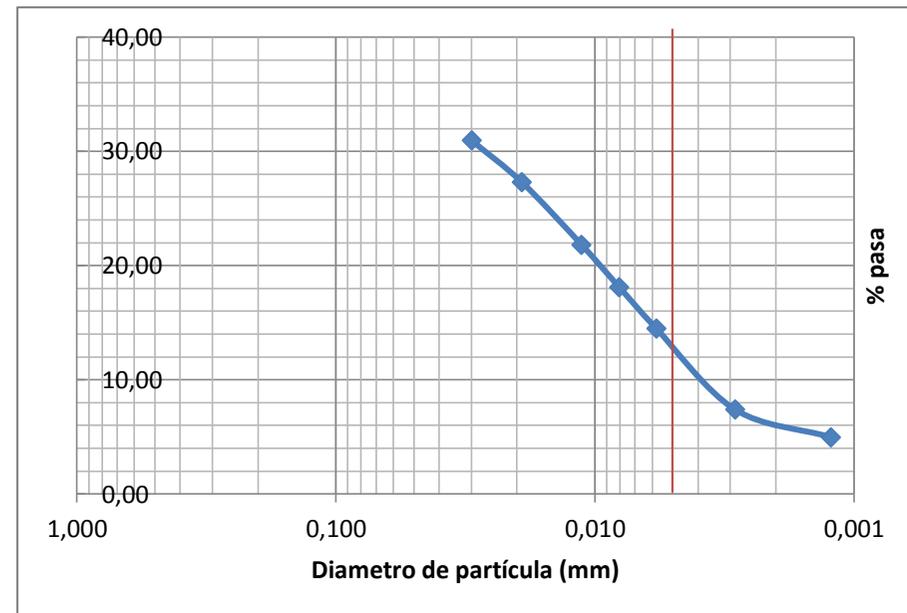
Afloramiento AF1VM



ANEXO IV: DOBLE HIDRÓMETRO

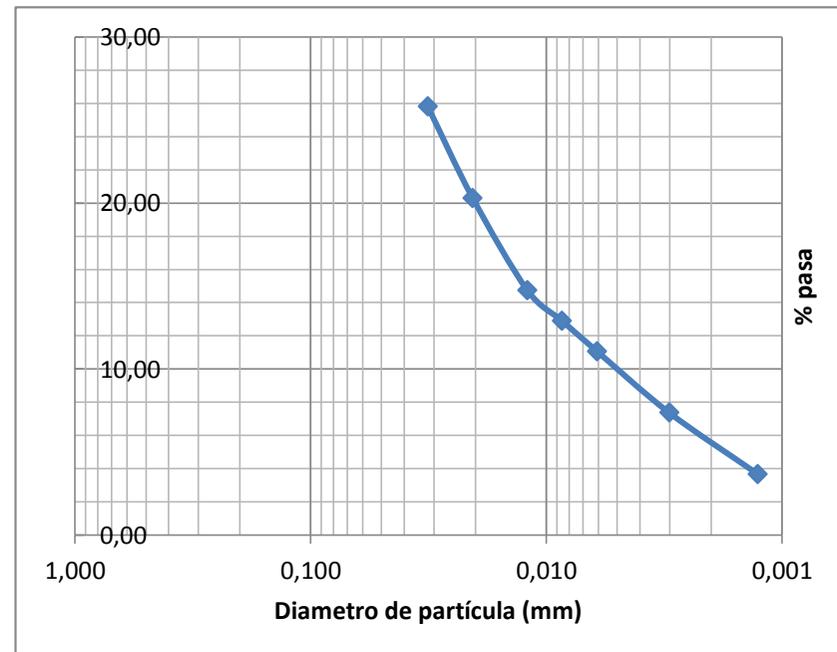
Afloramiento **AF2VM**

NORMA ASTM 422-63									
Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	% que pasa	Rcl=R	L (cm)	K	D (mm)
2	22	20,9	0,27	16,97	30,95	22	12,7	0,0119	0,030
5	20	20,9	0,27	14,97	27,31	20	13,0	0,0119	0,019
15	17	20,9	0,27	11,97	21,83	17	13,5	0,0119	0,011
30	15	20,8	0,24	9,94	18,13	15	13,8	0,0119	0,008
60	13	20,8	0,24	7,94	14,48	13	14,2	0,0119	0,006
250	9	21,2	0,36	4,06	7,41	9	14,8	0,0118	0,003
1440	8	20,1	0,03	2,73	4,98	8	15,0	0,0120	0,001
Porcentaje que pasa 5 μ m =		12%							



NORMA ASTM 421-99								
Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	% que pasa	Rcl=R	L (cm)	K	D (mm)
2	13	21	0,3	25,82	14	14,0	0,0120	0,032
5	10	21	0,3	20,28	11	14,5	0,0120	0,021
15	7	21	0,3	14,75	8	15,0	0,0120	0,012
30	6	21	0,3	12,91	7	15,2	0,0120	0,009
60	5	21	0,3	11,06	6	15,3	0,0120	0,006
250	3	21	0,3	7,38	4	15,6	0,0120	0,003
1440	1	21	0,3	3,69	2	16,0	0,0120	0,001
Porcentaje que pasa 5 μ m =		10%						

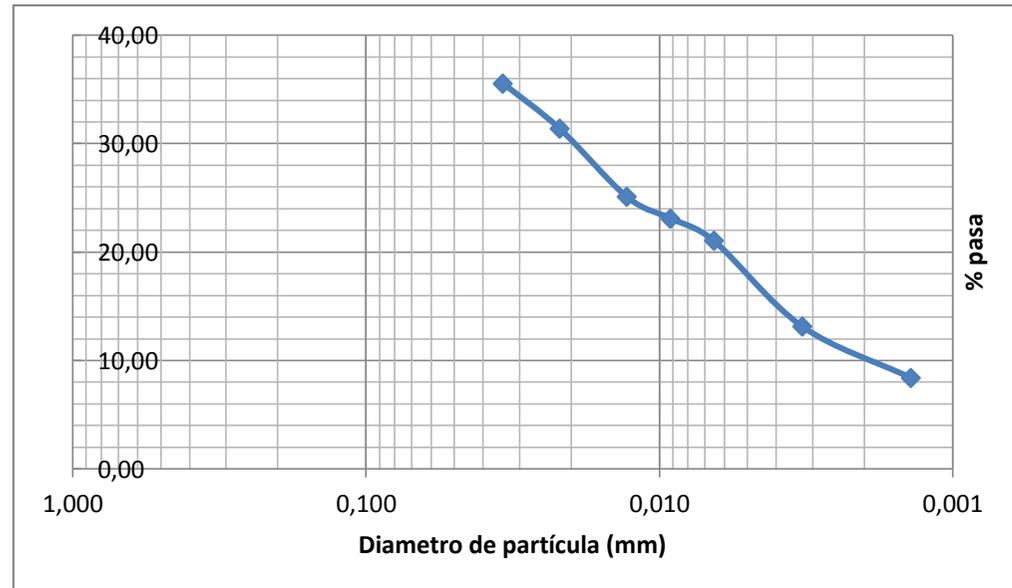
% DISPERSIÓN	83%	DISPERSIVO
--------------	-----	------------



Afloramiento 3JUE24

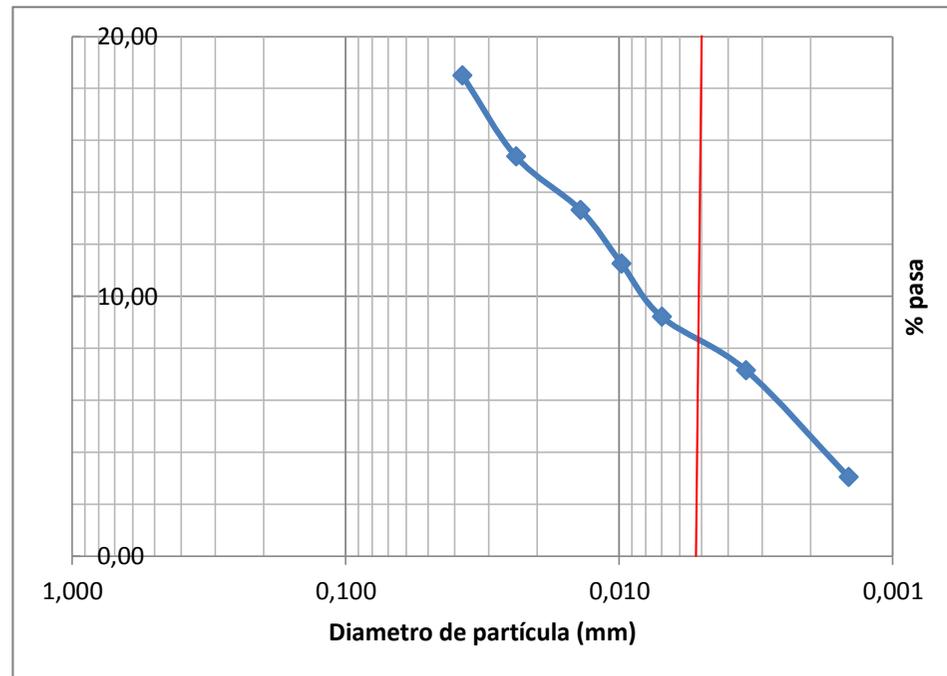
NORMA ASTM 422-63

Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	% que pasa	Rcl=R	L (cm)	K	D (mm)
2	24	22	0,6	17,3	35,55	24	12,4	0,0137	0,034
5	22	21,9	0,57	15,27	31,38	22	12,7	0,0137	0,022
15	19	21,7	0,51	12,21	25,09	19	13,2	0,0137	0,013
30	18	21,8	0,54	11,24	23,10	18	13,3	0,0137	0,009
60	17	21,8	0,54	10,24	21,05	17	13,5	0,0137	0,007
250	13	22,3	0,69	6,39	13,13	13	14,2	0,0137	0,003
1440	11	21,3	0,39	4,09	8,41	11	14,5	0,0138	0,001
Porcentaje que pasa 5 μ m =		18%							



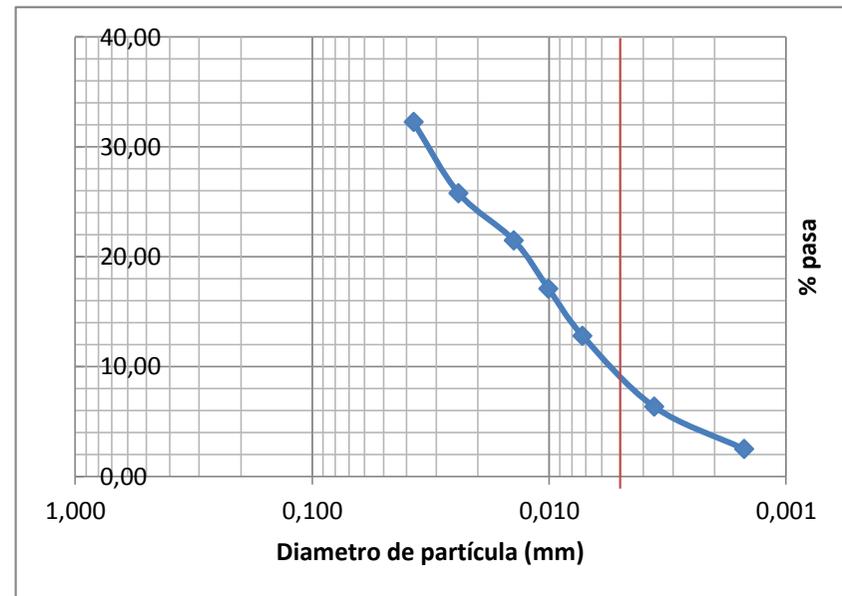
NORMA ASTM 4221-99									
Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	% que pasa	Rcl=R	L (cm)	K	D (mm)
2	8	21,6	0,48	8,48	18,50	9	14,8	0,0138	0,037
5	7	21,6	0,48	7,48	15,37	8	15,0	0,0138	0,024
15	6	21,6	0,48	6,48	13,32	7	15,2	0,0138	0,014
30	5	21,6	0,48	5,48	11,26	6	15,3	0,0138	0,010
60	4	21,6	0,48	4,48	9,21	5	15,5	0,0138	0,007
250	3	21,6	0,48	3,48	7,15	4	15,6	0,0138	0,003
1440	1	21,6	0,48	1,48	3,04	2	16,0	0,0138	0,001
Porcentaje que pasa 5 μ m =		8%							

