



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-Este de la cuenca sedimentaria de Loja, para determinar potencial de generación de procesos de *piping*.

TRABAJO DE TITULACIÓN.

AUTOR: Abad Guarnizo, Cristian Vicente

DIRECTORA: Briceño Sarmiento, Tamara Cristina, Msc

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, denominado: **Caracterización del grado de dispersión en arcillas de la zona Sur-Este de la cuenca sedimentaria de Loja, para determinar potencial de generación de procesos de *piping***, realizado por: Cristian Vicente Abad Guarnizo, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, marzo del 2018.

f.)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Cristian Vicente Abad Guarnizo declaro ser autor del presente trabajo de titulación: **Caracterización del grado de dispersión en arcillas de la zona Sur-Este 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 Cristina 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: Cristian Vicente Abad Guarnizo

Cédula: 1150010054

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a Dios quien me dio la fortaleza y estuvo conmigo en los momentos de debilidad. A mis padres quienes me guiaron, apoyaron y me brindaron el amor incondicional desde que di mis primeros pasos hasta este momento en mi formación profesional. A mis hermanas quienes cuidaron de mí y siempre están ahí cuando las necesito. A mi bella esposa que me apoya y aconseja en los buenos y malos momentos. A mi hijo que es la prolongación de mi existencia y la motivación para ser mejor cada día. A mis amigos que me brindaron sus consejos y me apoyaron de manera desinteresada.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por sostenerme cuando caigo, apoyarme en la debilidad y ser el poder superior que me da humildad.

A mi madre, Gloria Guarnizo por cuidarme desde pequeño, guiar mi camino, educarme y ser la mentora de mi vida.

A mi padre, Egidio Abad que me enseñó lo que es el amor a la familia y quien es mi ejemplo a seguir en la vida.

A mi hermana, María Eugenia, que cuidó de mí desde pequeño y lo hace hasta este momento enseñándome que el amor incondicional no expira en el tiempo.

A mi hermana, Paola del Cisne, quien ha sido mi mejor amiga, mi cómplice, apoyándome desde que tengo memoria y a la cual le estoy eternamente agradecido.

A mi querida esposa, Alejandra León, que es mi guía, mi ayuda, mi compañera de vida a quien amo y respeto desde lo más profundo de mi ser.

A mi hijo, Juan Ignacio, que es mi motivación para seguir todos los días y mi mayor felicidad.

A la M. Sc. Tamara Briceño, mi directora de tesis, por el esfuerzo, dedicación y paciencia, quien con su conocimiento me guio a lo largo de este trabajo.

A Víctor Horacio mi colega durante este trabajo de investigación y al cual le estoy muy agradecido por ser incondicional y brindarme sus sabios consejos.

A Pablo, Gabriel, Santiago, Cristian L, Cristian G, Sofía, Daniel quienes fueron mis amigos y mis compañeros a lo largo de estos años de universidad y a los que siempre apreciaré y respetaré.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
1. CAPÍTULO I.....	4
GENERALIDADES.....	4
1.1. Antecedentes.....	5
1.2. Justificación.....	6
1.3. Objetivos.....	7
Objetivo General.....	7
Objetivos Específicos.....	7
1.4. Características físico geográficas de la zona.....	8
1.4.1. Ubicación.....	8
1.4.2. Acceso.....	9
1.4.3. Climatología.....	9
1.4.4. Hidrología.....	9
1.5. Contexto Geológico.....	10
1.5.1. Geología Regional.....	10
1.5.2. Geología Local.....	14
1.5.3. Evolución de la cuenca.....	15
2. CAPÍTULO II.....	18
MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. Descripción de las arcillas.....	19
2.2. Mineralogía de las arcillas.....	19
2.3. Estructura de las arcillas.....	20
2.4. Descripción de las arcillas dispersivas.....	23
2.5. Propiedades físicas.....	24
2.6. Propiedades Químicas.....	24
2.7. Mecanismos de arcillas dispersivas.....	26
2.8. Origen geológico de las arcillas dispersivas.....	27
2.9. Procesos de <i>pipíng</i>	27
2.10. Comportamiento mecánico de materiales dispersivos.....	28
2.10.1. Estructura floculada.....	28
2.10.2. Estructura agregada.....	29
2.11. Casos de estudio de arcillas dispersivas.....	29

CAPÍTULO III.....	33
3. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	33
3.1. Recopilación de Información.	34
3.2. Métodos de reconocimiento en campo de arcillas dispersivas.	34
3.3. Ensayos de Laboratorio para reconocimiento de arcillas dispersivas.....	35
3.3.1. Gravedad Específica - Método del picnómetro (Norma ASTM C 128 – 01).....	36
3.3.2. Difracción de Rayos X (DRX).....	36
3.3.3. Determinación del pH.....	36
3.3.4. Límites de Atterberg.	38
3.3.5. Ensayo de Crumb.....	40
3.3.6. Ensayo de Doble Hidrómetro.	43
CAPÍTULO VI:	55
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES	55
RESULTADOS.....	56
4.1. Reconocimiento de puntos de muestreo.....	56
4.2. Gravedad Específica - Ensayo de Picnómetro	58
4.3. Difracción de Rayos X (DRX)	58
4.4. Potencial Hidrogeno (pH).	60
4.5. Clasificación mecánica de los materiales.	60
4.6. Ensayo de Crumb.	62
4.7. Ensayo de Doble Hidrómetro	66
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	73
GLOSARIO	85
CONCLUSIONES.....	89
RECOMENDACIONES	91
BIBLIOGRAFÍA.....	92
ANEXOS.....	96
ANEXO I: LÍMITES DE ATTERBERG	97
ANEXO II: CARTA DE CASAGRANDE	107
ANEXO III: DIFRACTOGRAMAS DRX	108
ANEXO IV: ENSAYO DE CRUMB	116
ANEXO V: DOBLE HIDRÓMETRO.....	125
ANEXO VI: FICHAS DE AFLORAMIENTO.....	147
ANEXO VII: MAPA DE RESULTADOS.....	158

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Mapa de ubicación de la zona de muestreo.	8
Ilustración 2. Columna estratigráfica de la cuenca sedimentaria de Loja.	12
Ilustración 3. Formación Quillollaco en la vía a Zamora Huayco Alto.	15
Ilustración 4. Tipos y terminología de las asociaciones de partículas.	20
Ilustración 5. Representación esquemática del cambio micro estructural que ocurren durante la depositación y litificación.	21
Ilustración 6. Estructura de las arcillas, reemplazamiento de OH por oxígenos tetraedros. ...	22
Ilustración 7. Dirección de foliación de las arcillas.	23
Ilustración 8. Proceso de defloculación.	23
Ilustración 9. Comportamiento de los iones de sodio y calcio.	25
Ilustración 10. Comportamiento de suelo no sódico y sódico en el agua.	25
Ilustración 11. Partículas de suelo en condiciones floculantes y dispersantes.	27
Ilustración 12. Perfil de proceso de piping.	28
Ilustración 13. Comportamiento de los cationes de sodio y calcio.	28
Ilustración 14. Homogenización de la muestra.	37
Ilustración 15. Lectura del pH mediante el phmetro.	38
Ilustración 16. Determinación de límite líquido.	39
Ilustración 17. Cálculo de límite plástico.	39
Ilustración 18. Cubos remoldados para ensayo de Crumb.	42
Ilustración 19. Ensayo de Crumb.	42
Ilustración 20. Aparato de agitación mecánica.	45
Ilustración 21. Dispersión de la muestra.	46
Ilustración 22. Hidrómetro 152 H usado en el ensayo.	47
Ilustración 23. Muestras en el vaso de precipitación.	47
Ilustración 24. Bomba de vacío conectada al matraz.	53
Ilustración 25. Puntos de muestreo.	57
Ilustración 26. Gráfica de Casagrande para Límite Líquido.	61
Ilustración 27. Comparación de una muestra en agua normal y agua destilada.	63
Ilustración 28. Comparación de Crumb en agua normal y agua destilada.	64
Ilustración 29. Resultados de dispersión según Crumb.	65
Ilustración 30. Gráfica de distribución granulométrica.	68
Ilustración 31. Gráfica de distribución granulométrica afloramiento 1 norma ASTM 4221. ...	70
Ilustración 32. Resultados Doble Hidrómetro.	72
Ilustración 33. Estructuras de dispersión gullies, sector Yahuarcuna.	73
Ilustración 34. Estructuras de dispersión <i>piping</i> , sector El Capuli.	73
Ilustración 35. Comparación entre ensayo estándar de hidrómetro.	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación en base al ph según USCS.	37
Tabla 2. Clasificación según SUCS	40
Tabla 3. Grados de dispersión para Ensayo de Crumb	41
Tabla 4. Factor de Corrección para Gravedades Específicas	49
Tabla 5. Valores de L para lecturas de hidrómetro.	50
Tabla 6. Valores de K en función de la temperatura y Gs.....	51
Tabla 7. Criterio de clasificación de dispersión por Doble Hidrómetro.	54
Tabla 8. Coordenadas de puntos de muestreo (WGS 84).	56
Tabla 9. Resultados de gravedad específica.....	58
Tabla 10. Resultados de DRX.....	59
Tabla 11. Resultados de pH.....	60
Tabla 12. Cálculo del Índice de Plasticidad.	61
Tabla 13. Resultados de Índice de plasticidad.	62
Tabla 14. Resultados de Crumb en agua normal.	63
Tabla 15. Resultados de Crumb en agua destilada.	64
Tabla 16. Resultados de Crumb.	65
Tabla 17. Valores de Ct.....	67
Tabla 18. Ejemplo de cálculo norma ASTM 422 - Afloramiento 1.	67
Tabla 19. Resultado de Hidrometría norma ASTM D422 y análisis.....	68
Tabla 20. Valores de Ct en agua destilada.....	69
Tabla 21. Resultados para el Afloramiento 1 del ensayo de hidrómetro norma ASTM 4221.	70
Tabla 22. Resultados de dispersión norma ASTM 4221.....	71
Tabla 23. Resultados de Doble Hidrómetro.....	71
Tabla 24. Comparación de pH y Crumb.	74
Tabla 25. Comparación entre Doble Hidrómetro y pH.	75
Tabla 26. Comparación entre índice de plasticidad con Crumb y Doble Hidrómetro.....	78
Tabla 27. Correlación de valores obtenidos en el trabajo.	80

RESUMEN

La determinación de presencia de arcillas dispersivas es indispensable para abordar medidas de prevención contra riesgos geológicos, esto debido a que sus propiedades físico químicas les confieren un comportamiento inestable en presencia de flujo hidráulico (González & Armas, 2008). El presente trabajo documenta las bases cualitativas y cuantitativas para la identificación de arcillas dispersivas en la zona Sur-Este de la cuenca sedimentaria de Loja, esto mediante análisis de estructuras de *piping* en campo y ensayos de laboratorio como Doble Hidrómetro (ASTM D 4221-99 y ASTM D 422-63) y Crumb (ASTM 6572-00) donde se obtuvo valores considerables de dispersión, los cuales representan un peligro a futuro debido a que aún la zonas vulnerables no tienen gran influencia del hombre, pero se espera una mayor intervención antrópica en los próximos años debido a la creciente población.

Palabras clave: *Piping*, arcillas dispersivas, flujo hidráulico.

ABSTRACT

The determination of the dispersive clay presence is essential to take prevention measures against geological risks. It is because the foretold clay's physical-chemicals properties confer it with an unstable behaviour in hydraulic flow presence (Gonzales & Armas, 2008). This researching work documents the quantitative and qualitative bases for the dispersive clay's identification in the south-east zone, in the sedimentary basis of Loja, it is done through the analysis of piping structures in the field and tests in laboratories, such as double hydrometer (ASTM D 4221-99 and ASTM D 422-63) and Crumb (ASTM 6572-00) in which, considerable dispersion values were obtained. These values represent a future high risk, as the vulnerable zones have not been influences by the man yet, but a more anthropic intervention is expected in the coming years, due to the increasing population.

Keywords: *Piping, dispersive clays.*

INTRODUCCIÓN

Anteriormente, los suelos arcillosos eran denominados altamente resistentes al agua, pero en los últimos años se conoce que esta apreciación era errónea. En la actualidad, se identifican arcillas que son totalmente erosionables, siendo una de estas las arcillas dispersivas. La dispersión es un proceso por el cual el suelo tiende a deflocular espontáneamente cuando está expuesto a flujo hidráulico y es causado por la repulsión electrostática entre las partículas de arcilla, resultando en la formación de una suspensión coloidal (Porteros & Hurtado, 1999).

En la cuenca de Loja se han identificado estructuras de dispersión, la cuales son indicadores de material dispersivo lo que representa un riesgo, es por esto que se plantea determinar el nivel de dispersión de arcillas en la zona Sur-Este de la cuenca de Loja. Para ello, primero se tiene que identificar los procesos de *piping* de la cuenca, obtener el porcentaje de dispersión de las arcillas y por último identificar posibles peligros provocados por estructuras típicas de arcillas dispersivas.

El desarrollo de este trabajo de fin de titulación consta de los siguientes capítulos:

- En el primer capítulo abordaremos generalidades destacando antecedentes, objetivos, características físico geográficas y geología local como regional.
- El segundo capítulo es un marco teórico donde se explica la definición de arcillas dispersivas, sus propiedades, mecanismos, cómo funciona el *piping* y casos de estudio.
- En el tercer capítulo corresponde a la metodología utilizada, los métodos de reconocimiento de arcillas dispersivas, explicando cada uno de los procedimientos utilizados.
- En el cuarto capítulo se muestra los resultados y las discusiones sobre posibles causas y efectos.
- Por último se indica las conclusiones obtenidas en el presente trabajo de investigación y las recomendaciones a tomar en cuenta.

**1. CAPÍTULO I
GENERALIDADES**

1.1. Antecedentes

Los suelos arcillosos se han considerado altamente resistentes a la erosión, sin embargo, se reconoce la existencia de suelos arcillosos altamente erosionables en la naturaleza. Algunas arcillas son dispersivas en presencia de un flujo de agua y, por lo tanto, son altamente susceptibles a la erosión interna (Cardenas & Delgado, 2015).