% DISPERSIÓN	44%	DISPERSIVO
--------------	-----	------------



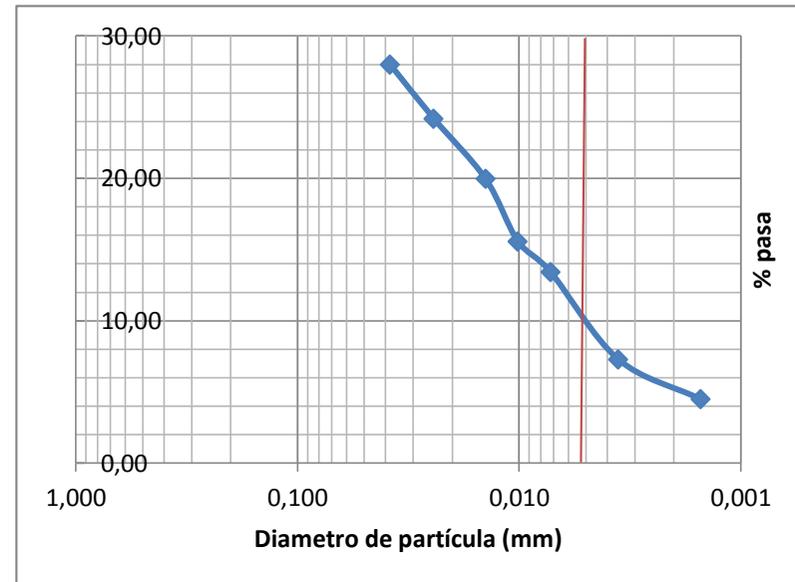
Afloramiento 1JUE24

NORMA ASTM 422-63									
Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	% que pasa	Rcl=R	L (cm)	K	D (mm)
2	22	20,9	0,27	14,97	32,25	22	12,7	0,0148	0,037
5	19	20,9	0,27	11,97	25,78	19	13,2	0,0148	0,024
15	17	20,9	0,27	9,97	21,48	17	13,5	0,0148	0,014
30	15	20,8	0,24	7,94	17,10	15	13,8	0,0149	0,010
60	13	20,8	0,24	5,94	12,79	13	14,2	0,0149	0,007
250	10	20,8	0,24	2,94	6,33	10	14,7	0,0149	0,004
1440	8	21,5	0,45	1,15	2,48	8	15,0	0,0147	0,002
Porcentaje que pasa 5 μ m =		9%							



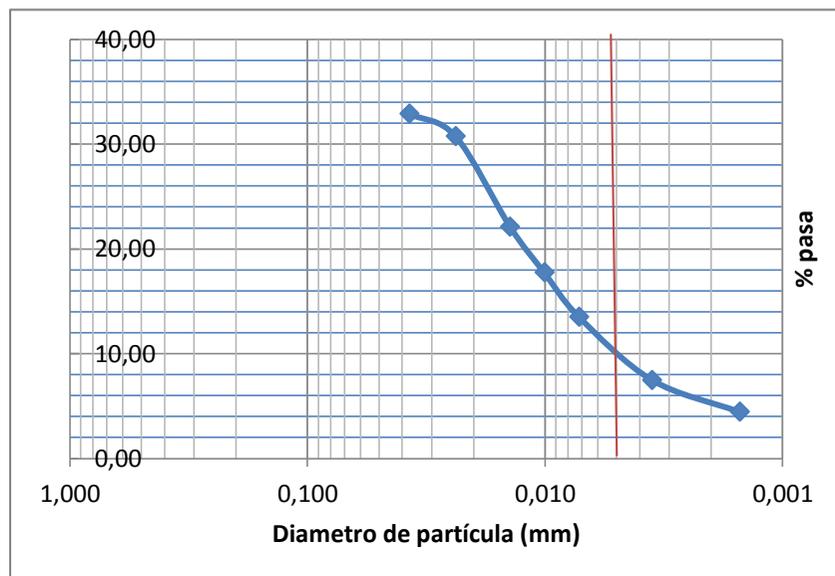
Afloramiento AF6VM

NORMA 422-63									
Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	% que pasa	Rcl=R	L (cm)	K	D (mm)
2	18	21	0,3	13	28,00	18	13,3	0,0148	0,038
5	16	21,8	0,54	11,24	24,21	16	13,7	0,0147	0,024
15	14	21,9	0,57	9,27	19,97	14	14,0	0,0147	0,014
30	12	21,8	0,54	7,24	15,59	12	14,3	0,0147	0,010
60	11	21,8	0,54	6,24	13,44	11	14,5	0,0147	0,007
250	8	22,3	0,69	3,39	7,30	8	15,0	0,0146	0,004
1440	7	21,3	0,39	2,09	4,50	7	15,2	0,0148	0,002
Porcentaje que pasa 5μm =		10%							



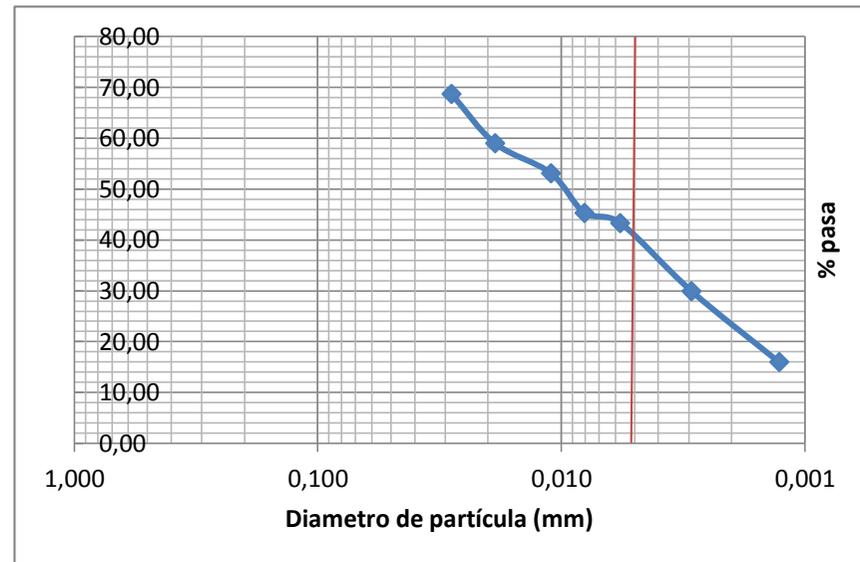
Afloramiento AF10VM

NORMA ASTM 422-63									
Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	% que pasa	Rcl=R	L (cm)	K	D (mm)
2	20	21,9	0,57	15,27	32,89	20	13,0	0,0147	0,037
5	19	21,9	0,57	14,27	30,74	19	13,2	0,0147	0,024
15	15	21,9	0,57	10,27	22,12	15	13,8	0,0147	0,014
30	13	21,8	0,54	8,24	17,75	13	14,2	0,0147	0,010
60	11	21,9	0,57	6,27	13,51	11	14,5	0,0147	0,007
250	8	22,6	0,78	3,48	7,50	8	15,0	0,0145	0,004
1440	7	21,2	0,36	2,06	4,44	7	15,2	0,0148	0,002
Porcentaje que pasa 5 μ m =		10%							



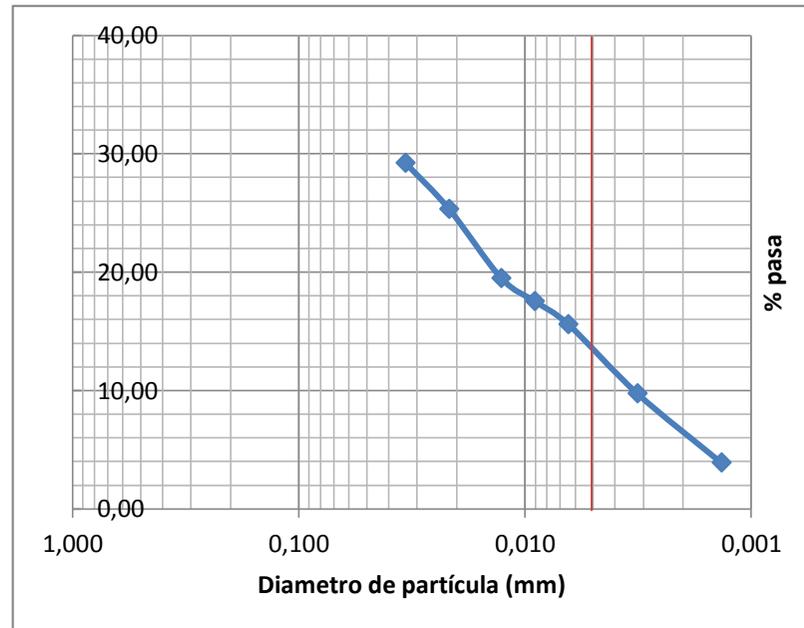
Afloramiento **AF7VM**

NORMA 422-63									
Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	% que pasa	Rcl=R	L (cm)	K	D (mm)
2	40	21,9	0,57	35,27	68,71	40	9,7	0,0128	0,028
5	35	21,9	0,57	30,27	58,97	35	10,6	0,0128	0,019
15	32	21,9	0,57	27,27	53,12	32	11,1	0,0128	0,011
30	28	21,8	0,54	23,24	45,27	28	11,7	0,0129	0,008
60	27	21,8	0,54	22,24	43,32	27	11,9	0,0129	0,006
250	20	22,2	0,66	15,36	29,92	20	13,0	0,0128	0,003
1440	13	21,7	0,51	8,21	15,99	13	14,2	0,0129	0,001
Porcentaje que pasa 5 μ m =		40%							



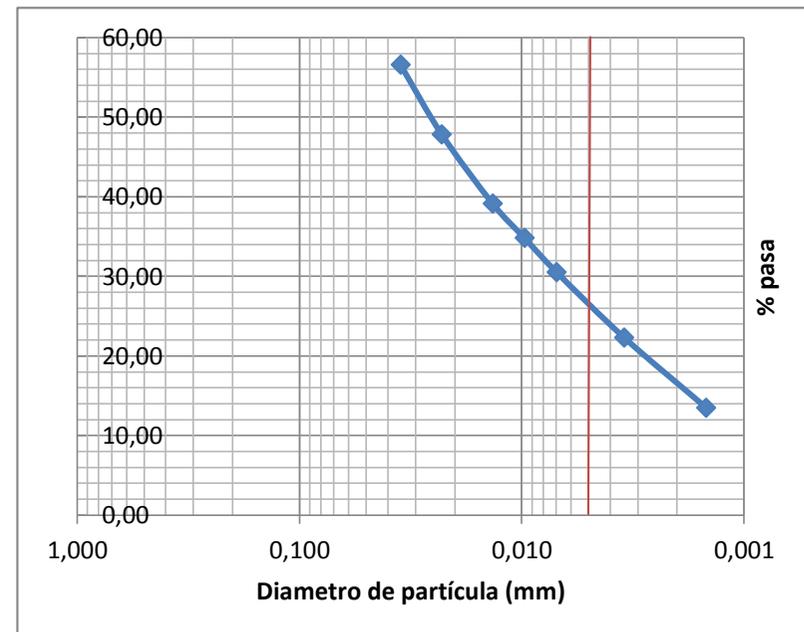
NORMA 421-99								
Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	% que pasa	Rcl=R	L (cm)	K	D (mm)
2	14	21,9	0,57	29,22	15	13,8	0,0128	0,034
5	12	21,9	0,57	25,32	13	14,2	0,0128	0,022
15	9	21,9	0,57	19,48	10	14,7	0,0128	0,013
30	8	21,8	0,54	17,53	9	14,8	0,0129	0,009
60	7	21,8	0,54	15,58	8	15,0	0,0129	0,006
250	4	22,2	0,66	9,74	5	15,5	0,0128	0,003
1440	1	21,7	0,51	3,90	2	16,0	0,0129	0,001
Porcentaje que pasa 5 μ m =		14%						