Las características químicas, mineralogía, cantidad de sales disueltas en los poros y presencia de agua, controlan la erosión de las arcillas dispersivas (Sherard, 1972). Lo que las hace diferentes es el catión disuelto en el agua intersticial adherido a la doble capa de difusión de la partícula; se trata de un catión de sodio que posee mayor fuerza electrostática que cationes de calcio, potasio y magnesio que son los más comunes en arcillas expansivas (Holmgren & Flanagan, 1977). Esto genera que los cationes Na^+ son más susceptibles a ser arrastrados por el agua que cationes Ca^{2+} y Mg^{2+} .

La presencia de agua en circulación con un contenido bajo en sales actúa como catalizador del proceso de defloculación, sin importar si son cargas hidráulicas bajas, estos movimientos crean conductos que aumentan sus dimensiones con el tiempo ya que generan pérdidas de agua y masa de suelo, esto es conocido como *piping*.

El *piping* es un factor importante en el proceso de erosión, así como en la configuración de la forma del suelo, el *piping* es el desarrollo de tubos de drenaje internos en suelos débilmente consolidados, este término no es nuevo pero su aplicación en geotécnica y geología si lo es; es conocido debido a que genera canales subterráneos dentro de represas y diques, se pueden producir tanto en suelos finos como gruesos y sus consecuencias, a menos que se los controle, será el colapso de las estructuras superpuestas (Parker, 1964).

En la naturaleza resulta difícil detectar su presencia, en áreas de topografía irregular la erosión superficial generada por el agua crea surcos de baja dimensión que toman profundidad y generan vacíos. En otras zonas, la observación es casi nula por la presencia de vegetación, humus y demás materiales (Knodel, 1991).

La mayoría de estudios realizados sobre arcillas se enfocan a aquellas con propiedades expansivas, esto debido a que son las más conocidas, más comunes y por tanto más estudiadas; si bien tienen grandes riesgos, es importante realizar una apreciación correcta, ya que, en comparación a las arcillas dispersivas, el comportamiento es totalmente opuesto. Además, es importante recalcar que las arcillas pueden tener comportamiento expansivo y dispersivo lo que dificulta más aún su estudio.

Desde el siglo XIX los ingenieros agrónomos conocen la existencia de arcillas dispersivas, pero se destaca que hasta el siglo XX se interpreta la dispersión. En la década de 1960, la ingeniería aborda el tema debido a presencia de fallas por sifonamiento en presas de Australia. Desde aquella época, algunas investigaciones han sido realizadas para refinar procesos de identificación de arcillas dispersivas, ya que estas no pueden ser identificadas por los ensayos de laboratorio convencionales normados como la clasificación visual, gravedad específica, granulometría, o límites de Atterberg (González & Armas, 2008).

A nivel mundial los países que han documentado problemas son Australia, México, Estados Unidos, Tailandia, Brasil, Grecia, Zimbabue, Pakistán, Cuba, Argentina, Colombia y Turquía; esto se detalla mejor en el apartado 2.11.

1.2. Justificación

La población en la ciudad de Loja se ha duplicado en los últimos 50 años según el Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC, 2010), lo que genera el aumento de obras civiles en las zonas periféricas de la ciudad, con el fin de dar vivienda a la creciente población. En algunas ocasiones los efectos antrópicos sobre el terreno modifican el comportamiento y desencadenan sucesos catastróficos.

Con la identificación de materiales con comportamientos mecánicos problemáticos, como la arcilla dispersiva en presencia de agua, se logrará que las futuras construcciones tomen en cuenta su presencia, evitando pérdidas económicas y pérdidas humanas. Además, en el marco constitucional de la República del Ecuador, en la parte de gestión de riesgos, el artículo 389 indica:

“Art. 389.- El estado protegerá a las personas, las colectividades y la naturaleza frente a los efectos negativos de los desastres de origen natural o antrópicos mediante la prevención ante el riesgo, la mitigación de desastres, la recuperación y mejoramiento de las condiciones sociales, económicas y ambientales, con el objetivo de minimizar la condición de vulnerabilidad”.

1.3. Objetivos

Objetivo General

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

Objetivos Específicos

- Identificar los procesos de *piping* de la cuenca Sur-Este 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 cantón Loja se encuentra en la región sur del Ecuador, cuenta con una extensión de 1.895,53 km², distribuida en 13 parroquias rurales y 4 urbanas, esta 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 m.s.n.m (UNL y PNUD, 2013). El área de trabajo se indica en la ilustración 1 posee una extensión de 1779 hectáreas aproximadamente.

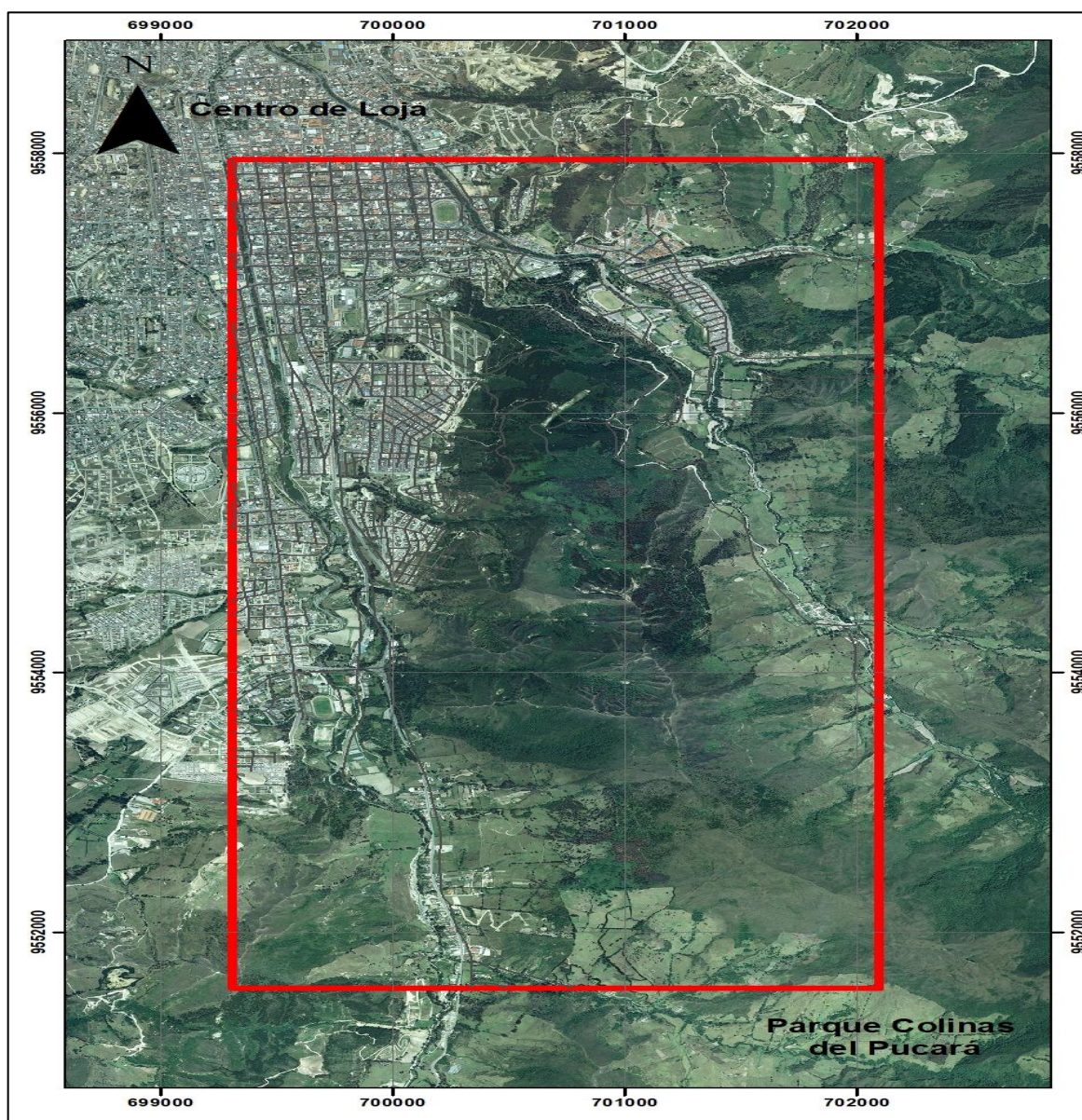


Ilustración 1. Mapa de ubicación de la zona de muestreo.

Fuente: (IGM).

Elaboración: Autor.

1.4.2. Acceso

Se puede acceder a la ciudad de Loja por vía terrestre mediante cooperativas de transporte, las cuales se toman desde los distintos terminales que existen en las provincias del Ecuador, entre las principales tenemos: Loja, Santa, Panamericana, San Luis, Viajeros. También se puede llegar por vía aérea, desde los aeropuertos de Quito y Guayaquil, hasta el Aeropuerto "Ciudad de Catamayo" que se localiza a 35 km de la ciudad de Loja (UNL y PNUD, 2013).

Para acceder a los puntos de interés se lo puede hacer mediante vehículo motorizado o caminando, esto debido a que en su mayoría se encuentra cerca de vías de primer y segundo orden, exceptuando los puntos ubicados en la cordillera donde existen únicamente senderos. El análisis se lo realizó en las zonas expuestas ya sean antrópicas o naturales, donde se manifieste efectos de dispersión.

1.4.3. Climatología

Loja se caracteriza por un clima templado-húmedo, sin estación seca según la clasificación de Köppen, puesto que se asienta en la cuenca alta de la región de Zamora. Loja es influenciada por el clima amazónico y vientos alisos. La temperatura oscila entre 14 y 24 grados Celsius similar al resto de la serranía de Ecuador (Maldonado, 2014).

1.4.4. Hidrología

Ecuador es el país con mayor número de ríos por kilómetro cuadrado (Ruiz, 2008), esto no exceptúa a Loja, la cual es parte del gran sistema del río Santiago, afluente del Marañón–Amazonas. Los ríos Malacatos y Zamora son las principales unidades hidrográficas en la cuenca, dirigiendo sus aguas por el eje central hacia el Norte. Además, se presentan unidades hidrográficas de segundo orden conformadas por los ríos de Zamora Huayco y Jipiro (PNUMA, 2007) .

En base a lo descrito encontramos:

➤ Río Zamora

Constituye la arteria hídrica más importante de la cuenca de Loja, recibe varios afluentes entre ellos el río Jipiro.

➤ **Río Malacatos**

Constituye el eje principal de la cuenca de Loja, nace en el nudo de Cajanuma a 3400 m.s.n.m. Tiene una longitud aproximada de 14 km hasta su fusión con el río Zamora Huayco.

➤ **Río Jipiro**

Nace en la cordillera Central de los Andes con una dirección Sureste-Noroeste, es de tipo dendrítico y se une con el río Zamora por la zona del Parque Recreacional Jipiro.

➤ **Río Zamora Huayco**

Se origina en las estribaciones de la cordillera Central de los Andes. Está conformado por cuatro afluentes, tres de los cuales aportan con más del 55% del caudal de agua cruda para la ciudad de Loja.

1.5. Contexto Geológico

1.5.1. Geología Regional

La cuenca sedimentaria de Loja está rellena por rocas esencialmente detríticas de edad Mioceno Medio y Superior depositadas discordantes sobre el basamento de composición meta-pelítica, con intrusiones de rocas ígneas. Su secuencia sedimentaria neógena ha sido establecida por Kennerly (1973) y estudiada en detalle por Hungerbühler y otros, (2002) quienes proponen la existencia de un alto estructural que separa dos sub-cuencas para justificar las diferencias entre las series como se muestra en la ilustración 2.

El relleno sedimentario se inició con depósitos fluviales, deltaicos y lacustres que, en el sector occidental, corresponden de muro a techo a las formaciones Trigal, La Banda y Belén, mientras que en el oriental está integrada por los tres miembros de la formación San Cayetano. Sobre ellas reposa discordantemente la formación Quillollaco. Sin embargo, no existen dataciones precisas de estas formaciones. Los estudios previos de la estructura interna indican una mitad oriental deformada por pliegues de orientación N-S estaría separada de la occidental por una falla vertical (Kennerly, 1973).

Esta falla habría sufrido inversión tectónica, rotando y formando nuevas fallas inversas con buzamientos al Este que serían las responsables de la individualización de ambas sub-cuencas. Sin embargo, los estudios realizados no han permitido identificar esta zona de falla de posición central en la cuenca. La región está muy cubierta y no existen datos detallados sobre las características de los pliegues y fallas ni datos sobre la geología del subsuelo.

Las rocas más antiguas corresponden a la Unidad Chigüinda de edad Paleozoica que constituye el basamento. La serie terciaria, incluyendo los depósitos cuaternarios, han sido afectados por movimientos de compresión, que ocasionaron levantamientos y hundimientos.

Entre las rocas sedimentarias encontramos conglomerados, areniscas, lutitas, rocas calcáreas, arcillas y depósitos cuaternarios correspondientes a aluviales y coluviales. La mayor parte de las arcillas afloran en el flanco Este de la ciudad, las areniscas se presentan al Noroeste de la cuenca; las lutitas aparecen en el Noreste de la ciudad, estas conforman un relieve bajo y erosionado. Las rocas metamórficas pertenecen a la Unidad Chigüinda, mismas que afloran hacia el borde de las dos cordilleras que limitan la cuenca de Loja, y se caracterizan por un relieve alto. A continuación, se indican las formaciones:

➤ **Unidad Chigüinda (Paleozoico).**

En la parte Sur de la Cordillera Real encontramos metamorfismo de edad Paleozoica (Litherland, Aspend, & Jemielita, 1994), se encuentran series metamórficas agrupadas por filitas, esquistos grafitosos, cuarcitas que pertenecen a la Unidad Chigüinda con una edad aproximada del Devónico al Pérmico (420-250 M.a.). La orientación de la foliación es N-NE a S-SE; que aflora tanto en la parte occidental como en la parte oriental de la vía Loja-Zamora. Sin embargo, 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 encontramos en el margen Noroccidental de la cuenca. En general son areniscas, limolitas calcáreas con finas laminaciones de lutitas en intercalaciones de conglomerados (Kennerly, 1973).

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

Consiste en intercalaciones de calizas blancas, láminas finas de lutitas carbonatadas, capas de cherts (sílices) y areniscas amarillas de grano fino (Hungerbühler y otros, 2002). Tiene un espesor de 10 a 20 m y se disponen de forma continua y horizontal. Sobreyace a 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.

INIGEMM (2017) la clasifica como un miembro intermedio de la Formación San Cayetano, y la cartografía como una estrecha franja discontinua con dirección NE-SO.

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

Se ubica al Occidente de la cuenca, en el sector de Belén y Menfis, consiste en capas de areniscas gruesas de color marrón que contienen lentes de conglomerados horizontalmente estratificados; que ocasionalmente presentan *slumps*, las areniscas muestran estratificación cruzada en escalas métricas; los clastos de los conglomerados son en su mayor parte metamórficos (Hungerbühler, y otros, 2002). El máximo espesor es de 300 metros con evidencias de variaciones no regionales.

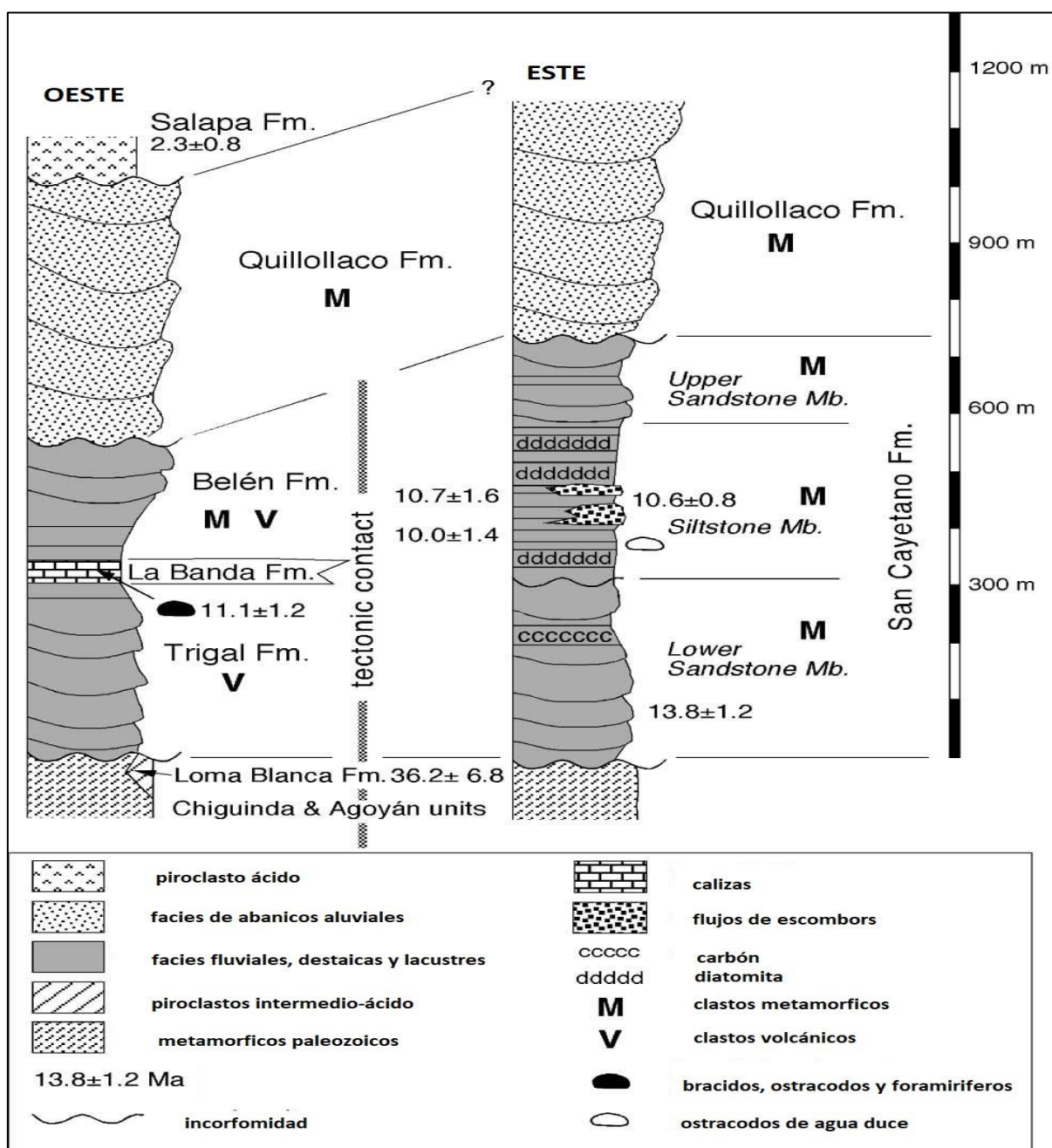


Ilustración 2. Columna estratigráfica de la cuenca sedimentaria de Loja.

Fuente: Hungerbühler y otros (2002).

Elaboración: Hungerbühler y otros (2002).

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

En base a lo descrito por INIGEMM (2017) se ubica en el barrio San Cayetano y Zamora Huayco, al Oriente y Sur de la cuenca de Loja, está compuesta por estratos de lutitas con ondulitas, improntas de tallos y hojas, así como restos de gasterópodos; diatomitas, areniscas, limolitas y ocasionalmente conglomerados.

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

Consiste en conglomerados gruesos clasto-soportados en matriz arenosa con pocas intercalaciones de arenisca, compuesto por clastos metamórficos redondeados (filitas, cuarcitas, vetas de cuarzo y esquistos); también hay intervalos menores de arenisca ínterestratificada. Su espesor aproximado son 600 metros al Sur de la cuenca, 100 metros en la parte central y 500 metros en la parte Este. Los sedimentos indican facies propias de ambiente de abanico aluvial, las imbricaciones de clastos implican dirección del transporte con sentido E-O.

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

Localizada en el sector de Salapa Alto, consiste en lavas andesíticas marrones y capas de aglomerados andesíticos con matriz clasto-soportada, tobas purpuras fuertemente 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).

Además, es importante recalcar que (INIGEMM, 2017), nombra dos nuevas formaciones que son:

➤ **Unidad Tres Lagunas.**

Los principales afloramientos se encuentran en la vía Salapa Alto-Quebrada Solamar y a lo largo del río Tambo Blanco. Consiste de cuerpos masivos de granitoides variablemente

cizallados de grano medio a grueso, con plagioclasa, moscovita, biotita y fenocristales de cuarzo azul. Al norte de Loja, la unidad se encuentra intruida por el plutón de San Lucas. Se le asigna una edad de 227,6 M.a. \pm 3,2 M.a. (Litherland y otros, 1994); se interpreta como granitos tipo S en una zona de rift.

➤ **Unidad Quebrada El Volcán.**

Se la define como una secuencia metavolcánica que ocurre en forma de fajas tectónicas, con dirección NE-SO, localizada al NE de la cuenca de Loja. Aflora en los cortes realizados en las quebradas Mamanuma y El Volcán, de donde toma su nombre. Está constituida por una secuencia de andesitas, aglomerados y tobas variablemente metamorizadas intercaladas con filitas negras. En la vía Loja-Zamora, afloran metabrechas andesíticas alternadas con metalavas, se la considera como la fase volcánica generadora de la apertura inicial del rift en el Triásico.

1.5.2. Geología Local

El polígono de investigación abarca las formaciones de San Cayetano y la Formación Quillollaco en el flanco Sur-Este de la cuenca de Loja, con litologías desde conglomerados a lutitas.

Formación San Cayetano

Se manifiesta como una secuencia de lutitas y arcillolitas, con pequeños niveles de arenisca. Las lutitas presentan color pardo-amarillenta con estratificación subvertical a subhorizontal, intercalada en menor medida con arcillolitas de color crema y gris-azulada y algunos niveles de arenisca grano-creciente, presenta un rumbo de estratificación constante hacia el NE y buzamientos con dirección hacia el NO y SE.

Formación Quillollaco

Son conglomerados monolíticos gruesos clasto-soportados en matriz limo-arcillosa con pocas intercalaciones de arenisca, compuesto por clastos metamórficos redondeados (filitas, cuarcitas, vetas de cuarzo y esquistos). Se muestran intercalaciones de arcilla gris. 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, esta formación se muestra en la ilustración 3. Los afloramientos analizados se detallan en el anexo VI.

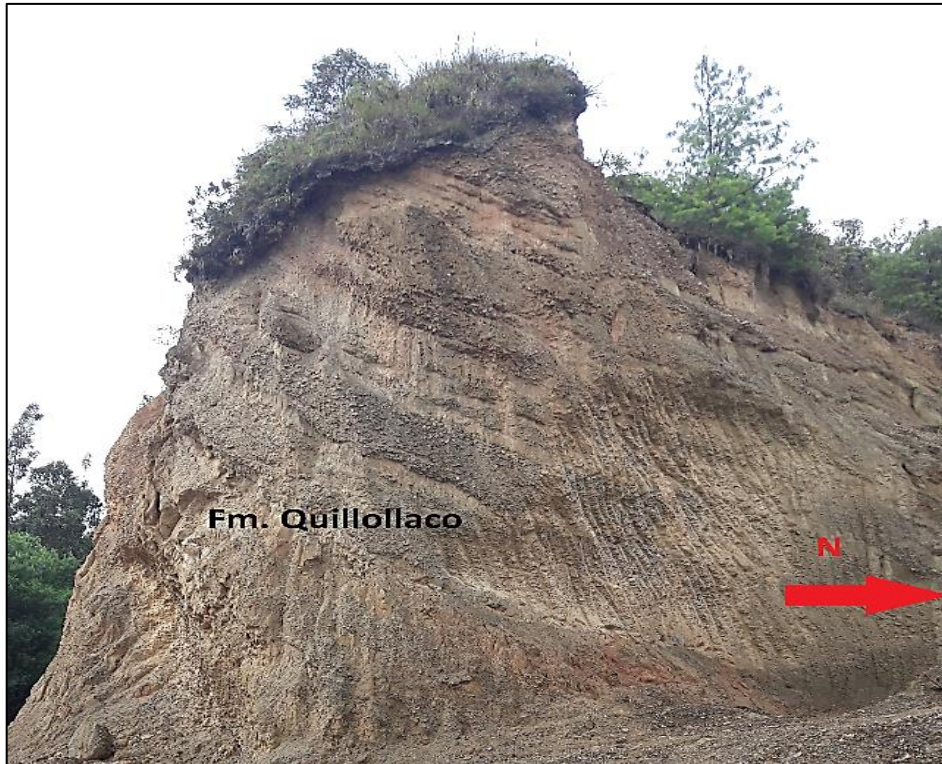


Ilustración 3. Formación Quillollaco en la vía a Zamora Huayco Alto.
Fuente: Autor.
Elaboración: Autor.

1.5.3. Evolución de la cuenca

La cuenca de Loja posee una evolución parecida a las demás cuencas intramontañosas del Sur de Ecuador (Nabón, Girón, Cuenca, Malacatos-Vilcabamba y Catamayo-Gonzanamá), son de edad Mioceno Medio a Tardío y muestran facies costeras marinas y sedimentarias continentales (Steinmann, Hungerbühler, Seward, & Winkler, 1999). Lahuate (2005) asigna un mismo origen continental; la etapa de sedimentación comienza hace 19 M.a. y termina 9 M.a. (Estado Pacífico Costero), fue mayormente de tipo marino costero, abarcando un área mayor al tamaño de las actuales cuencas. En este tiempo la subsidencia extensional en la región interandina provocó transgresión de mares someros en las “bahías” de Loja y Cuenca, desde las cuencas de Manabí y Progreso (Hungerbühler, y otros, 2002).

La fuente de la sedimentación en este período fue predominantemente la Cordillera Real. Este estado culmina cuando una etapa de compresión E-O hace aproximadamente 9.5-8 M.a., exhumó la región y, por tanto, la sedimentación se limitó 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 muestra forma elíptica elongada en dirección N-S (Kennerly, 1973). Las series sedimentarias en esta cuenca están tectónicamente divididas por una falla inversa importante post-deposicional con tendencia O, 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).

Posterior a la acreción del arco volcánico Macuchi al continente en el Eoceno Medio, comienza 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 Variscico, 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. La evolución de la cuenca está representada por tres fases:

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

Es decir que la cuenca de Loja fue expuesta a compresiones horizontales orogénicas, lo que origina que los estratos y bancadas se muestren plegadas y erguidas hasta la posición vertical en algunas zonas de la cuenca. Esto se manifiesta en el borde 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 gran anticlinal que en su vértice abierto alberga a la ciudad de Loja.

La cuenca de Loja muestra una forma asimétrica, predominando sedimentos del Mioceno Inferior, Medio y Superior. Los sedimentos al Este se presentan inclinados con respecto al borde occidente de la falla inversa; mientras que en lado Oeste se encontramos conglomerados marginales y capas de areniscas y lutitas, con una fuerte inclinación hacia el Este, separados por rupturas y hundimientos verticales en secciones escalonadas.

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 INIGEMM (2017) donde se evidencia la influencia del sistema de fallas en el control de la sedimentación.

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

oriental y occidental. Existen fallas segmentadas de un sistema de cabalgamientos que limitan la cuenca.

Existe una falla importante con rumbo NE-SO que limita las metavolcánicas de la Unidad Quebrada El Volcán entre los metasedimentos paleozoicos y triásicos. Además, en la cuenca se evidencia tectónica sinsedimentaria representada por estratos muy deformados con presencia de fallamiento gravitacional, *slumps* y discordancias progresivas. El plegamiento post-sedimentario afecto a la cuenca de Loja generando anticlinales y sinclinales (INIGEMM, 2017).

2. CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1. Descripción de las arcillas

Los minerales de arcilla son aluminosilicatos hidratados que predominan en la fracción menor a 2 micrones, estos minerales son similares química y estructuralmente. Las arcillas son abundantes en la superficie de la tierra, forman rocas conocidas como lutitas y son un componente principal de casi todas las rocas sedimentarias. El pequeño tamaño de las partículas y sus estructuras cristalinas únicas otorgan a los materiales de arcilla propiedades especiales, incluido el catión de intercambio, comportamiento plástico en presencia de agua, habilidades catalíticas y propiedades de absorción de agua e hinchamiento (Guggenheim, 2014).