% DISPERSIÓN	35%	INTERMEDIO
--------------	-----	------------



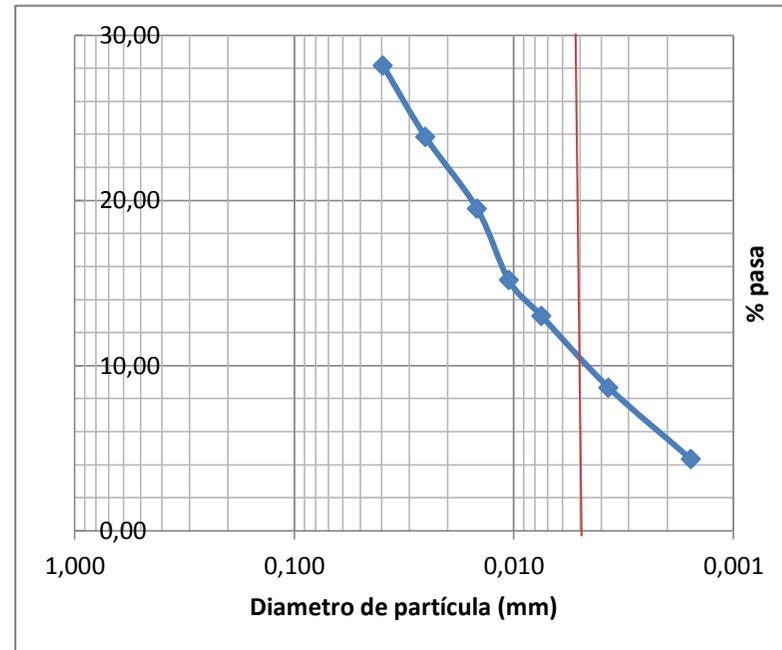
Afloramiento **AF9VM**

NORMA 422-63									
Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	% que pasa	Rcl=R	L (cm)	K	D (mm)
2	31	21,4	0,42	26,12	56,58	31	11,2	0,0148	0,035
5	27	21,3	0,39	22,09	47,85	27	11,9	0,0149	0,023
15	23	21,3	0,39	18,09	39,18	23	12,5	0,0149	0,014
30	21	21,3	0,39	16,09	34,85	21	12,9	0,0149	0,010
60	19	21,3	0,39	14,09	30,52	19	13,2	0,0149	0,007
250	15	22	0,6	10,3	22,31	15	13,8	0,0147	0,003
1440	11	21,8	0,54	6,24	13,52	11	14,5	0,0148	0,001
Porcentaje que pasa 5 μ m =		26%							



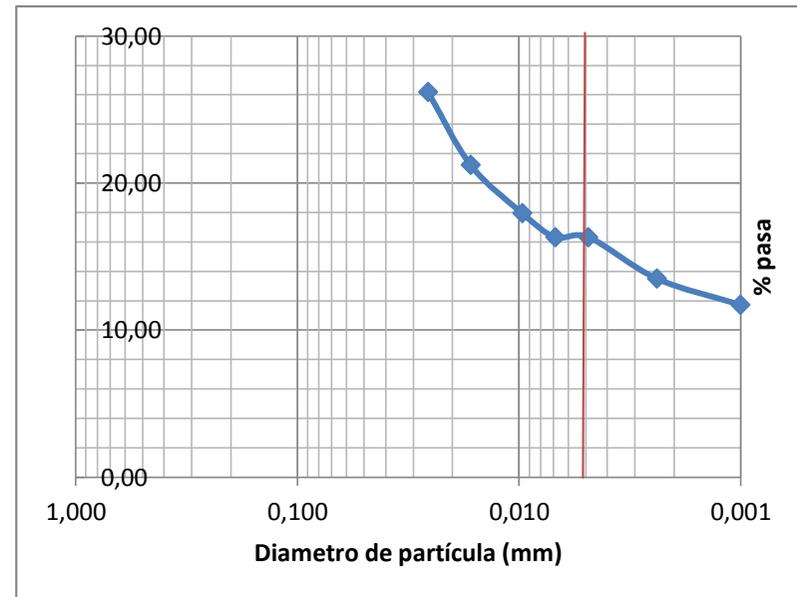
NORMA 421-99								
Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	% que pasa	Rcl=R	L (cm)	K	D (mm)
2	12	21,7	0,51	28,16	13	14,2	0,0148	0,039
5	10	21,7	0,51	23,83	11	14,5	0,0148	0,025
15	8	21,7	0,51	19,49	9	14,8	0,0148	0,015
30	6	21,7	0,51	15,16	7	15,2	0,0148	0,011
60	5	21,7	0,51	13,00	6	15,3	0,0148	0,007
250	3	21,7	0,51	8,66	4	15,6	0,0148	0,004
1440	1	21,7	0,51	4,33	2	16,0	0,0148	0,002
Porcentaje que pasa 5 μ m =		10%						

% DISPERSIÓN	38%	INTERMEDIO
--------------	-----	------------



Afloramiento AF3VM

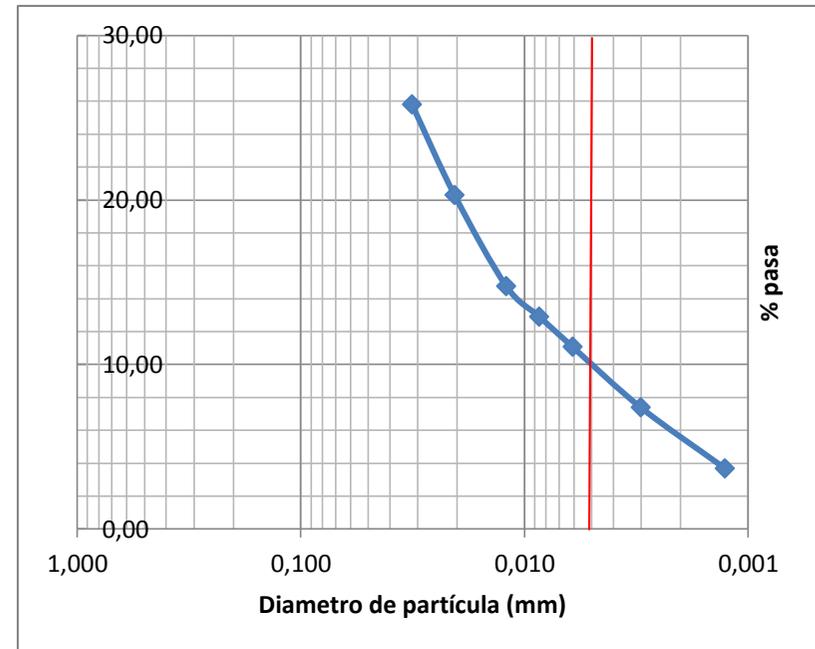
NORMA 422-63									
Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	% que pasa	Rcl=R	L (cm)	K	D (mm)
2	21	21,1	0,33	16,03	26,16	21	12,9	0,0101	0,026
5	18	21	0,3	13	21,22	18	13,3	0,0101	0,017
15	16	21	0,3	11	17,95	16	13,7	0,0101	0,010
30	15	21	0,3	10	16,32	15	13,8	0,0101	0,007
60	15	21	0,3	10	16,32	15	13,8	0,0101	0,005
250	13	21,9	0,57	8,27	13,50	13	14,2	0,0100	0,002
1440	12	21,6	0,48	7,18	11,72	12	14,3	0,0100	0,001
Porcentaje que pasa 5µm =		16%							



NORMA 421-99

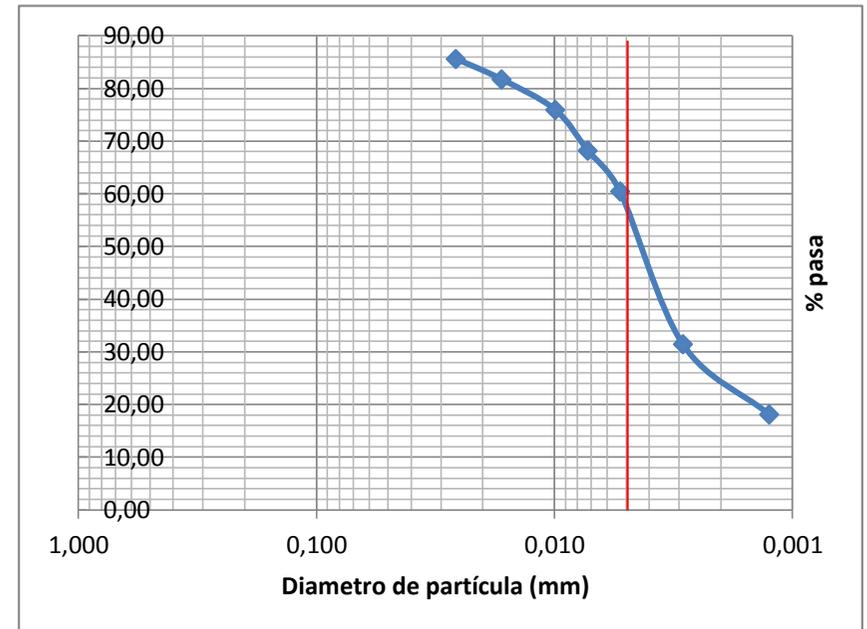
Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	% que pasa	Rcl=R	L (cm)	K	D (mm)
2	13	21	0,3	25,82	14	14,0	0,0120	0,032
5	10	21	0,3	20,28	11	14,5	0,0120	0,021
15	7	21	0,3	14,75	8	15,0	0,0120	0,012
30	6	21	0,3	12,91	7	15,2	0,0120	0,009
60	5	21	0,3	11,06	6	15,3	0,0120	0,006
250	3	21	0,3	7,38	4	15,6	0,0120	0,003
1440	1	21	0,3	3,69	2	16,0	0,0120	0,001
Porcentaje que pasa 5 μ m =		10%						

% DISPERSIÓN	62%	DISPERSIVO
--------------	-----	------------



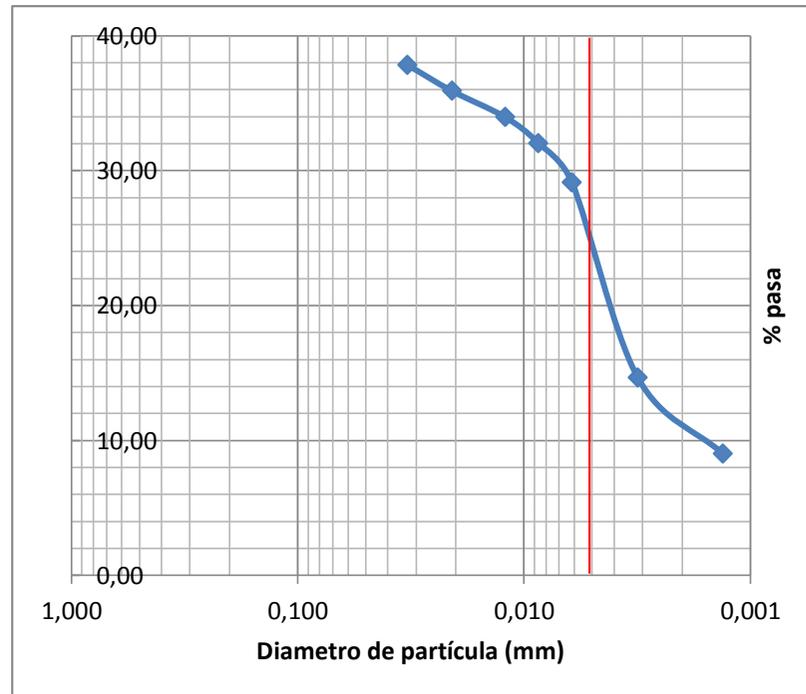
Afloramiento **AF8VM**

NORMA 422-63									
Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	% que pasa	Rcl=R	L (cm)	K	D (mm)
2	49	21,8	0,54	44,24	85,65	49	8,3	0,0128	0,026
5	47	21,8	0,54	42,24	81,78	47	8,6	0,0128	0,017
15	44	21,8	0,54	39,24	75,97	44	9,1	0,0128	0,010
30	40	21,8	0,54	35,24	68,22	40	9,7	0,0128	0,007
60	36	21,8	0,54	31,24	60,48	36	10,4	0,0128	0,005
250	21	21,9	0,57	16,27	31,50	21	12,9	0,0127	0,003
1440	14	22,2	0,66	9,36	18,12	14	14,0	0,0127	0,001
Porcentaje que pasa 5µm =		58%							