2.2. Mineralogía de las arcillas

Los minerales de arcilla, junto a las micas, cuarzo y feldespatos son los más abundantes en la tierra. Debido a las dificultades que se presentan al momento de analizar suelos finos, la mayoría de los investigadores se han concentrado en la mineralogía de la arcilla ya que esta se analiza muy bien mediante difracción de rayos X. Según Boggs (2009), entre los minerales de arcilla encontramos:

- Caolinita. - Formados bajo condiciones de fuerte lixiviación con lluvias abundantes, buen drenaje, aguas ácidas, en cuencas marinas que se concentran cerca de la costa.
- Esmectita-illita-moscovita. - La esmectita es una arcilla hidratada y expandible, común en los suelos como un producto volcánico de la alteración de vidrio volcánico, se convierte en illita por soterramiento. La illita es el mineral de arcilla más abundante en las lutitas, esta a su vez se convierte en moscovita durante la diagénesis, aunque la moscovita también puede ser detrítica.
- Clorita, corrensita y vermiculita. - La clorita se forma particularmente durante la diagénesis de soterramiento. Durante el entierro la vermiculita se puede convertir en corrensita y finalmente en clorita.
- Sepiolita y atapulgita. - Son arcillas ricas en magnesio que se forman bajo condiciones especiales donde las aguas intersticiales son ricas en magnesio, como en lagos salinos.

2.3. Estructura de las arcillas.

Según autores Bennett & Hulbert (1991) y Boggs (2009) para la determinación de la microfábrica de las arcillas dominan tres tipos de procesos deposicionales y diagenéticos: *fisicoquímico, bio-orgánico, entierro-diagenético*.

El *proceso fisicoquímico* se divide en tres mecanismos:

- *Electroquímico*. - Es la fuerza que mantiene unidas las partículas.
- *Termoquímico*. - Son las fuerzas que surgen de la diferencia de temperatura.
- *Interfaz dinámica*. - Movimiento diferencial de partículas bajo la gravedad.

El *proceso biorgánico* representa los efectos de los organismos vivos en los sedimentos que son provocados por bioturbación (biomecánico), biofísica (agregación y aglutinación de partículas en procesos orgánicos) y bioquímica (producción química y destrucción química).

El *proceso de entierro-diagenético* puede afectar a las microfacies, esto se produce por los mecanismos de gravedad masivos y cementación de otros procesos diagenéticos. La interacción de todos estos procesos determina la fábrica de las partículas de arcilla.

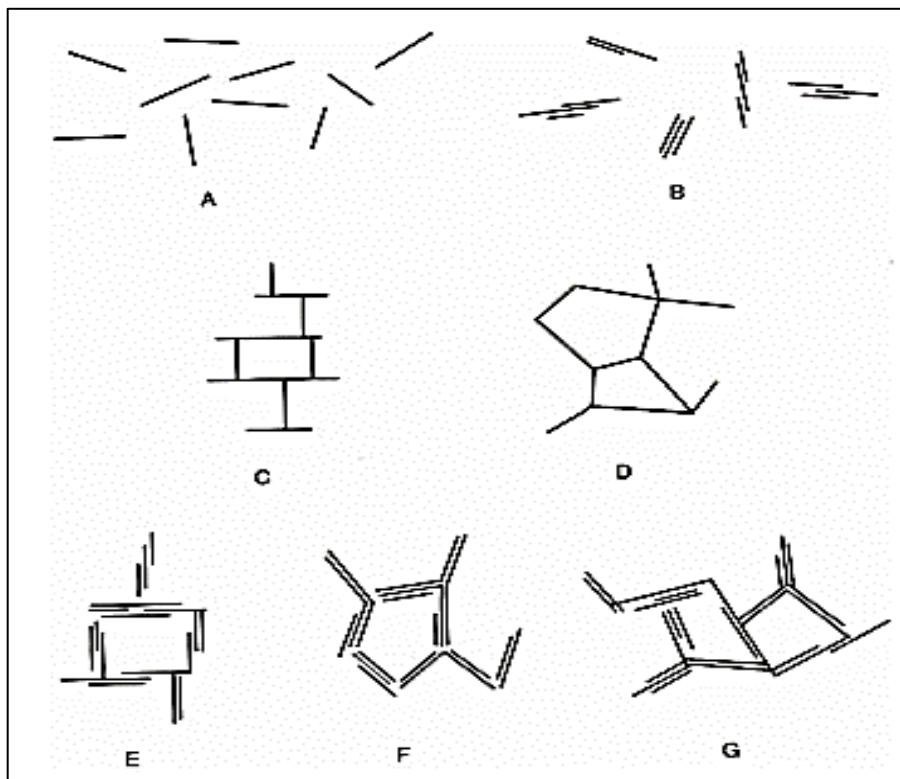


Ilustración 4. Tipos y terminología de las asociaciones de partículas en suspensiones de arcilla.

Fuente: Olphen (1977).

Elaboración: Olphen (1977).

La ilustración 4 muestra los varios tipos de asociación de partículas en suspensiones de arcilla, por lo tanto, las partículas pueden estar defloculadas y dispersarse aleatoriamente, el literal A indica una suspensión dispersa y defloculada; el literal B indica agregado pero defloculado; el literal C indica una estructura de borde-cara floculada pero dispersa; el literal D indica de borde-borde floculada pero dispersa, el literal E es floculado y agregado borde a cara; F es un borde a borde floculado y agregado y por ultimo G es in borde a cara y borde a borde floculado y agregado (Boggs, 2009).

La presencia o ausencia de agentes dispersantes o agentes peptizantes determina si los sedimentos de arcilla alcanzan el fondo como dispersas, placas individuales o como flóculos. Los principales agentes peptizantes son las sustancias orgánicas (Moon & Hurst, 1984). En ambientes anóxicos donde los compuestos orgánicos son abundantes, las cualidades peptizantes de estas sustancias causan la dispersión de flóculos; o en otro caso evitan su formación, por lo tanto, la arcilla se asienta como placas individuales. En ambientes óxicos donde los agentes peptizantes son ausentes, la arcilla se asienta como flóculos, esto se muestra en la ilustración 5 (Boggs, 2009).

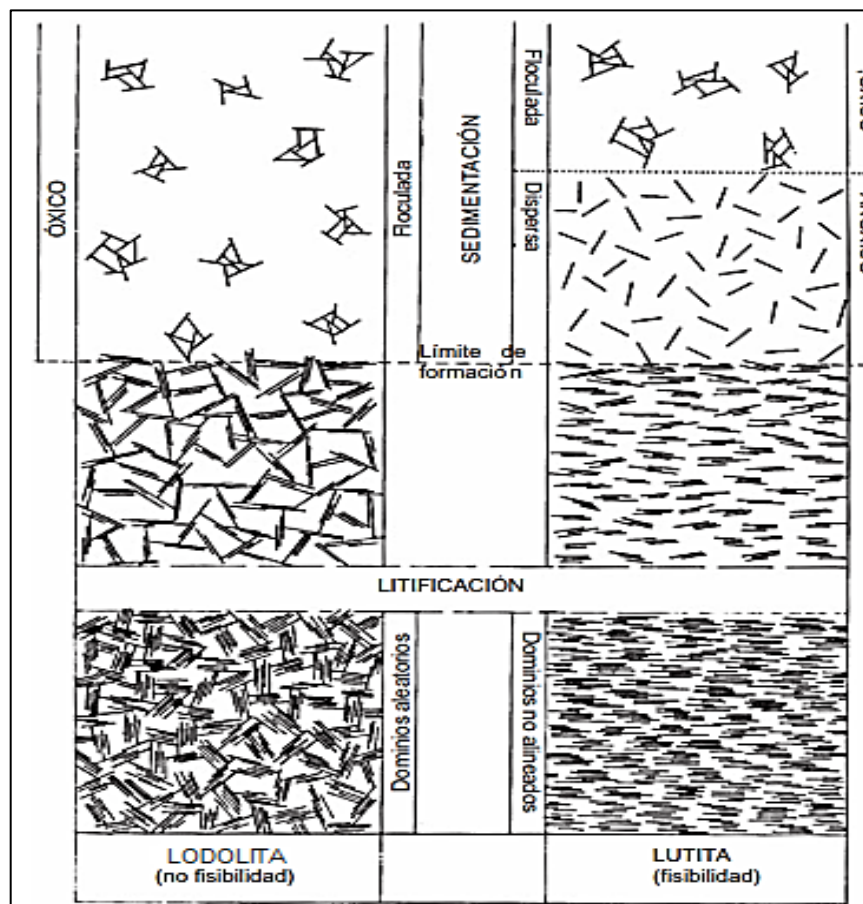


Ilustración 5. Representación esquemática del cambio micro estructural que ocurren durante la depositación y litificación.

Fuente: Moon y Hurst (1984).

Elaboración: Moon y Hurst (1984)

La estructura de la arcilla influye en sus propiedades. Esto hace importante el estudio de la estructura de los filosilicatos, la cual consiste en apilamiento de iones de oxígeno e hidroxilos. Los grupos tetraédricos $(\text{SiO})_4$ se acoplan compartiendo tres de sus cuatro oxígenos formando capas, de extensión infinita, que son la unidad básica de los filosilicatos.

Capas tetraédricas se acoplan a capas octaédricas. Estas capas de Al^{3+} o Mg^{2+} , pueden sustituirse por Fe^{2+} o Fe^{3+} y más raramente por Li, Cr, Mn, Ni, Cu o Zn. La superficie de unión entre ambas capas está formada por los oxígenos de los tetraedros que no comparten con otros tetraedros, y por grupos $(\text{OH})^-$, queda un $(\text{OH})^-$ en el centro de cada hexágono formado por 6 oxígenos apicales (Garcia & Suárez, 2011). Los demás $(\text{OH})^-$ son reemplazados por los oxígenos de los tetraedros, como se indica en la ilustración 6.

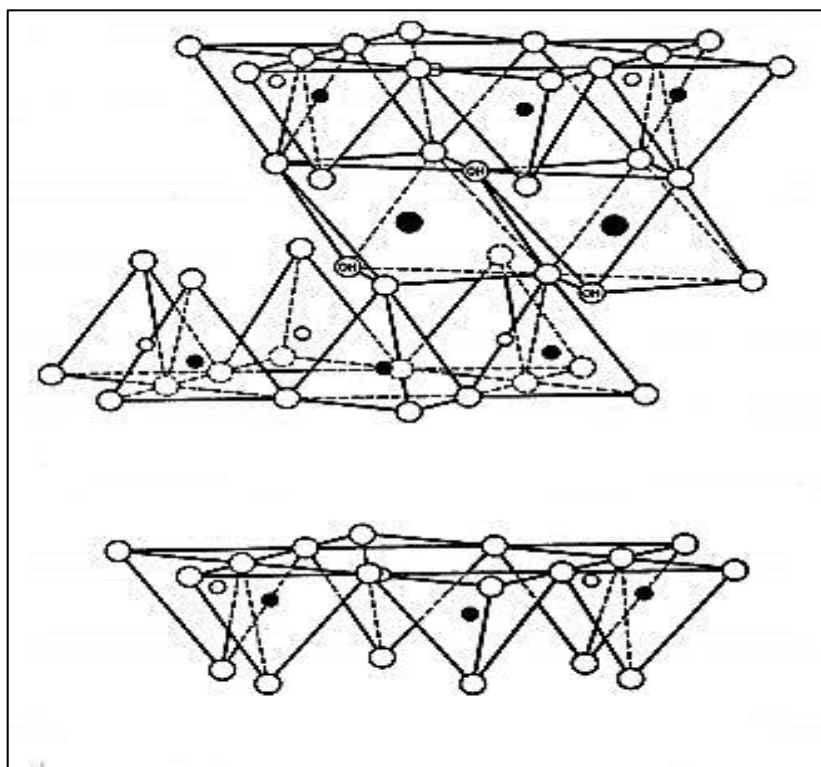


Ilustración 6. Estructura de las arcillas, reemplazamiento de OH por oxígenos tetraedros.

Fuente: García y Suárez (2011).

Elaboración: García y Suárez (2011).

Ciertos filosilicatos (esmeclitas, vermiculitas, micas) tienen láminas que no son eléctricamente neutras debido al reemplazo de unos cationes por otros de distinta carga. El balance de carga se mantiene por el espacio interlaminar existente entre dos láminas contiguas de cationes hidratados o grupos hidroxilo coordinados octaédricamente (Garcia & Suárez, 2011). Las fuerzas de unión en las unidades estructurales son menores en relación

a las que se encuentran entre iones de una misma lámina, esto provoca la pronunciada dirección de exfoliación paralela a la lámina, indicado en la ilustración 7.

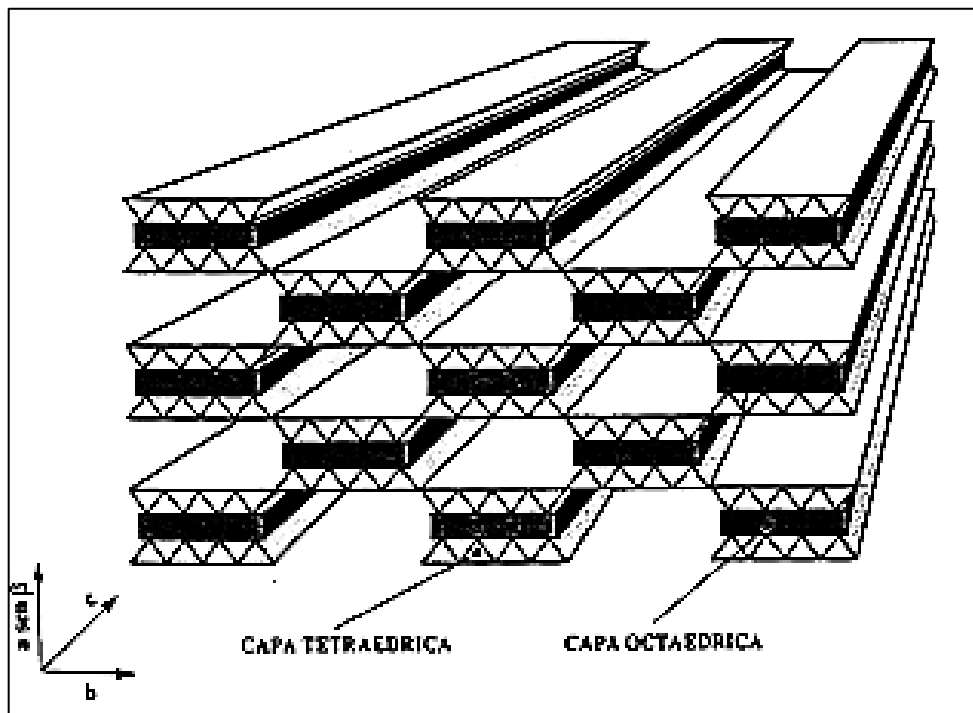


Ilustración 7. Dirección de foliación de las arcillas.