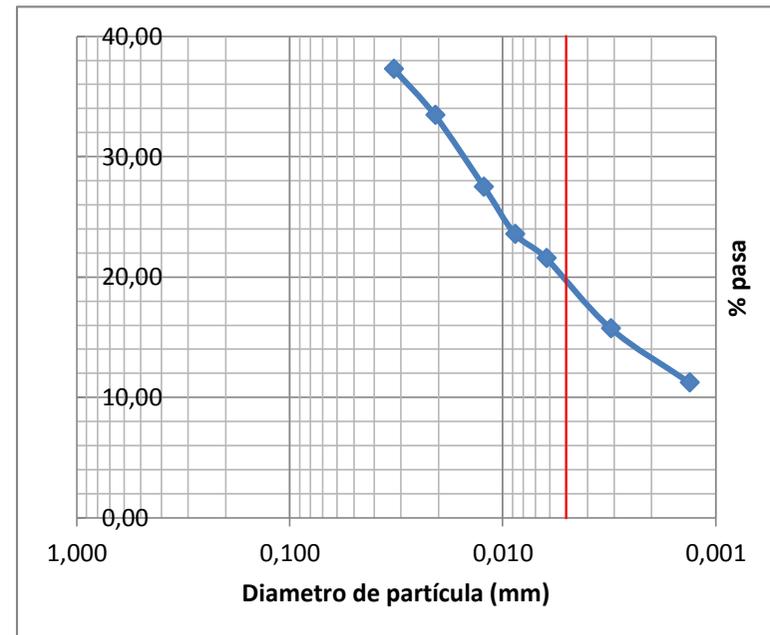
NORMA 421-99									
Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	% que pasa	Rcl=R	L (cm)	K	D (mm)
2	19	21,8	0,54	19,54	37,83	19	13,2	0,0128	0,033
5	18	21,8	0,54	18,54	35,89	18	13,3	0,0128	0,021
15	17	21,8	0,54	17,54	33,96	17	13,5	0,0128	0,012
30	16	21,8	0,54	16,54	32,02	16	13,7	0,0128	0,009
60	14,5	21,8	0,54	15,04	29,12	14,5	13,9	0,0128	0,006
250	7	21,9	0,57	7,57	14,66	7	15,2	0,0127	0,003
1440	4	22,2	0,66	4,66	9,02	4	15,6	0,0127	0,001
Porcentaje que pasa 5μm =		24%							

% DISPERSIÓN	42%	INTERMEDIO
--------------	-----	------------



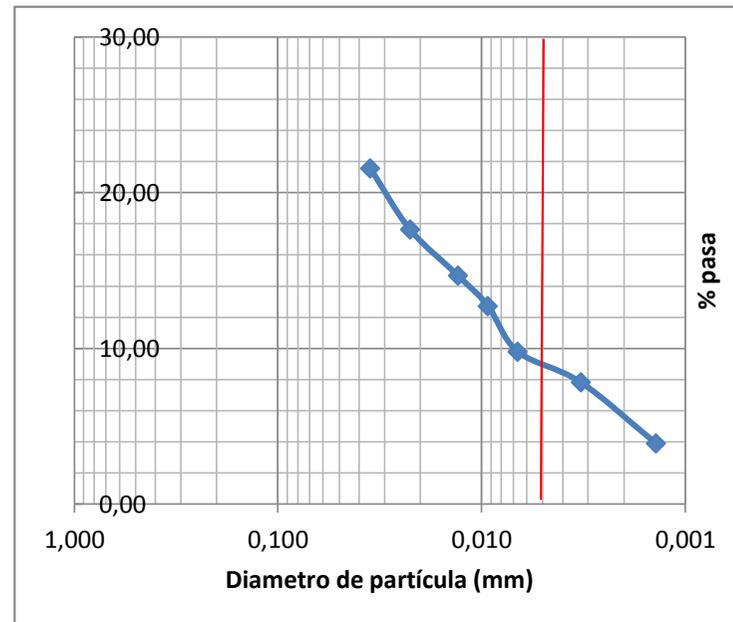
Afloramiento AF5VM

NORMA 422-63									
Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	% que pasa	Rcl=R	L (cm)	K	D (mm)
2	24	21,1	0,33	19,03	37,30	24	12,4	0,0131	0,033
5	22	21,2	0,36	17,06	33,44	22	12,7	0,0131	0,021
15	19	21,1	0,33	14,03	27,50	19	13,2	0,0131	0,012
30	17	21,1	0,33	12,03	23,58	17	13,5	0,0131	0,009
60	16	21	0,3	11	21,56	16	13,7	0,0131	0,006
250	13	21,1	0,33	8,03	15,74	13	14,2	0,0131	0,003
1440	11	20,1	0,03	5,73	11,23	11	14,5	0,0132	0,001
Porcentaje que pasa 5μm =		20%							



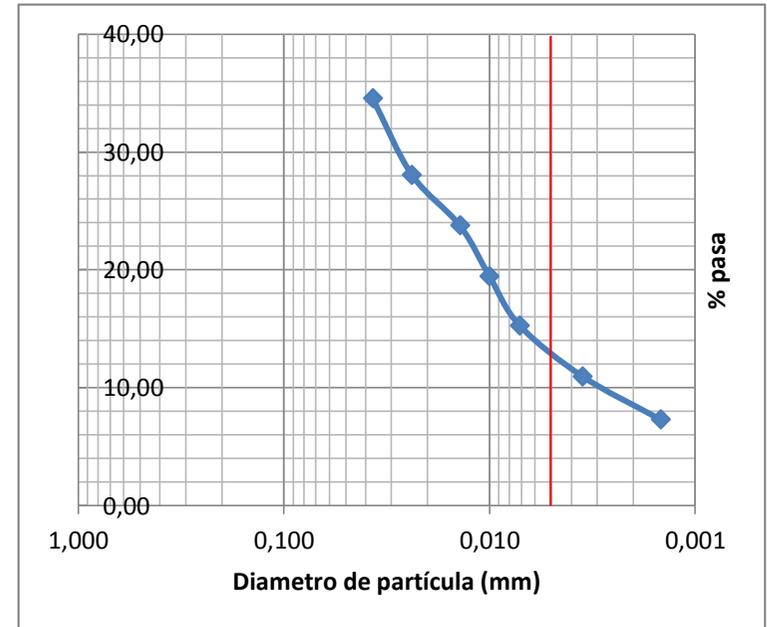
NORMA 421-99								
Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	% que pasa	Rcl=R	L (cm)	K	D (mm)
2	10	21,1	0,33	21,56	11	14,5	0,0131	0,035
5	8	21,2	0,36	17,64	9	14,8	0,0131	0,022
15	6,5	21,1	0,33	14,70	7,5	15,1	0,0131	0,013
30	5,5	21,1	0,33	12,74	6,5	15,3	0,0131	0,009
60	4	21	0,3	9,80	5	15,5	0,0131	0,007
250	3	21,1	0,33	7,84	4	15,6	0,0131	0,003
1440	1	20,1	0,03	3,92	2	16,0	0,0132	0,001
Porcentaje que pasa 5 μ m =		9%						

% DISPERSIÓN	45%	INTERMEDIO
--------------	-----	------------



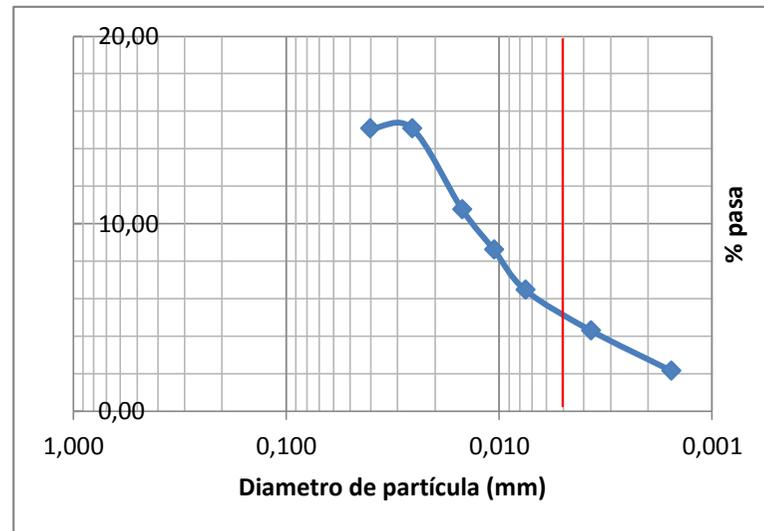
Afloramiento 2JUE24

NORMA 422-63									
Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	% que pasa	Rcl=R	L (cm)	K	D (mm)
2	23	21,1	0,33	16,03	34,53	23	12,5	0,0148	0,037
5	20	21,1	0,33	13,03	28,07	20	13,0	0,0148	0,024
15	18	21,1	0,33	11,03	23,76	18	13,3	0,0148	0,014
30	16	21,1	0,33	9,03	19,45	16	13,7	0,0148	0,010
60	14	21,3	0,39	7,09	15,27	14	14,0	0,0148	0,007
250	12	21,3	0,39	5,09	10,96	12	14,3	0,0148	0,004
1440	10	22,3	0,69	3,39	7,30	10	14,7	0,0146	0,001
Porcentaje que pasa 5μm =		13%							



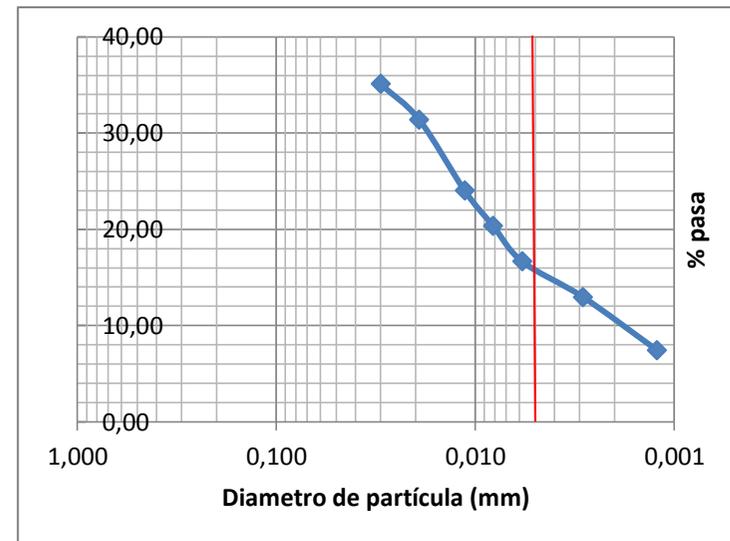
NORMA 421-99								
Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	% que pasa	Rcl=R	L (cm)	K	D (mm)
2	6	21,7	0,51	15,08	7	15,2	0,0147	0,041
5	6	21,7	0,51	15,08	7	15,2	0,0147	0,026
15	4	21,7	0,51	10,77	5	15,5	0,0147	0,015
30	3	21,7	0,51	8,62	4	15,6	0,0147	0,011
60	2	21,7	0,51	6,46	3	15,8	0,0147	0,008
250	1	21,7	0,51	4,31	2	16,0	0,0147	0,004
1440	0	21,7	0,51	2,15	1	16,1	0,0147	0,002
Porcentaje que pasa 5µm =		5%						

% DISPERSIÓN	38%	INTERMEDIO
--------------	-----	------------



Afloramiento **AF1VM**

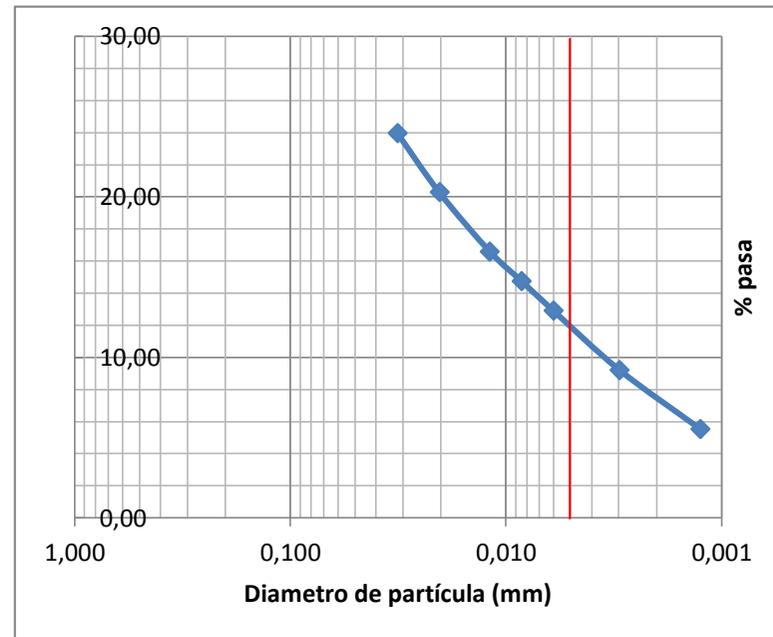
NORMA 422-63									
Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	% que pasa	Rcl=R	L (cm)	K	D (mm)
2	24	21,1	0,33	19,03	35,09	24	12,4	0,0120	0,030
5	22	21,1	0,33	17,03	31,40	22	12,7	0,0120	0,019
15	18	21,1	0,33	13,03	24,03	18	13,3	0,0120	0,011
30	16	21,1	0,33	11,03	20,34	16	13,7	0,0120	0,008
60	14	21,1	0,33	9,03	16,65	14	14,0	0,0120	0,006
250	12	21,1	0,33	7,03	12,96	12	14,3	0,0120	0,003
1440	9	21,1	0,33	4,03	7,43	9	14,8	0,0120	0,001
Porcentaje que pasa 5 μ m =		16%							



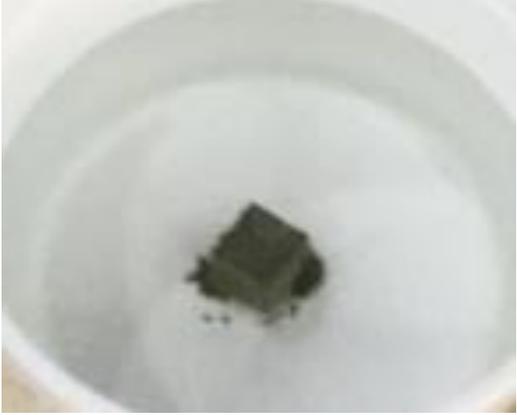
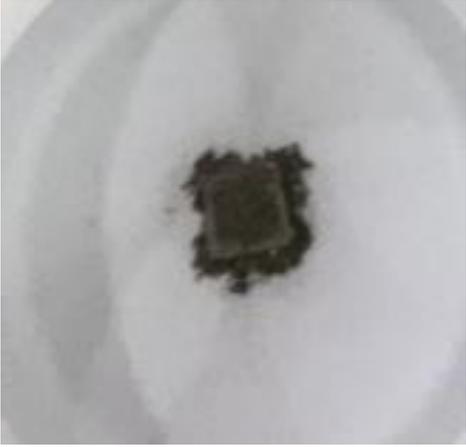
NORMA 421-99

Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	% que pasa	Rcl=R	L (cm)	K	D (mm)
2	12	21,5	0,45	23,97	13	14,2	0,0120	0,032
5	10	21,5	0,45	20,28	11	14,5	0,0120	0,020
15	8	21,5	0,45	16,60	9	14,8	0,0120	0,012
30	7	21,5	0,45	14,75	8	15,0	0,0120	0,008
60	6	21,5	0,45	12,91	7	15,2	0,0120	0,006
250	4	21,5	0,45	9,22	5	15,5	0,0120	0,003
1440	2	21,5	0,45	5,53	3	15,8	0,0120	0,001
Porcentaje que pasa 5 μ m =		12%						

% DISPERSIÓN	75%	DISPERSIVO
--------------	-----	------------



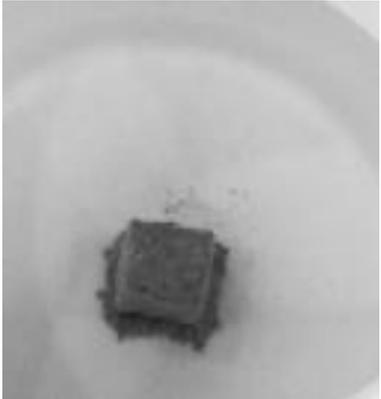
ANEXO V: ENSAYO DE CRUMB

ENSAYO CRUMB (NORMA USBR 5400-89)																	
N° de Afloramiento			AF2VM		Coordenadas			X:698722		Y:9555897		Z: 2185		Indice de plasticidad		6	
AGUA																	
2 minutos				1 hora				6 horas									
Grado	1		°C	18		Grado	2		°C	18		Grado	3		°C	18	
																	
AGUA DESTILADA																	
2 minutos				1 hora				6 horas									
Grado	1		°C	18		Grado	1		°C	18		Grado	1		°C	18	
																	

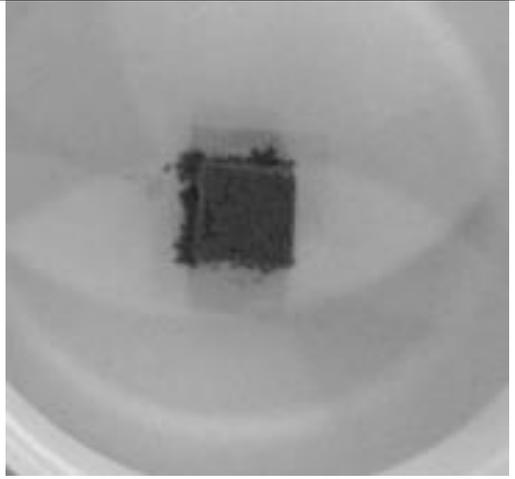
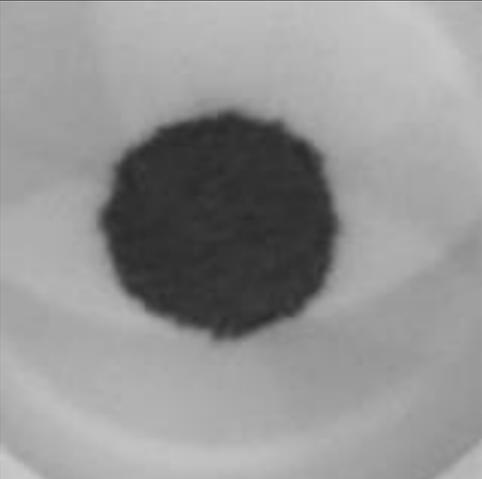
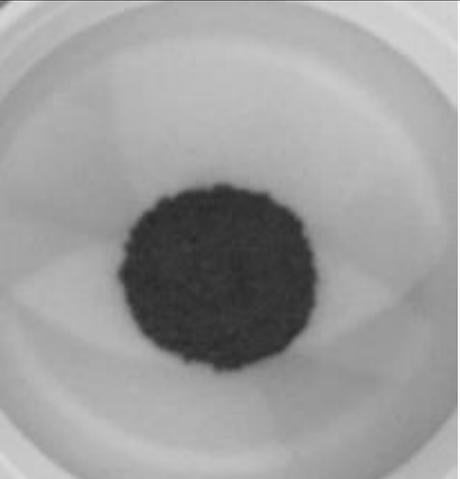
ENSAYO CRUMB (NORMA USBR 5400-89)

N° de Afloramiento	3JUE24	Coordenadas	X: 698722	Y: 9552855	Z: 2189	Índice de plasticidad	7
---------------------------	--------	--------------------	-----------	------------	---------	------------------------------	---

AGUA

2 minutos				1 hora				6 horas			
Grado		°C		Grado		°C		Grado		°C	
1		17		3		18		1		17	
											

AGUA DESTILADA

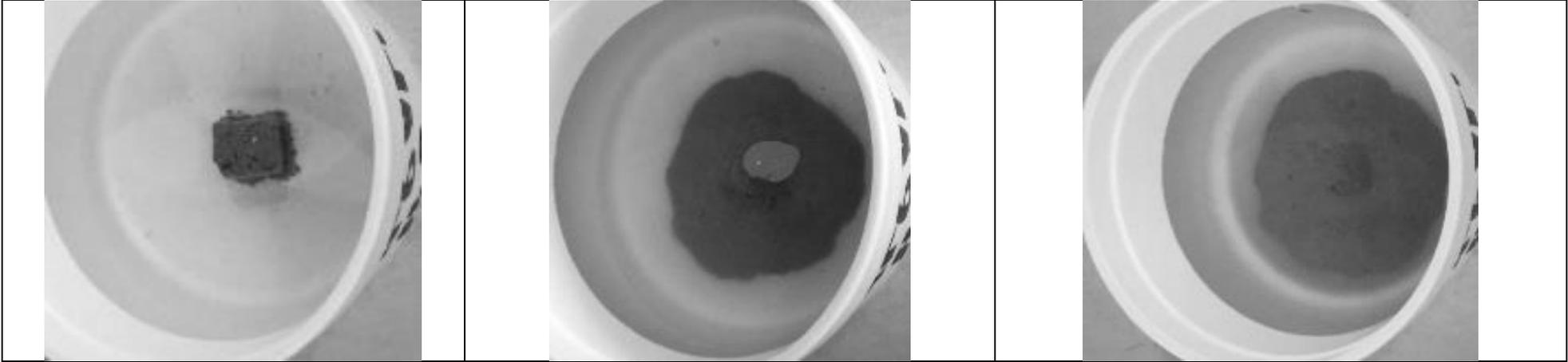
2 minutos				1 hora				6 horas			
Grado		°C		Grado		°C		Grado		°C	
1		18		1		18		1		17	
											

ENSAYO CRUMB (NORMA USBR 5400-89)

N° de Afloramiento	AF6VM	Coordenadas	X: 697987	Y: 9554241	Z:2219	Índice de plasticidad	7
---------------------------	-------	--------------------	-----------	------------	--------	------------------------------	---

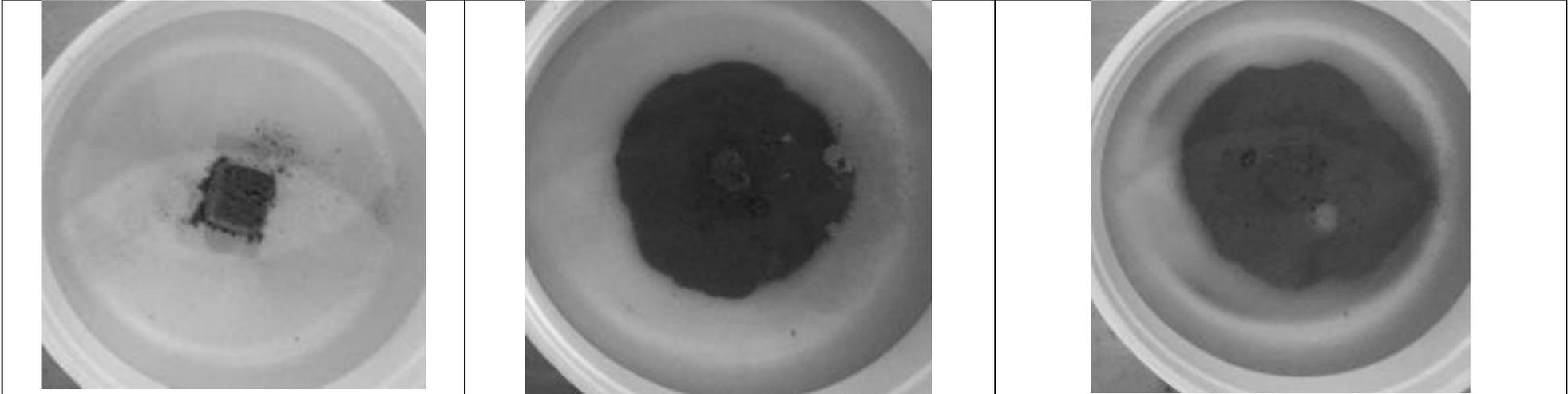
AGUA

2 minutos				1 hora				6 horas			
Grado	1	°C	18	Grado	3	°C	18	Grado	3	°C	18



AGUA DESTILADA

2 minutos				1 hora				6 horas			
Grado	1	°C	18	Grado	3	°C	18	Grado	3	°C	18



ENSAYO CRUMB (NORMA USBR 5400-89)