Fuente: García y Suárez (2011).

Elaboración: García y Suárez (2011).

2.4. Descripción de las arcillas dispersivas

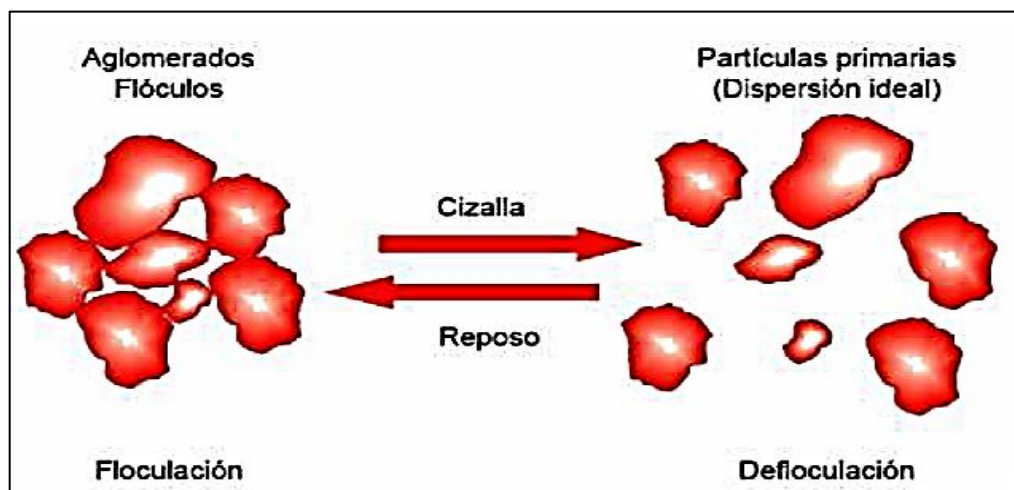


Ilustración 8. Proceso de defloculación.

Fuente: Jaume (2009).

Elaboración: Jaume (2009).

Los suelos dispersivos son susceptibles a la defloculación (Sherard, 1972), esto quiere decir que en presencia de flujo hidráulico la arcilla disminuye su atracción electroquímica y muestra un comportamiento granular, erosionándose relativamente rápido, como se muestra

en la ilustración 8. Las partículas de arcillas dispersivas se dividen al contacto con el agua debido al contenido de sodio (Trejo, 2008).

Así, el suelo de arcilla dispersiva se erosiona con la presencia del agua que fluye cuando las plaquetas individuales de la arcilla son partidas y transportadas. Tal erosión puede ser provocada por una filtración inicial de agua.

2.5. Propiedades físicas

Las arcillas dispersivas pueden ser rojas, cafés, grises, amarillas o las combinaciones de los mismos. Los suelos negros que evidencian un alto contenido de materia orgánica, no suelen ser dispersivos por poseer un comportamiento mecánico compresivo. Casi todos los suelos de grano fino, derivados de la meteorización de rocas metamórficas e ígneas no presentan dispersión, tampoco se encontró dispersión en derivados de caliza (Knodel, 1991).

El fenómeno de dispersión tiene lugar ante la liberación de cargas actuantes sobre ellas, estrechamente ligado al de la compresibilidad, puede decirse que las arcillas más dispersivas ante la descarga, son las más compresibles ante un proceso de carga (Acuña, 2015). Por lo cual se adhieren estrechamente a otras partículas de suelo.

En general, la tendencia a la erosión de un suelo debido al fenómeno de la dispersividad depende de variables como la mineralogía y química de la arcilla, así como de las sales disueltas en el agua presente en los poros del suelo. La cantidad y el tipo de arcilla, pH, materia orgánica, temperatura, contenido de agua, tixotropía son los factores que afectan al esfuerzo de corte crítico requerido para iniciar la erosión (Acuña, 2015).

2.6. Propiedades Químicas

La principal diferencia entre las arcillas dispersivas y las que ordinariamente resisten la erosión interna radica en el tipo de cationes disueltos en el agua intersticial, adheridos a la doble capa de difusión de la partícula. En las dispersivas predominan los cationes de sodio (Na^+), mientras que en las ordinarias predominan los cationes de calcio (Ca^{2+}), potasio (K^+) y magnesio (Mg^{2+}), esto se indica en la ilustración 9.

El catión de sodio (Na^+) con valencia 1+, tiene una fuerza electrostática de fijación a la partícula menor que los cationes de calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}), con valencia 2+. Además, el número de cationes de sodio tiene que ser mayor para satisfacer la carga electrostática de la arcilla. Esto indica que los cationes Na^+ son más susceptibles a ser arrastrados por flujo hidráulico que cationes Ca^{2+} y Mg^{2+} (Holmgren & Flanagan, 1977).

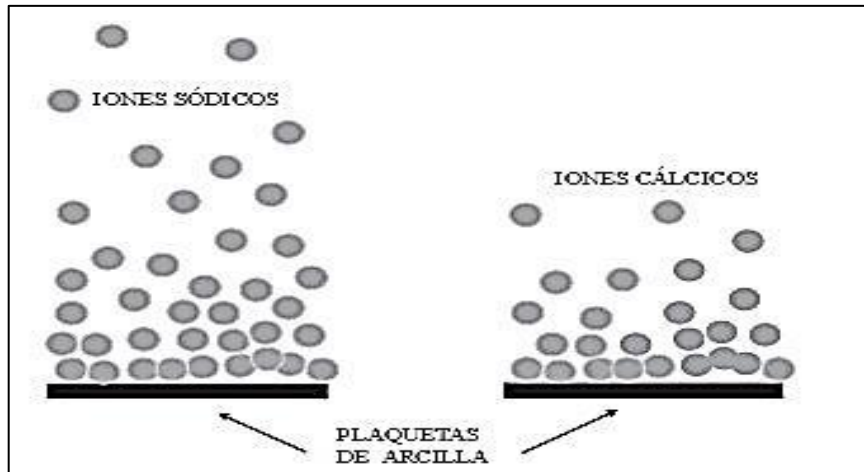


Ilustración 9. Comportamiento de los iones de sodio y calcio.
 Fuente: Hanson, Grattan & Fulton (2006).
 Elaboración: Hanson, Grattan & Fulton (2006).

Un caso diferente se da cuando se relaciona el sodio (Na^+) con el potasio (K^+) ya que ambos poseen valencia 1+, el sodio presenta menor radio, por lo que tiene mayor tendencia hacia la interacción ion-dipolo con las moléculas de agua esto también lo hace susceptible a ser arrastrado en presencia de agua (González & Armas, 2008).

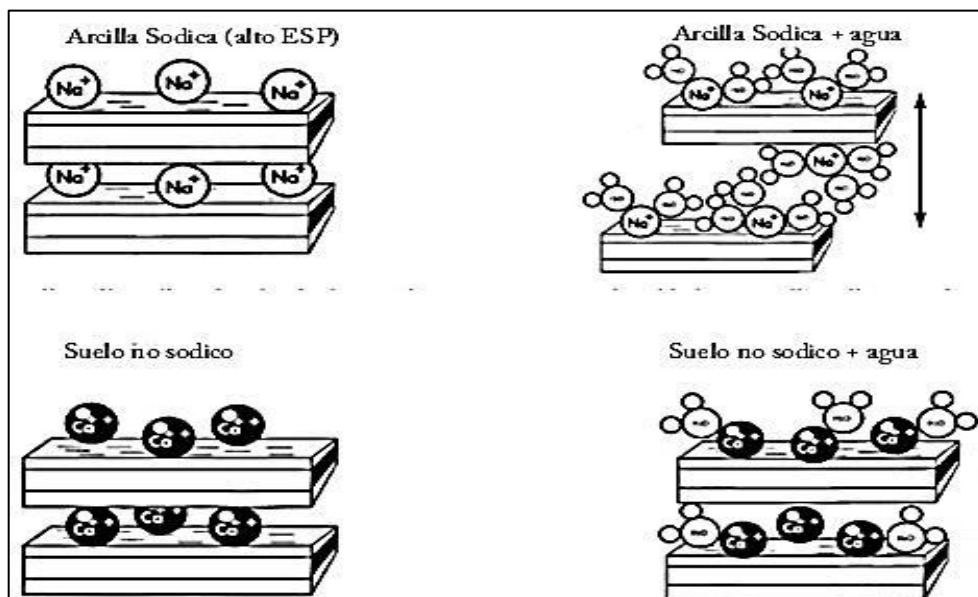


Ilustración 10. Comportamiento de suelo no sódico y sódico en el agua.
 Fuente: Anon (1999).
 Elaboración: Anon (1999).

Anon (1999) utiliza la ilustración 10 para indicar el comportamiento mecánico de arcillas sódicas y no sódicas, así tenemos:

La *arcilla sódica*. -El sodio se absorbe en la superficie de la arcilla, es un ion con carga débil, los iones positivos enlazan las partículas de carga negativa.

La *arcilla sódica más agua*. - Atrae el sodio; los iones hidratados fuerzan a las placas a separarse, el rol de los iones es enlazar las placas, pero en la presencia de agua se hincha y se dispersa.

La *arcilla no sódica*. -El calcio es absorbido dentro de la superficie de la arcilla, es un ion pequeño con carga fuerte.

La *arcilla no sódica con agua*. -El agua puede entrar entre las placas del suelo no sódico el cual provoca la hinchazón, las fuerzas de unión que provoca el calcio provoca que los iones no se separen por completo, el suelo no se dispersa.

Con la filtración de los cationes de sodio disminuye la dimensión de la arcilla, genera vacíos que facilitan aún más la filtración. El flujo hidráulico con bajo contenido de sales, actúa como un catalizador de procesos de dispersión, aún en flujos hidráulicos bajos, generando tubificaciones que con el tiempo aumentan su tamaño y su peligrosidad (González & Armas, 2008).

2.7. Mecanismos de arcillas dispersivas

Las partículas de arcilla tienen una carga negativa como resultado de una sustitución isomórfica o bordes rotos por lo que repelen naturalmente el uno del otro. Sin embargo, 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 mostrada en la ilustración 11 literal A (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 (Neetu & Sammer, 2015).

La floculación y la dispersión son reacciones resultado del intercambio de cationes. El intercambio de cationes es una interacción 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).

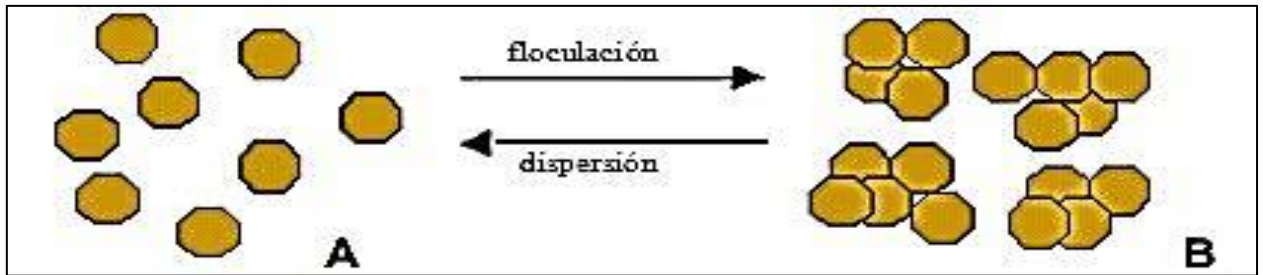


Ilustración 11. Partículas de suelo en condiciones floculantes y dispersantes.
 Fuente: Neetu y Sammer (2015).
 Elaboración: Neetu y Sammer (2015).

2.8. Origen geológico de las arcillas dispersivas.

Las arcillas han sido encontradas en depósitos aluviales, sedimentos lacustres, depósitos de *loess* y llanuras diluviales. Además, se encontraron 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 (Knodel, 1991). En Zimbabwe las arcillas dispersivas han sido asociadas con granitos y rocas areniscas (Clark, 1986). Es especulativo afirmar que estas arcillas deban su origen a rocas que estuvieron, en algún tiempo geológico, sumergidas en el mar, donde adquirieron los niveles de sodio que las caracterizan (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). Usualmente una gran parte de las arcillas dispersivas corresponden a la montmorillonita aunque la caolinita e illita también pueden presentar dispersividad (Sherard, 1972).

2.9. Procesos de *piping*.

Los procesos de *piping* están controlados por un gran número de factores, como el índice de dispersión y el contenido de sodio. Se entiende por *piping* todo un conjunto de procesos hidromorfológicos que favorecen el desarrollo de conductos sub superficiales en materiales no consolidados (Jones, 2004), la ilustración 12 otorga una vista de perfil de subsuelo mostrando el *piping*. Estos conductos que tienden a desarrollarse a menos de 5 metros de la superficie, generalmente evolucionan por colapso hacia hoyos o agujeros de distintos

diámetros y ocasionalmente, hacia un paisaje caótico en el que tales hundimientos forman parte de *badlands* (Bryan & Yair, 1982).

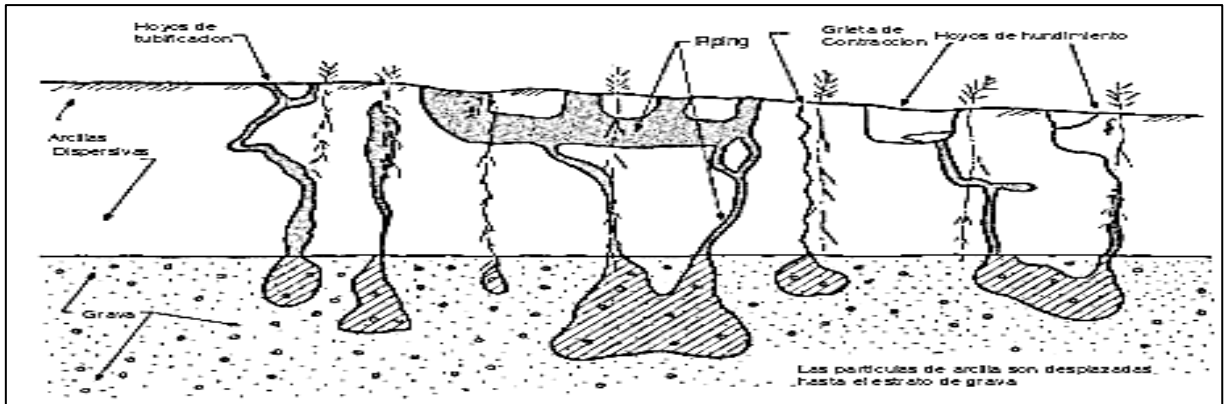


Ilustración 12. Perfil de proceso de pipping.
Fuente: Sherard (1972).
Elaboración: Sherard (1972).

2.10. Comportamiento mecánico de materiales dispersivos.

El comportamiento de los materiales dispersivos puede tener dos formas, de una manera floculada y de una manera agregada donde las partículas están unidas entre sí por propiedades intrínsecas del suelo.

2.10.1. Estructura floculada.

El fenómeno de la floculación en las arcillas es muy conocido; las arcillas depositadas en aguas saladas (marinas o salobres) tienden a tener una estructura floculada mientras que aquellas que lo hacen en ambientes de agua dulce (ríos, lagos, etc.) dan texturas defloculadas, esto se muestra en la ilustración 13.



Ilustración 13. Comportamiento de los cationes de sodio y calcio en floculación y dispersión.
Fuente: Terra Soil Science (2015)
Elaboración: Terra Soil Science (2015)

A veces, cuando se ha producido la sedimentación en ambientes muy salinos, la estabilidad de la masa de arcilla puede incrementarse al precipitar pequeños cristales de sales que actúan a modo de cemento entre las partículas de arcilla.

2.10.2. Estructura agregada

Cuando las partículas de arcilla están unidas entre sí en agregados, las propiedades del suelo mejoran. El movimiento del aire es también mejor, mejora el transporte de oxígeno y dióxido de carbono a partir del sistema radicular. La estructura agregada también mejora la permeabilidad del suelo al agua y su capacidad de retención de agua.

2.11. Casos de estudio de arcillas dispersivas.

En un inicio el estudio de las arcillas dispersivas únicamente fue realizado con fines agrónomos y se asociaban a climas áridos y semiáridos en áreas de suelos alcalinos. Sin embargo, actualmente también se asocian a regiones de clima húmedo.

Países como Australia, Tasmania, Sudáfrica, Tailandia, Israel México, Trinidad y Tobago, Vietnam, Ghana, Kenia, Brasil, Colombia, Paquistán, Venezuela y varias regiones del sur de los Estados Unidos, presentan problemas documentados con dispersión, estos estudios se detallan a continuación:

➤ *Australia, 1964.*

Una presa construida sobre suelo salino, se llenó al límite con agua de alta concentración salina; en los primeros años la presa presentó únicamente problemas de filtración. Después de la construcción de una tubería en la zona con una longitud de 32 kilómetros, con el objetivo de traer agua del río que posea una menor concentración iónica; la presa falló por sifonamiento, tres días después debido a que la concentración de sales disminuyó (Knodel, 1991).

➤ *México, 1972.*

Durante la construcción del dique "La Escondida" ocurrió una gran lluvia que no paró por dos días, la laguna artificial se llenó hasta dos metros debajo de la corona. En cuestión de horas el dique izquierdo falló por medio de 50 grietas y el embalse se vació y provocó cortes en el terraplén (Marsal, 1975).

➤ Estados Unidos, 1973.

Los estados de Oklahoma, Mississippi y Arizona, entre los años 1970 y 1972 manifestaron fenómenos de tubificación y fallas sobre las presas debido a las altas precipitaciones; en base a esto se realizaron estudios de dispersión tanto físicos como químicos, sin embargo, no tuvieron una buena correlación y mostraban resultados no confiables.

En 1973 se desarrolló un nuevo ensayo para la identificación de las arcillas llamado "Pinhole", el objetivo de este era mejorar la medición de la erosión coloidal (Clark, 1986).

➤ Tailandia, 1970-1977.

De 1970 a 1977, se presentaron un gran número de presas que sufrieron fallas por tubificación y erosión debido a la lluvia. El plan para reparar las presas contemplaba desde el reemplazo del material hasta el tratamiento físico-químico. Se instalaron zonas de impermeabilización conectadas a un lecho rocoso. Además, las presas fueran selladas con una carpeta de asfalto en la capa laterítica y se usó cal para prevenir la erosión.

➤ Brasil, 1977.

Una represa ubicada en Sobradinho, estado de Bahía, se presenta una gran cantidad de material dispersivo. Para el análisis se llevaron a cabo pruebas mediante Pinhole utilizando filtros de arena compactada.

➤ Grecia, 1977.

Se investigó la relación de las propiedades dispersivas de las arcillas con la erosión interna de las capas superiores de la presa de tierra en el momento previo al llenado; también se seleccionó material arcilloso que sería usado en la construcción de la estructura. Se presentaron altos contenidos de sodio en la capa freática (Hernández & Gómez, 2012).

➤ Zimbabwe, 1980.

Una presa presentó problemas debido a la erosión del suelo mediante tubificaciones; pero en los estudios que se llevaron a cabo no se encontró una cantidad considerable de sodio que justifique la presencia de material dispersivo. Sin embargo, se encontró altas concentraciones de mica de litio, en base al orden de reactividad de los metales alcalinos, este es mayor que el sodio y potasio siendo el factor catalizador que provocaba la erosión dentro de la presa (Hernández & Gómez, 2012).

- Pakistán, 1985.

La presa de Surla presento fallas debido al aumento de humedad del suelo por el llenado del depósito de agua, esto se produjo porque no se adoptaron medidas para comprobar filtraciones hacia el material expansivo de la base. Esta erosión en la base se relacionó a material dispersivo.

- Cuba, 1993.

En la presa “Las Cabrerías”; se produjeron grandes precipitaciones durante el periodo de construcción y después de seis años de funcionamiento el terraplén fallo en forma de tubificaciones y se asoció a material dispersivo (González & Armas, 2008).

- Argentina, 2004.

En los embalses de La Laja y El Salado, se presentaron procesos de sifonamiento que causaron problemas; para el análisis se extrajeron dos muestras, una en la parte superior y otra en la base de la ladera para así determinar valores de conductividad eléctrica, pH, y el contenido de sales disueltas. El resultado fueron bastantes concentraciones de sodio que generaban un sistema superficial de grietas (Hernández & Gómez, 2012).

- Colombia, 2005.

Intensas lluvias en Girón causaron el desborde del Rio de Oro y activo una serie de deslizamientos que causaron más de 1000 viviendas destruidas y 20 fallecidos. Aquí se realizaron diferentes tipos de ensayos para caracterizar la dispersividad (Crumb, Pinhole y Doble Hidrómetro), como resultado se determinó un 90% de dispersividad, que establece que es una zona de gran riesgo.

- Turquía, 2011.

Ensayos de identificación de arcillas dispersivas se llevaron a cabo en diferentes zonas de Turquía. Los resultados mostraron que la adición de cloruro de magnesio actúa como un mitigante de la dispersión (Hernández & Gómez, 2012).

En Ecuador el estudio de las arcillas dispersivas está empezando, los estudios realizados vienen a partir de la presente década los mismos que son:

- *Identificación de arcillas dispersivas en los suelos de la presa Chojampe 2 del proyecto Pacalori.*

Jorge Cabrera y Juan Delgado (2015) analizan el material de préstamo con el que se construirán las presas de tierra del Proyecto Pacalori mediante ensayo de Pinhole y el ensayo de Total de Sales Disueltas.

- *Estudio de arcillas dispersivas y sensitivas en la zona del canal San Antonio, Manabí.*

Cesar Acuña (2015), brinda técnicas del uso de cal para el tratamiento de arcillas para evitar deslizamientos del canal San Antonio en Manabí.

El presente trabajo tiene su similar realizada al mismo tiempo por Víctor Martínez con la diferencia que esta trata sobre la caracterización del grado de dispersión en arcillas de la zona Sur-Oeste de la cuenca sedimentaria de Loja.

CAPÍTULO III
3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para determinar la existencia de arcillas dispersivas se hizo una selección en campo de zonas de posible interés, donde se reconoció estructuras asociadas a dispersión, el cual fue el punto de partida de la investigación. Posteriormente se tomó una cantidad de muestra representativa la cual fue evaluada mediante ensayos de laboratorio (Ensayo de Crumb y Doble Hidrómetro) para así obtener los resultados que determinarían la presencia o no de dispersividad. A continuación, se detalla la metodología realizada.

3.1. Recopilación de Información.

Se realizó una exploración, selección y análisis de información tanto en físico como digital, los documentos analizados estaban citados y debidamente referenciados. Al tratarse de un tema poco conocido a nivel de Latinoamérica la mayor parte de la información vino de fuentes estadounidenses y europeas.

Entre los documentos más importantes tenemos:

- *Study of Piping Failures and Erosion Damage from Rain in Clay Dams in Oklahoma and Mississippi Mechanics* por James Sherard (1972).
- *Factors affecting spontaneous dispersion of soil materials as evidenced by crumb test* por Holmgren & Flanagan (1977).
- *Identification, Testing, and Use of Dispersive Soil in Zimbabwe* por M. Clark (1986).
- *Implications of natural soil piping for basin* por Jones (2004).

Se destaca el trabajo hecho por James Sherard el cual con sus investigaciones construyó el cimiento de lo que se conoce hoy sobre las arcillas dispersivas; ofreciendo pautas desde la etapa de campo, hasta ensayos de laboratorio para obtener una mejor confiabilidad en los resultados.

Una vez estudiada toda la información se logró tener una mejor y más clara idea del problema que implican las arcillas dispersivas y de que su presencia en la corteza es abundante, por lo que encontrarlas en la ciudad de Loja sería más común de lo pensado.

3.2. Métodos de reconocimiento en campo de arcillas dispersivas.

Culminada la recopilación de información se inició con la etapa de campo, en esta etapa se buscó algún indicador en superficie de presencia de material dispersivo, ya sean tubificaciones en taludes, así como estructuras tipos *popcorn*. Las áreas de producción con baja cosecha y crecimiento poco desarrollado también pueden indicar suelos altamente salinos, muchos de los cuales son dispersivos (Salinas, Yapari, Canelas, & Aranibar, 2000).

Sin embargo, los suelos dispersivos pueden también presentarse en suelos neutrales o en suelos ácidos y pueden apoyar al crecimiento frondoso del césped. Aunque la superficie pueda dar un fuerte indicio de suelos dispersivos, la falta de tal evidencia no excluye su presencia en la profundidad, pero cabe recalcar que esto requiere mayor costo ya que implica una mejor campaña de exploración. Una evaluación inicial de las características dispersivas en el campo podría ser muy útil para comenzar (Garay & Alva, 2014).

Ingles & Metcalf (1972) y Fell, MacGregor, Stapledon, & Foster (1992) sugieren las siguientes pautas a tomar en cuenta en campo:

- La presencia *gullies* y fallas por tubificación 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 geología del área también puede ser una guía de la dispersividad. Sherard & Decker (1977) señalan que:

- En su mayoría las arcillas dispersivas son sedimentos originados por material aluvial.
- Ciertos suelos derivados de la lutita y arcilla, con un origen marítimo son dispersivos.
- Los suelos provenientes de la intemperización de rocas ígneas y metamórficas no presentan dispersión en su mayoría.
- Suelos orgánicos no presentan dispersividad, exceptuando los suelos tipo “algodón negro”.

Lo identificado en campo tiene una confiabilidad limitada y los ensayos de laboratorio son indispensables para aumentar el porcentaje de confiabilidad.

3.3. Ensayos de Laboratorio para reconocimiento de arcillas dispersivas.

Para la identificación de arcillas dispersivas en laboratorio, el Servicio de Conservación de Suelo de EEUU (SCS) recomienda la realización de los siguientes ensayos de laboratorio:

- Ensayo de erosión interna o Pinhole norma ASTM D4647-93.
- Método estándar para las características de suelos arcillosos por doble hidrometría norma ASTM D4221-90.

- Ensayo químico de fracciones de suelo norma ASTM 6572.

3.3.1. Gravedad Específica - Método del picnómetro (Norma ASTM C 128 – 01).

Se usa un picnómetro, agua, una balanza de precisión y muestra. Se pesa el picnómetro vacío (P1); después se introduce 10± gr de muestra y se toma el peso de muestra más picnómetro (P2); luego se añade agua hasta que el picnómetro se encuentre aforado y se pesa (P4); se retira y se añade agua y se pesa (P3). El proceso se repite por tres veces. 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. Difracción de Rayos X (DRX)

Es un ensayo químico usado para la identificación mineralógica mediante la propagación de una onda que escanea la superficie del cristal (Skoog, 2001). Al momento que las ondas de rayos x chocan con un cristal se dispersan y difractan en superficies paralelas de átomos. La Ley de Bragg permite estudiar las direcciones en las cuales se dispersan y difractan lo cual es usado por difractómetro, que posteriormente 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).

3.3.3. Determinación del pH.

Para su determinación se usa un vaso de precipitación de 100 ml, un agitador de vidrio, una balanza analítica, agua destilada, cronómetro y el phmetro. Se comienza tamizando 10 gr de muestra que pase por el tamiz N° 200, se agregan 30 ml de agua destilada y con el agitador se homogeniza la muestra por 10 minutos como indica la ilustración 14. Posteriormente, se deja reposar la muestra por 30 min y luego con el debido cuidado se toma el ánodo del phmetro y se coloca dentro de la solución hasta que la lectura se estabilice y se toma el dato como se muestra en la ilustración 15. La clasificación se la realiza usando la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación en base al pH según USDA.

Clasificación	Valor
Extremadamente ácido	3.5 - 4.4
Muy fuertemente ácido	4.5 - 5.0
Fuertemente ácido	5.1 - 5.5
Moderadamente ácido	5.6 - 6.0
Ligeramente ácido	6.1 - 6.5
Neutro	6.6 - 7.3
Ligeramente alcalino	7.4 - 7.8
Moderadamente alcalino	7.9 - 8.4
Fuertemente alcalino	8.5 - 9.0
Básico	>9

Fuente: United States Department of Agriculture (2004).
Elaboración: United States Department of Agriculture (2004).