N° de Afloramiento	AF10VM	Coordenadas	X:700059	Y:9551693	Z:22160	Índice de plasticidad	4
---------------------------	--------	--------------------	----------	-----------	---------	------------------------------	---

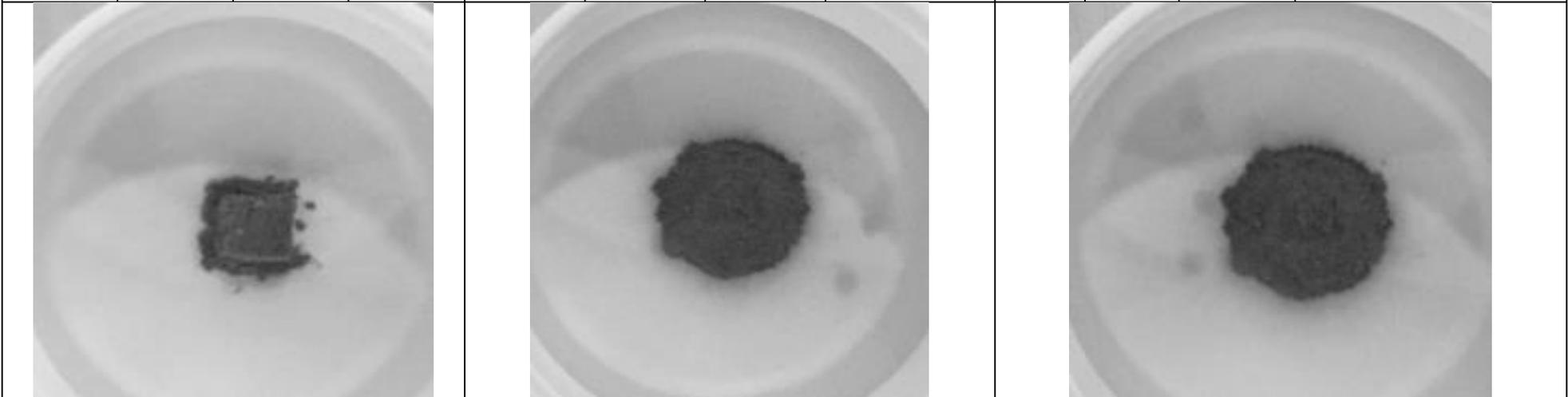
AGUA

2 minutos				1 hora				6 horas			
Grado	1	°C	18	Grado	2	°C	18	Grado	2	°C	18



AGUA DESTILADA

2 minutos				1 hora				6 horas			
Grado	1	°C	18	Grado	2	°C	18	Grado	2	°C	17

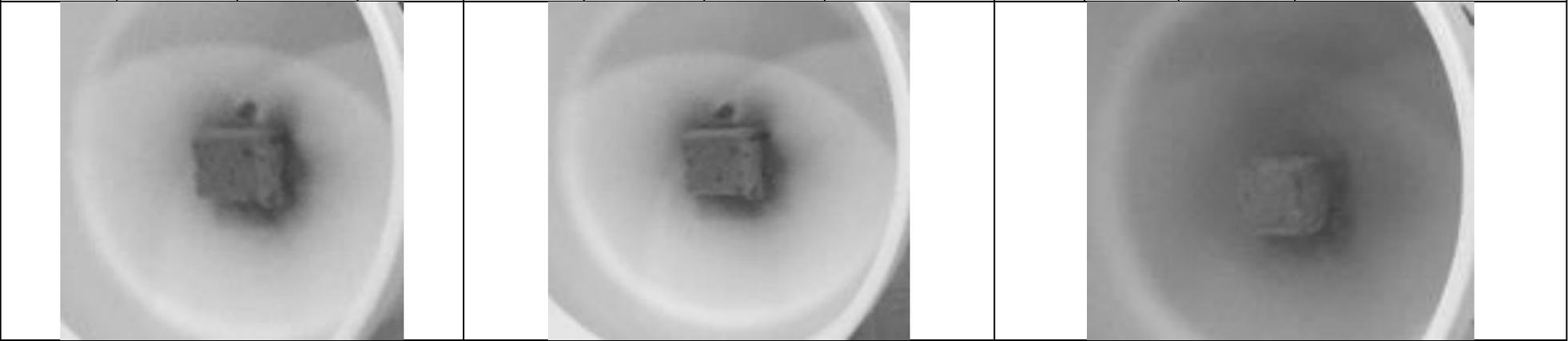


ENSAYO CRUMB (NORMA USBR 5400-89)

N° de Afloramiento	AF7VM	Coordenadas	X:699591	Y:9553382	Z:2140	Índice de plasticidad	10
---------------------------	-------	--------------------	----------	-----------	--------	------------------------------	----

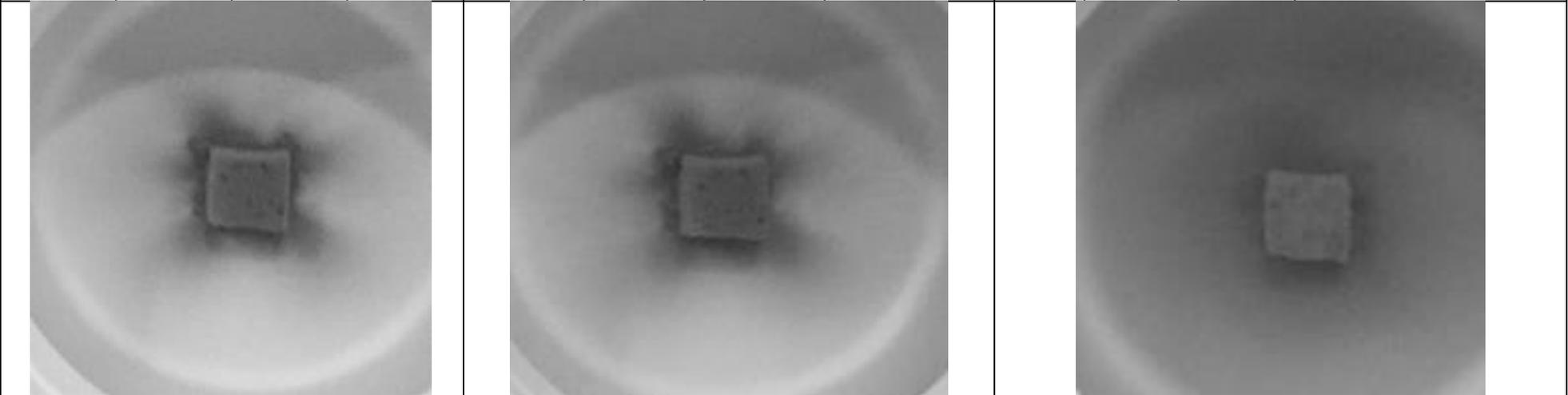
AGUA

2 minutos				1 hora				6 horas			
Grado	1	°C	18	Grado	1	°C	18	Grado	4	°C	18



AGUA DESTILADA

2 minutos				1 hora				6 horas			
Grado	1	°C	18	Grado	1	°C	18	Grado	4	°C	17



ENSAYO CRUMB (NORMA USBR 5400-89)

N° de Afloramiento	AF9VM	Coordenadas	X:699772	Y: 9552933	Z: 2151	Índice de plasticidad	6
---------------------------	-------	--------------------	----------	------------	---------	------------------------------	---

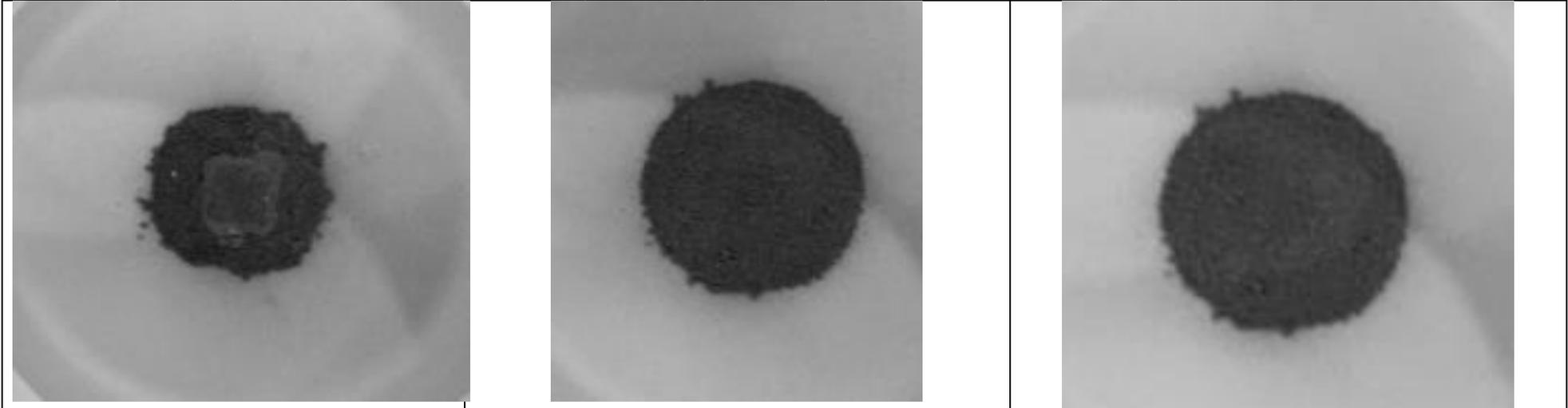
AGUA

2 minutos				1 hora				6 horas			
Grado	2	°C	18	Grado	3	°C	18	Grado	3	°C	18



AGUA DESTILADA

2 minutos				1 hora				6 horas			
Grado	2	°C	18	Grado	3	°C	18	Grado	3	°C	17

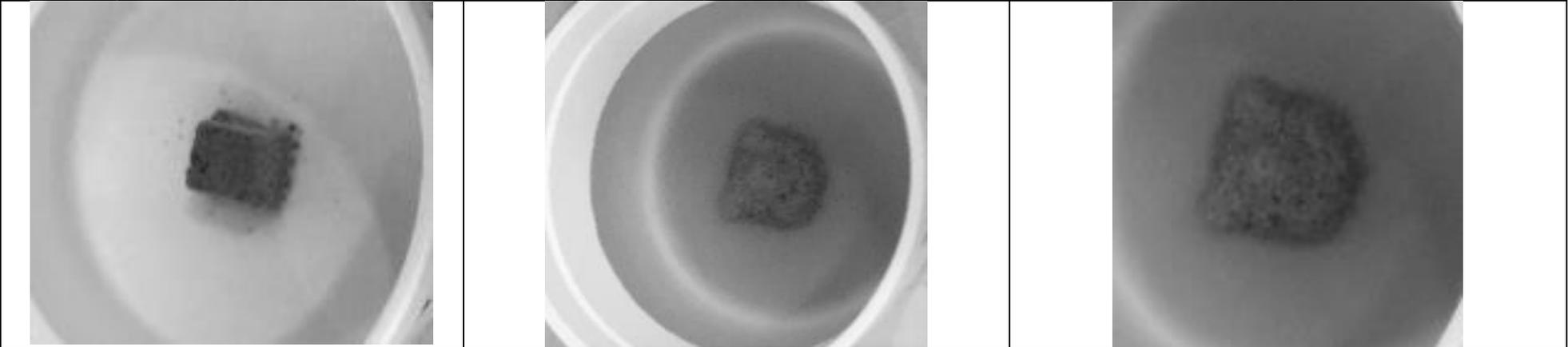


ENSAYO CRUMB (NORMA USBR 5400-89)

N° de Afloramiento	AF3VM	Coordenadas	X: 695878	Y:9558014	Z: 2151	Índice de plasticidad	6
---------------------------	-------	--------------------	-----------	-----------	---------	------------------------------	---

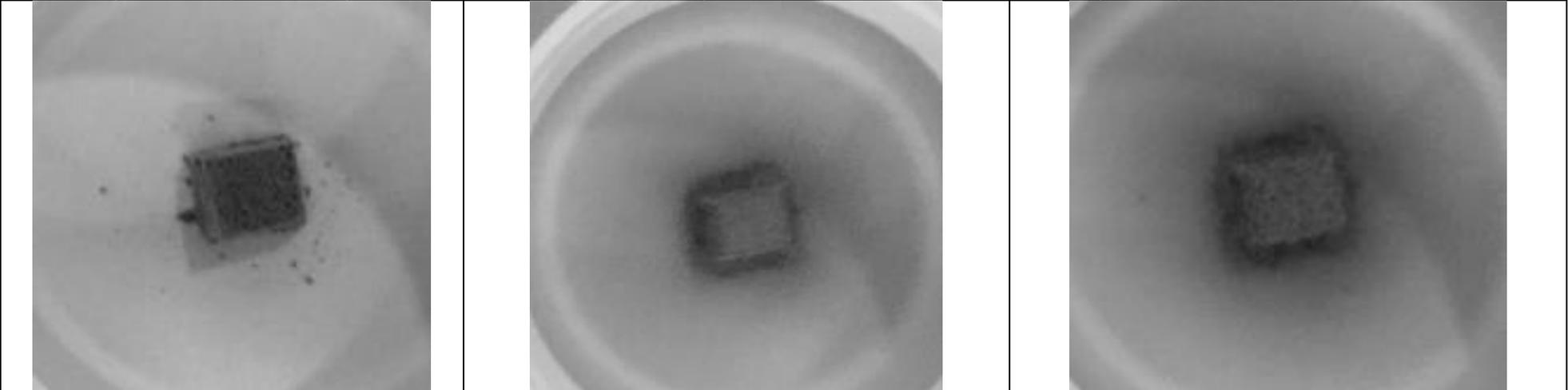
AGUA

2 minutos				1 hora				6 horas			
Grado	1	°C	18	Grado	2	°C	18	Grado	4	°C	17



AGUA DESTILADA

2 minutos				1 hora				6 horas			
Grado	1	°C	18	Grado	1	°C	18	Grado	3	°C	17



ENSAYO CRUMB (NORMA USBR 5400-89)

N° de Afloramiento	AF8VM	Coordenadas	X: 699649	Y: 9553135	Z: 2101	Índice de plasticidad	9
---------------------------	-------	--------------------	-----------	------------	---------	------------------------------	---

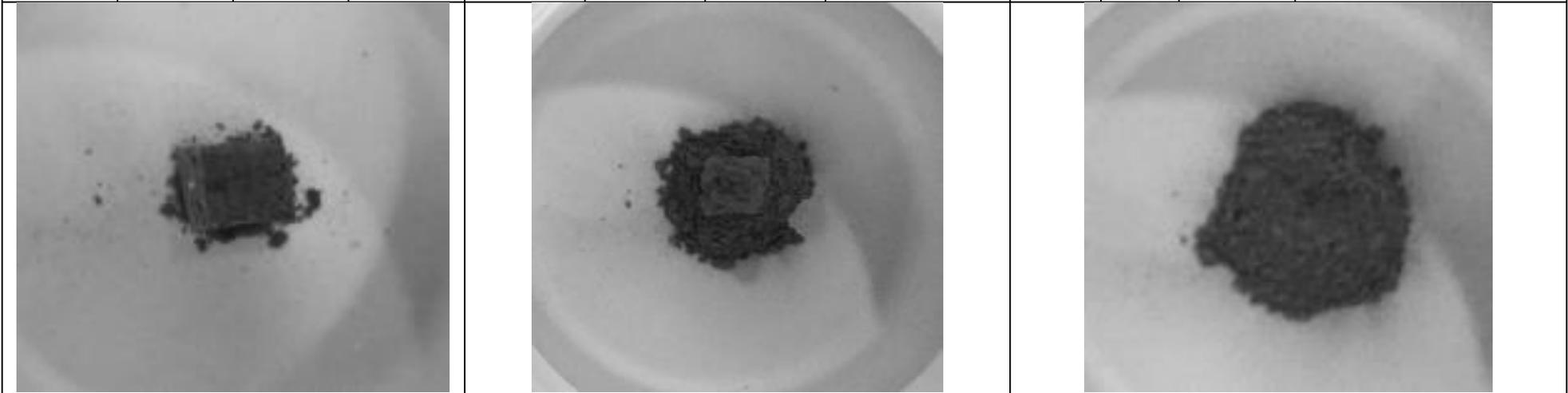
AGUA

2 minutos				1 hora				6 horas			
Grado	1	°C	18	Grado	2	°C	18	Grado	3	°C	17



AGUA DESTILADA

2 minutos				1 hora				6 horas			
Grado	1	°C	18	Grado	1	°C	18	Grado	1	°C	17

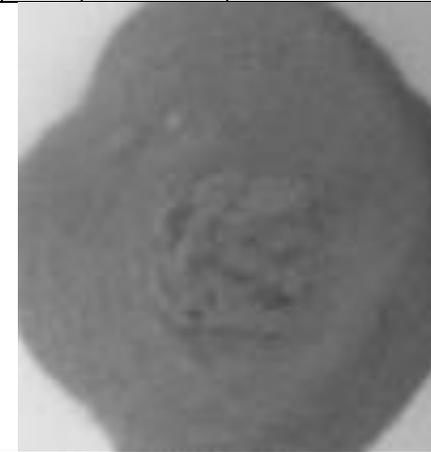
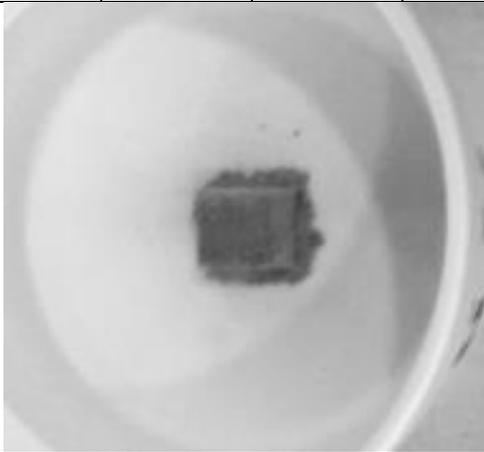


ENSAYO CRUMB (NORMA USBR 5400-89)

N° de Afloramiento	AF1VM	Coordenadas	X: 698006	Y: 9555821	Z: 2178	Índice de plasticidad	6
---------------------------	-------	--------------------	-----------	------------	---------	------------------------------	---

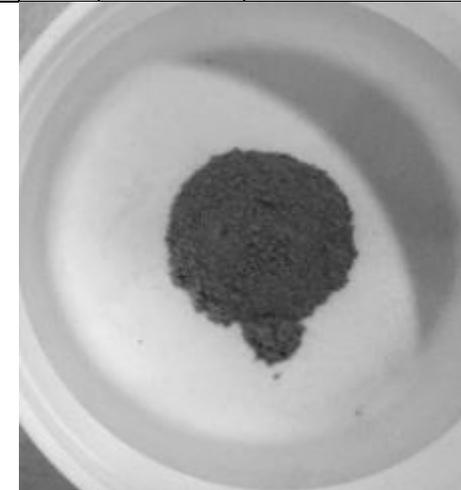
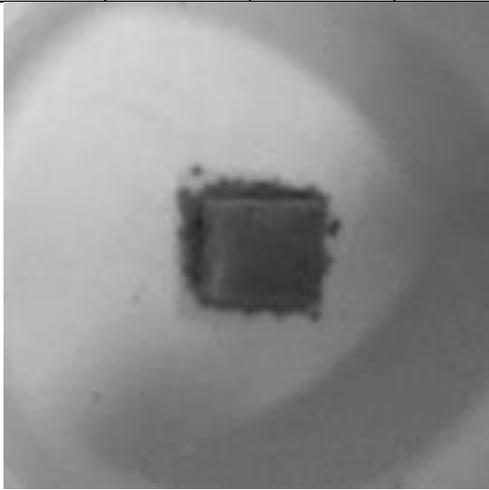
AGUA

2 minutos				1 hora				6 horas			
Grado	1	°C	18	Grado	3	°C	18	Grado	3	°C	18



AGUA DESTILADA

2 minutos				1 hora				6 horas			
Grado	1	°C	18	Grado	2	°C	18	Grado	2	°C	17



ANEXO VI: FICHAS DE AFLORAMIENTO

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA				
TITULACIÓN DE GEOLOGÍA Y MINAS				
CARACTERIZACIÓN DEL GRADO DE DISPERSIÓN EN ARCILLAS DE LA ZONA SUR-OESTE DE LA CUENCA SEDIMENTARIA DE LOJA, PARA DETERMINAR POTENCIAL DE GENERACIÓN DE PROCESOS DE PIPING				
Tesisista: Víctor Martínez			Tutora: Msc. Tamara C. Briceño Sarmiento	
AFLORAMIENTO AF7VM	Coordenadas UTM WGS84	X: 699591	Y: 9553382	Z: 2140

EDAD	POTENCIA (m)	TAMAÑO DE PARTICULAS				ESTRUCTURAS	DESCRIPCIÓN	Foto Esquematzada
		ARCILLA	LIMO	ARENA	GRAVA			
Formación Quillolaco (Mioceno Tardío)	17						<p>Asociación aleatoria de estratos que consta de arcillas de tonalidades rojas, café, gris donde observamos estructuras de piping. También conformada por microconglomerado, arena fina, conglomerado con clastos metamórficos subredondeados con diámetro de 1 a 5 cm, de matriz sostenida arcillo limosa.</p>	
	16							
	15							
	14							
	13							
	12							
	11							
	10							
	9							
	8							
	7							
	6							
	5							
	4							
	3							
	2							
	1							

Información

Afloramiento antropico es el resultado del corte al momento que fue edificada la vía de integración barrial.

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA				
TITULACIÓN DE GEOLOGÍA Y MINAS				
CARACTERIZACIÓN DEL GRADO DE DISPERSIÓN EN ARCILLAS DE LA ZONA SUR-OESTE DE LA CUENCA SEDIMENTARIA DE LOJA, PARA DETERMINAR POTENCIAL DE GENERACIÓN DE PROCESOS DE PIPING				
Tesisista: Víctor Martínez			Tutora: Msc. Tamara C. Briceño Sarmiento	
AFLORAMIENTO AF6vVM	Coordenadas UTM WGS84	X: 697987	Y: 9554241	Z: 2219

EDAD	POTENCIA (m)	TAMAÑO DE PARTICULAS				ESTRUCTURAS	DESCRIPCIÓN
		ARCILLA	LIMO	ARENA	GRAVA		
Formación Quillolaco (Mioceno Tardío)	17						
	16						
	15						
	14						
	13						
	12						
	11						
	10						
	9						
	8						
	7						
	6						
	5						
	4						
	3						
	2						
	1						

Foto Esquematisada



Información

Afloramiento antropico es el resultado del corte al momento que fue edificada la vía de integración barrial.