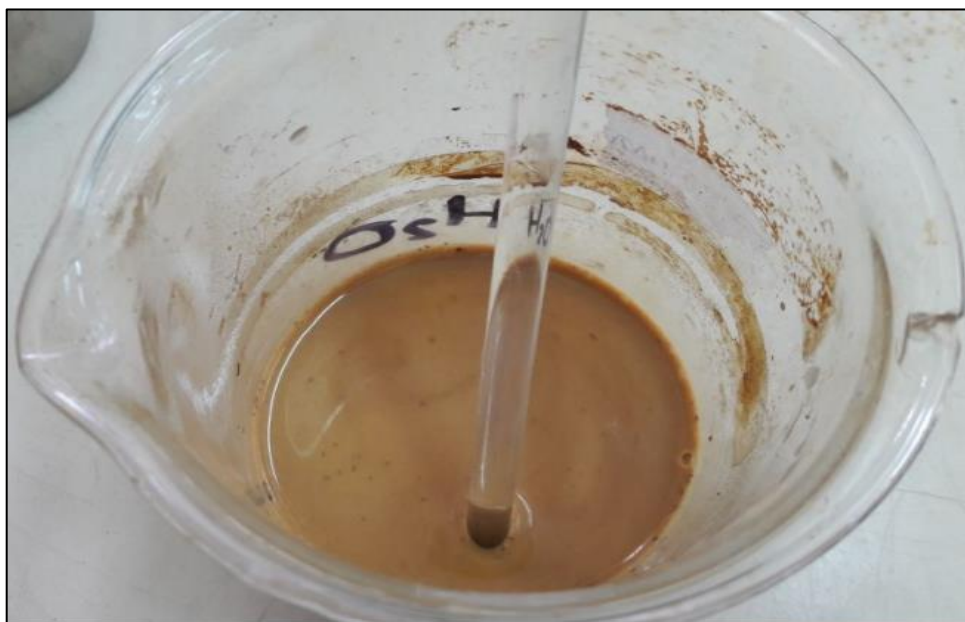


Ilustración 14. Homogenización de la muestra.

Fuente: Autor.
Elaboración: Autor.



Ilustración 15. Lectura del pH mediante el phmetro.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

3.3.4. Límites de Atterberg.

Realizado según la norma ASTM D4318-95, analizando la muestra que pasa por el tamiz N° 40 (0.42 mm).

Límite Líquido.

Es el límite entre el estado líquido y plástico. Se emplea una cuchara de Casagrande, un acanalador, una balanza analítica y demás utensilios de laboratorio. Se mezcla la muestra hasta lograr una humedad superior al límite líquido, posteriormente se la coloca en la cuchara de Casagrande aproximadamente en la zona donde la copa apoya la base y se forma un semicírculo de 10 mm de espesor como muestra la ilustración 16. Usando el acanalador se divide la muestra en dos partes de forma simétrica.

La velocidad de giro es de 2 rev/seg y se toma la sección de la muestra que se junta, esto se lo hace en intervalos de 15 a 20, 20 a 25, 25 a 30 y 30 a 35 golpes. Posteriormente se toma los contenidos de humedad de cada muestra obtenida.



Ilustración 16. Determinación de límite líquido.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Finalmente se representa la relación entre el contenido de humedad y el número de golpes en un gráfico semilogarítmico, se coloca el contenido de agua en las ordenadas como escala aritmética y el número de golpes en la abscisa como escala logarítmica. Se dibuja una línea recta a través de los puntos graficados y se toma el contenido de agua correspondiente a la intersección de la línea con la abscisa en los 25 golpes.

Límite Plástico.

Es el contenido de humedad donde el suelo se fractura al ser amasado en cilindros de 3 mm de diámetro tomando de 1,5 a 2 gr de material; para realizarlo se usa la palma de la mano y una superficie de vidrio, como muestra la ilustración 17. La presión usada varía en función del suelo, la presión aumenta con el aumento de la plasticidad.



Ilustración 17. Cálculo de límite plástico.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor

Luego se pesa el cilindro para así determinar su contenido de humedad. Este proceso se lo hace en dos muestras para promediar los resultados.

Índice de Plasticidad

Se calcula usando la fórmula 2 y se clasifican usando la tabla 2.

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

IP=Índice de plasticidad.

LL=Límite líquido

LP=Límite plástico.

Tabla 2. Clasificación de los suelos según USCS

Tipo de Suelo	Símbolo	Límite Líquido	Índice de Plasticidad
Limos inorgánicos	ML	< 50	<0.73 (w _L - 20) ó < 4
	MH	> 50	<0.73 (w _L - 20)
Arcillas inorgánicas	CL	< 50	<0.73 (w _L - 20) y < 7
	CH	> 50	<0.73 (w _L - 20) ó < 4
Limos y arcillas orgánicas	OL	< 50	w _L seco al horno < 75%
	OH	> 50	seco al aire
En casos dudosos favorecer la clasificación más plástica Ejm. CH-MH			

Fuente: (Unified Soil Classification System)

Elaboración: Autor.

3.3.5. Ensayo de Crumb

El ensayo de Emerson Crumb (ASTM D 6572-00) fue desarrollado como un procedimiento simple para identificar el comportamiento dispersivo en campo, pero ahora frecuentemente usado en el laboratorio. Al inicio Crumb llamo a este ensayo coherencia global y tuvo siete categorías diferentes de reacciones con el agua de suelo, sin embargo, Sherard (1972) simplificó el ensayo mediante la combinación de algunas de las reacciones con el agua del suelo, y asignó únicamente cuatro categorías. Este ensayo es un indicador relativamente preciso y por eso no puede ser considerado como único método de ensayo para determinar dispersividad.

El ensayo de Crumb es un buen indicador del potencial de erosionabilidad de los suelos de arcilla; sin embargo, un suelo dispersivo puede a veces dar una reacción no dispersiva,

pero, si el ensayo de Crumb señala dispersión, lo más probable es que el suelo sea dispersivo.

En la norma lo detalla como un método que provee un resultado cualitativo y no es aplicable para suelos con menos del 12% de una fracción más fina que 0,005 mm y con un índice de plasticidad menor e igual a 8.

El ensayo tiene limitaciones cuando se trata de caolinita, resultados en suelos con este mineral ya categorizados como dispersivos han mostrado no dispersividad, por lo que su presencia disminuye la confiabilidad, aunque no en todos los casos.

Las partículas de arcilla en suspensión coloidal son observadas mediante la formación de una nube densa o halo de coloides que se extienden desde el cubo. La tabla 3 indica los grados de dispersión a tener en cuenta en el ensayo.

Tabla 3. Grados de dispersión para Ensayo de Crumb

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

Fuente: (American Society for Testing and Materials, 2000).
Elaboración: Autor.

Instrumentos:

- *Contenedor:* Con una capacidad mayor a 300 mililitros.
- *Termómetro:* Con un rango de 0 a 50 grados Celsius.
- *Tamices:* De 4,75 mm (N° 4) y de 2 mm (N° 10).

Materiales

- Agua normal.
- Agua destilada.
- 400 a 500 gr de muestra.

Procedimiento:

- Colocamos aproximadamente 250 ml de agua destilada dentro del recipiente de 500 ml y 250 ml de agua normal en otro recipiente de 500 ml.
- El espécimen cúbico de muestra con dimensiones de 15 mm por lado se obtiene de dos maneras:
Método A
El cubo de la muestra obtenido in situ.
Método B
El cubo obtenido mediante remoldeo. Este fue el método seleccionado para el presente trabajo como muestra la ilustración 18.
- Una vez elaborados ambos especímenes, son colocados cuidadosamente en el agua destilada y el agua normal, van directamente en el fondo del plato. No se mueve ni hace vibrar el plato hasta el final de la prueba.



Ilustración 18. Cubos remoldados para ensayo de Crumb.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

- Posteriormente se analiza y toma la temperatura de la muestra a los 2 minutos, 1 hora y 6 horas, para esto usamos la tabla 3.
- Se toma fotografías para elaborar una ficha de informe descrita en anexo IV.



Ilustración 19. Ensayo de Crumb.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

3.3.6. Ensayo de Doble Hidrómetro.

El ensayo del Servicio de Conservación del Suelo de EEUU, también conocido como Ensayo del Doble Hidrómetro. Implica dos ensayos de hidrómetro (ASTM D 4221-99 y ASTM D 422-63). El principal objetivo es obtener el porcentaje de dispersión.

La distribución del tamaño de partículas es determinada empleando primero el Ensayo Estándar del Hidrómetro (ASTM D 422-63) en el que la muestra de suelos es dispersada en agua destilada, con fuerte agitación mecánica y hexámatafosfato de sodio que es un dispersante químico. Posteriormente, se realiza un ensayo paralelo de hidrómetro en un espécimen duplicado (ASTM D 4221-99); esta vez sin agitación mecánica y sin dispersante químico. Como resultado se obtiene el porcentaje de dispersión, que es la relación de transformación de las partículas de 0.005 mm de diámetro del segundo ensayo con el primero, expresado en porcentaje.

Mientras el valor sea más aproximado a la unidad mayor será la dispersión del suelo. Existe una variante del ensayo del doble hidrómetro, conocida como el ensayo del Triple Hidrómetro que incluye un hidrómetro con agua de río. Sin embargo, este ensayo no está normado, ni es de uso corriente (Cardenas & Delgado, 2015).

ASTM D422-63

Este método de ensayo cubre la determinación cuantitativa de la distribución de los tamaños de partícula en los suelos. Al ensayo se lo puede hacer mediante dos aparatos de dispersión (1) de alta velocidad de agitación mecánica, y (2) de dispersión de aire, el aparato usado fue el número 1.

Instrumentos:

- *Balanza:* Sensible a 0,01 gr 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 No. 10.
- *Aparato de agitación mecánica:* 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:* Graduado 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 151 H o 152 H, en este caso se contó con el hidrómetro 152 H debido a que es con el que se contaba en el laboratorio.

- *Cilindro de sedimentación*: Un cilindro 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).
- *Tamices*: Una serie de tamices, de cuadrados de malla tejida.
- *Vaso*: Vaso de precipitados de la capacidad de 250 ml.
- *Cronómetro*.

Materiales

- *Hexámatafosfato de sodio* (NaPO_3)₆: Una solución (a veces denominado metafosfato sódico) se utilizará en agua destilada o agua desmineralizada, a razón de 40 gr de sodio *hexámatafosfato / litro de solución*.
- *Agua destilada o desmineralizada*.
- *Muestra*: La porción de suelo a ser analizado.

Procedimiento:

1. *Tamizado*.
 - Llevar a cabo la operación de tamizado por medio de un movimiento vertical del tamiz 10 (2 mm) la cantidad necesaria de muestra para suelos limosos-arcillosos es 50 gr y para suelos arenosos es de 100 gr.
2. *Determinación del factor de corrección por menisco*: Para esto se usó el valor más corriente para el hidrómetro 152 H.
3. *Corrección por temperatura*
 - Se realizó una tabla de correcciones compuestas para una serie de temperatura de 1°. La medición de las correcciones se lo realiza a dos temperaturas que abarcan el valor más bajo y el más alto para las temperaturas esperadas. Se calculan suponiendo una relación lineal entre los dos valores observados.
 - 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 coloca 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 de tiempo necesario para permitir que el hidrómetro alcance la temperatura del líquido, se toma la lectura en la parte superior del menisco formado en el tallo. Para el hidrómetro 152 H la lectura es la diferencia entre el valor leído y cero.

4. *Corrección por defloculante.*

Este valor se calcula mediante la fórmula 3 usando la lectura del hidrómetro, la corrección por menisco y la corrección por temperatura.

5. *Dispersión de la muestra de suelo.*

- Cuando el suelo en su mayoría es de tamaño de la arcilla y limo, se toma una muestra aproximada de 50 gr.
- Se coloca la muestra en el vaso de 250 ml y posteriormente se añade 125 ml de solución de hexámefosfato de sodio (40 gr/lit). Se remueve hasta homogenizar y se deja en remojo por 16 horas.



Ilustración 20. Aparato de agitación mecánica.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

- Posteriormente 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 20.

6. Prueba de hidrómetro

- Inmediatamente después de la agitación, 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 1000 ml.
- Utilizando la palma de la mano sobre el extremo abierto del cilindro (o un tapón de goma en el extremo abierto), se giró el cilindro boca abajo durante un período de 1 minuto para completar la agitación de la suspensión, las vueltas son aproximadamente a una vuelta por segundo, esto se muestra en la ilustración 21.



Ilustración 21. Dispersión de la muestra manualmente.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

- Se coloca el cilindro en una ubicación conveniente y tomar lecturas utilizando cuidadosamente el hidrómetro en intervalos de 2, 5, 15, 30, 60, 250 y 1440 minutos, la lectura se toma en el menisco.



Ilustración 22. Hidrómetro 152 H usado en el ensayo.
Fuente: Autor.
Elaboración: Autor.

- Cuando se toma la lectura del hidrómetro, el hidrómetro se introduce unos 20 a 25 segundos antes de la lectura. Cuando ya se toma la lectura se retira cuidadosamente el hidrómetro y se lo coloca con un movimiento giratorio en una probeta llena de agua destilada.



Ilustración 23. Muestras en el vaso de precipitación.
Fuente: Autor.
Elaboración: Autor.

- Después de cada lectura, se tomó la temperatura de la suspensión mediante la inserción del termómetro digital.

7. Análisis de tamiz

Después de tomar la lectura del hidrómetro final, de suspensión a un tamiz N°. 200 (75 µm) y lavar con agua del grifo hasta que el agua de lavado esté despejada. Se transfiere el material sobre el N° 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).

$$Cd = \tau' + Cm \pm Ct \quad (3)$$

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.

$$Rc = R' - Cd \pm Cm \quad (4)$$

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:

$$R = R' + Cm \quad (5)$$

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 151 H y otra para el 152 H, en nuestro caso usaremos la fórmula 6 para el hidrómetro de 152 H.

$$P = \left(\frac{Ra}{W} \right) \times 100 \quad (6)$$

R= Lecturas de hidrómetro corregidas por menisco

a =Factor de corrección a aplicar a 152 G estos valores se encuentran en la tabla 4.