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA				
TITULACIÓN DE GEOLOGÍA Y MINAS				
CARACTERIZACIÓN DEL GRADO DE DISPERSIÓN EN ARCILLAS DE LA ZONA SUR-OESTE DE LA CUENCA SEDIMENTARIA DE LOJA, PARA DETERMINAR POTENCIAL DE GENERACIÓN DE PROCESOS DE PIPING				
Tesisista: Víctor Martínez			Tutora: Msc. Tamara C. Briceño Sarmiento	
AFLORAMIENTO AF2VM	Coordenadas UTM WGS84	X: 698300	Y: 955587	Z: 2185

EDAD	POTENCIA (m)	TAMAÑO DE PARTICULAS				ESTRUCTURAS	DESCRIPCIÓN
		ARCILLA	LIMO	ARENA	GRAVA		
Formación Quillolallo (Mioceno Tardío)	17						Paquete de conglomerados de grano sostenido con cantos sub redondeados de diámetro de 5 a 15 cm sobreyacido por arcillas arenosas bien compactadas.
	16						
	15						
	14						
	13						
	12						
	11						
	10						
	9						
	8						
	7						
	6						
	5						
4							
3							
2							
1							

Foto Esquematzada



Información

Afloramiento antropico es el resultado del corte al momento que fue edificada la vía de integración barrial.

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA			
TITULACIÓN DE GEOLOGÍA Y MINAS			
CARACTERIZACIÓN DEL GRADO DE DISPERSIÓN EN ARCILLAS DE LA ZONA SUR-OESTE DE LA CUENCA SEDIMENTARIA DE LOJA, PARA DETERMINAR POTENCIAL DE GENERACIÓN DE PROCESOS DE PIPING			
Tesisista: Víctor Martínez		Tutora: Msc. Tamara C. Briceño Sarmiento	
AFLORAMIENTO 3JUE24	Coordenadas UTM WGS84	X: 700059	Y: 9551693 Z: 2160

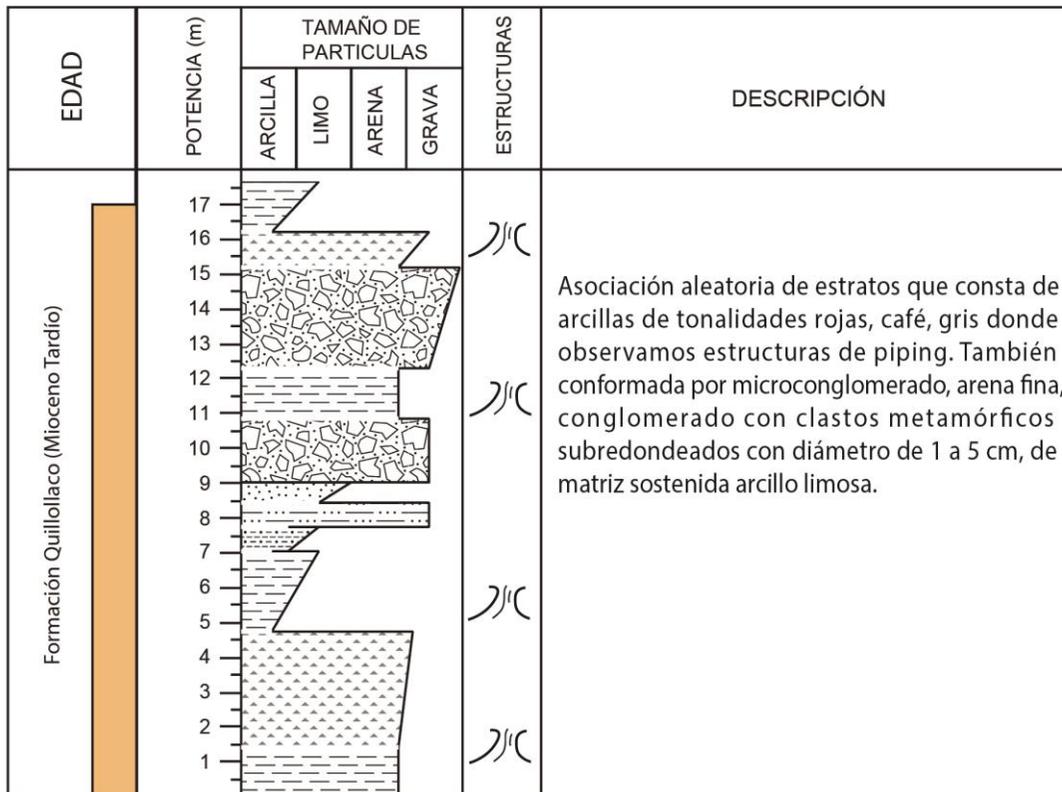
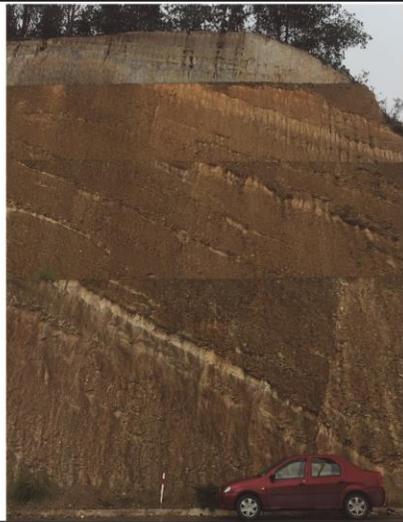


Foto Esquematzada

Información Afloramiento antropico es el resultado del corte al momento que fue edificada la vía de integración barrial.

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

TITULACIÓN DE GEOLOGÍA Y MINAS

CARACTERIZACIÓN DEL GRADO DE DISPERSIÓN EN ARCILLAS DE LA ZONA SUR-OESTE DE LA CUENCA SEDIMENTARIA DE LOJA, PARA DETERMINAR POTENCIAL DE GENERACIÓN DE PROCESOS DE PIPING

Tesista: Víctor Martínez

Tutora: Msc. Tamara C. Briceño Sarmiento

AFLORAMIENTO 1JUE 24

**Coordenadas
UTM WGS84**

X: 696978

Y: 9555380

Z: 2292

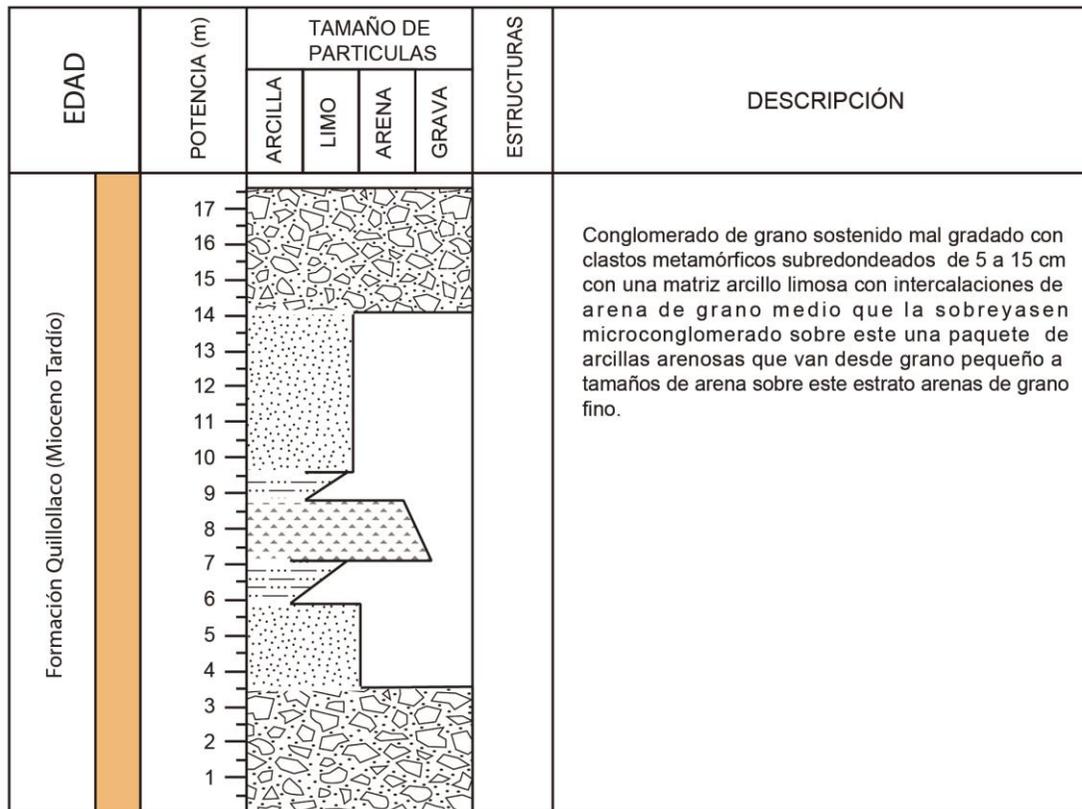


Foto Esquemática



Información

Afloramiento antropico es el resultado del corte al momento que fue edificada la vía de integración barrial.

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA				
TITULACIÓN DE GEOLOGÍA Y MINAS				
CARACTERIZACIÓN DEL GRADO DE DISPERSIÓN EN ARCILLAS DE LA ZONA SUR-OESTE DE LA CUENCA SEDIMENTARIA DE LOJA, PARA DETERMINAR POTENCIAL DE GENERACIÓN DE PROCESOS DE PIPING				
Tesis: Víctor Martínez			Tutora: Msc.Tamara C. Briceño Sarmiento	
AFLORAMIENTO AF9VM	Coordenadas UTM WGS84	X: 699772	Y: 9552933	Z: 2151V

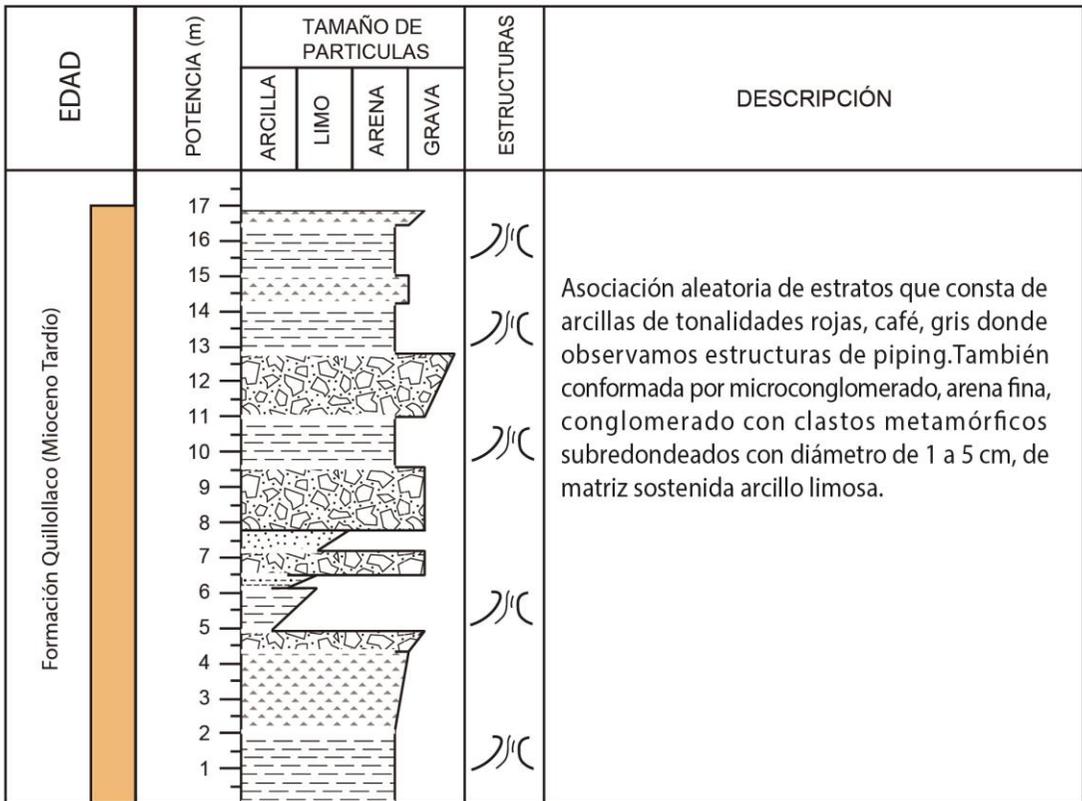


Foto Esquematzada
<p>Información</p> <p>Afloramiento antropico es el resultado del corte al momento que fue edificada la vía de integración barrial.</p>