W=Peso de las partículas sólidas.

Tabla 4.Factor de Corrección para Gravedades Especificas

Factor (a)	
Gs	a
2.35	1.08
2.45	1.05
2.5	1.03
2.55	1.032
2.6	1.01
2.65	1
2.7	0.99
2.75	0.98
2.8	0.97
2.85	0.96
2.95	0.94

Fuente: (American Society for Testing and Materials, 1998).

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 5.

Tabla 5. 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	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	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	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	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	57	70	7
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).

Elaboración: Autor.

- Valor de 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 6.

Tabla 6. 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	0.0153	0.0150	0.0148	0.0145	0.0143	0.0144	0.0139	0.0137	0.0135
17	0.0151	0.0148	0.0145	0.01439	0.0141	0.0139	0.0137	0.0135	0.0133
18	0.0149	0.0146	0.0144	0.01421	0.0139	0.0137	0.0135	0.0133	0.0132
19	0.0147	0.0144	0.0145	0.01403	0.0132	0.0136	0.0134	0.0132	0.0130
20	0.0145	0.0143	0.0148	0.01366	0.0136	0.0134	0.0132	0.0130	0.0128
21	0.0143	0.0141	0.0139	0.01369	0.0134	0.0132	0.0130	0.0129	0.0127
22	0.0142	0.0139	0.0134	0.01353	0.0133	0.0131	0.0129	0.0127	0.0125
23	0.0140	0.0138	0.0135	0.01337	0.0131	0.0129	0.0127	0.0126	0.0124
24	0.0138	0.0136	0.0134	0.01321	0.0130	0.0128	0.0126	0.0124	0.0122
25	0.0137	0.0134	0.0132	0.01306	0.0128	0.0126	0.0124	0.0123	0.0121
26	0.0135	0.0133	0.0131	0.01291	0.0127	0.0125	0.0123	0.0121	0.0120
27	0.0134	0.0131	0.0129	0.01277	0.0125	0.0123	0.0122	0.0120	0.0118
28	0.0132	0.0130	0.0128	0.01264	0.0124	0.0122	0.0120	0.0119	0.0117
29	0.0131	0.0129	0.0128	0.01249	0.0123	0.0121	0.0119	0.0117	0.0116
30	0.0129	0.0127	0.0125	0.01238	0.0121	0.0119	0.0112	0.0118	0.0114

Fuente: (American Society for Testing and Materials, 1998).

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:

$$D = K \sqrt{\frac{L}{T}} \quad (7)$$

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 la Norma 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 norma ASTM D 422-63.

Este método de ensayo es similar al Ensayo ASTM D 422-63, excepto que no existe agitación mecánica ni dispersante.

Instrumentos:

- *Balanza:* Sensible a 0,01 gr 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 pulg. de Hg.
- *Cilindro de sedimentación:* Un cilindro 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).
- *Tamices:* Una serie de tamices, de cuadrados de malla tejida.
- *Vaso:* Vaso de precipitados de la capacidad de 250 ml.
- *Cronómetro.*

Procedimiento:

1. Obtener 50 gr de muestra seca al horno. Determinar el porcentaje de paso de 5 μm de acuerdo con la norma ASTM D 422-63.
2. Colocar aproximadamente 125 ml de agua destilada en el frasco de filtración.
3. Se obtiene una muestra representativa de suelo húmedo equivalente a 25 gr que pasa por tamiz N° 10, ya sea por división u otros medios apropiados, y se coloca en el filtro con agua destilada.

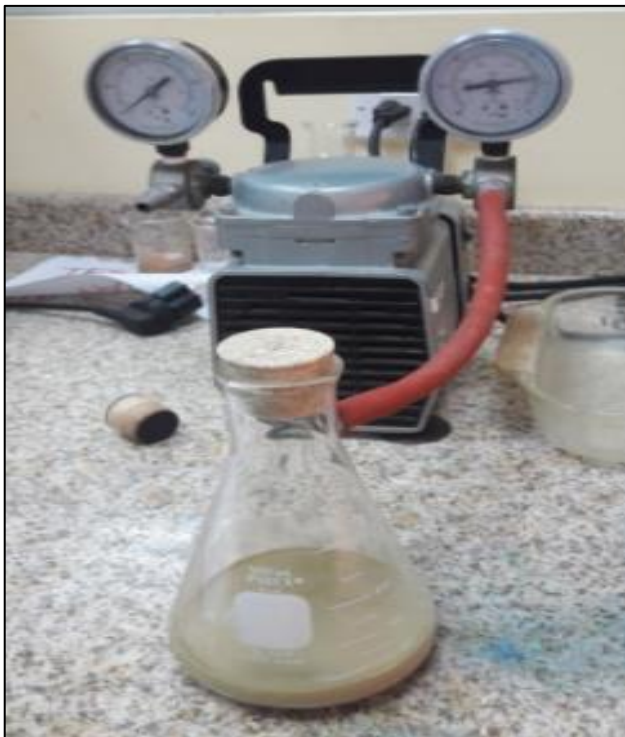


Ilustración 24. Bomba de vacío conectada al matraz con la muestra.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

4. Se coloca un tapón de goma en la boca del filtro de matraz y se conecta el matraz a la bomba de vacío. Si el suelo está seco, debe ser empapado por un mínimo de 2 h antes. Bajo la mayoría de condiciones, 20 a 23 pulgadas de Hg es suficiente para airear la muestra. Si no aparecen burbujas el vacío es suficiente como se indica en la ilustración 24.
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 de la bomba de vacío después 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, sacudir el cilindro durante 1 min. Después, se coloca el cilindro en un lugar conveniente y se 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 hora.

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 la norma ASTM D 422-63.

Porcentaje de dispersión.

Se calcula la dispersión mediante la fórmula 8, al resultado se lo clasifica usando la tabla 7.

$$\% \text{ de dispersión} = \frac{\% \text{ menor a } 5 \mu\text{m norma ASTM D 4221}}{\% \text{ menor a } 5 \mu\text{m norma ASTM D 422-63}} \quad (8)$$

Tabla 7. Criterio de clasificación de dispersión por Doble Hidrómetro.

Valor en %	Clasificación
< 30	No dispersivo
30 - 50	Intermedio
> 50	Dispersivo

Fuente: (Sherard, 1972).

Elaboración: Autor.

CAPÍTULO VI:
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

RESULTADOS

4.1. Reconocimiento de puntos de muestreo.

Es importante que los resultados de este trabajo tengan una aplicación en la ciudad de Loja, para esto se debe usar técnicas de manejo basadas en la acción-aplicación y trabajo en conjunto; esto permitirá aprovechar los resultados y mejorar la preparación implementando correctas medidas de planificación urbanística y de ordenamiento territorial, teniendo en cuenta que la erosión de suelos es un fenómeno de impredecibles consecuencias que debe ser analizado durante el diseño y construcción de las estructuras civiles.

La zona de investigación abarca un área aproximada de 1779 kilómetros cuadrados en la parte Sur-Este de la Cuenca de Loja; se seleccionó los puntos en base a características físicas de los afloramientos. Para esto se tomó en cuenta las pautas propuestas por Ingles & Metcalf (1972) y Fell y otros, (1992) ubicando zonas de *pipes* y *gullies*, zonas de erosión tipo túnel y erosión por intemperización que habitualmente indican la presencia de arcillas dispersivas.

En total se tomaron a consideración 11 puntos que abarcan los sectores de El Capulí, El Rosal, La Argelia, La Pradera, Yahuarcoma, Pucará, Los Faiques y Zamora Huayco. En estos se identificaron posibles zonas de *piping* que son un indicio de presencia de arcillas dispersivas cuyos puntos de muestran en la tabla 8 y la ilustración 25, todos los puntos pertenecen a la formación Quillollaco.

Tabla 8. Coordenadas de puntos de muestreo (WGS 84).

N° de afloramiento	X	Y	Altura (msnm)
Afloramiento 1	700433	9552043	2224
Afloramiento 2	700514	9553783	2315
Afloramiento 3	700966	9554644	2370
Afloramiento 4	700313	9555103	2179
Afloramiento 5	699906	9554680	2116
Afloramiento 6	700232	9555928	2162
Afloramiento 7	701302	9555582	2136
Afloramiento 8	701177	9556284	2125
Afloramiento 9	700751	9556724	2123
Afloramiento 10	700671	9557685	2101
Afloramiento 11	701325	9556481	2106

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

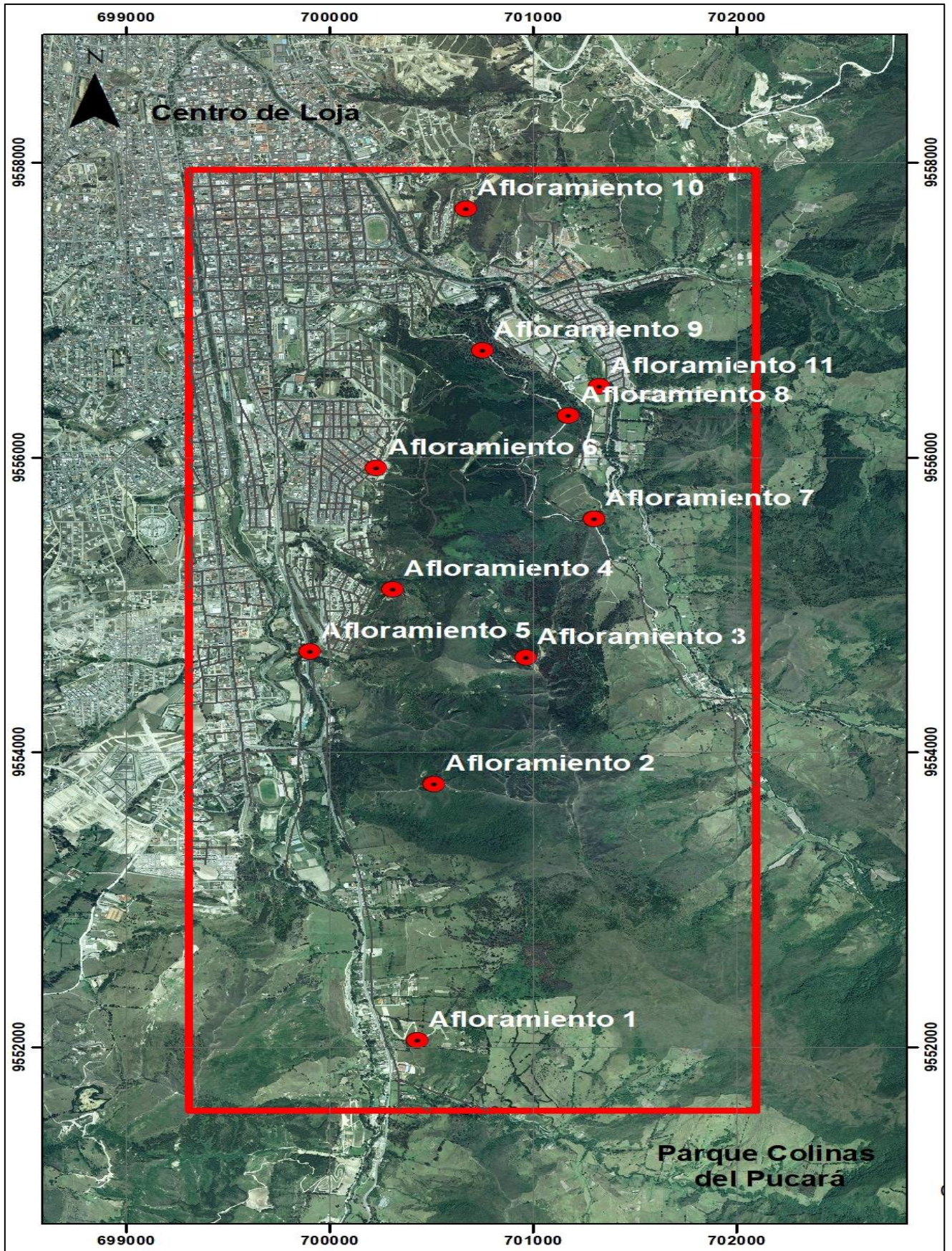


Ilustración 25. Puntos de muestreo.
 Fuente: (IGM).
 Elaboración: Autor

El trabajo de campo no garantiza la presencia de arcilla dispersiva y amerita la realización de ensayos físicos.

4.2. Gravedad Específica - Ensayo de Picnómetro

Los resultados se obtuvieron empleando la fórmula 1 descrita en el apartado 3.3.1. Esto se hizo en tres muestras del mismo afloramiento y se sacó el promedio, con la finalidad de obtener un resultado con mayor confiabilidad; los resultados se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Resultados de gravedad específica.

N° de afloramiento	Gravedad Específica (gr/cm³)
Afloramiento 1	2,364
Afloramiento 2	2,944
Afloramiento 3	2,885
Afloramiento 4	2,439
Afloramiento 5	2,044
Afloramiento 6	2,702
Afloramiento 7	2,689
Afloramiento 8	2,750
Afloramiento 9	2,879
Afloramiento 10	2,605
Afloramiento 11	2,255

Fuente Autor.
Elaboración: Autor.

4.3. Difracción de Rayos X (DRX)

Para la difracción se despreció los afloramientos 2, 3 y 11 debido a que sus estructuras estaban poco desarrolladas, los resultados se muestran en la tabla 10 y los difractogramas se muestran en el anexo III. Los resultados muestran como minerales dominantes la caolinita e illita y se aprecia que el contenido de sodio importante para el proceso de dispersión es aportado por la albita y la heulandita.

Tabla 10. Resultados de DRX

N° de Afloramiento	Minerales	Fórmula
Afloramiento 1	Cuarzo	SiO ₂
	Caolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
	Ilita	K,H ₃ O)(Al, Mg, Fe) ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ [(OH) ₂ ,H ₂ O
	Albita	NaAlSi ₃ O ₈
	Ortoclasa	KAlSi ₃ O ₈
	Heulandita	(Na,Ca) ₂₋₃ Al ₃ (Al,Si) ₂ Si ₁₃ O ₃₆ · 12H ₂ O
Afloramiento 4	Cuarzo	SiO ₂
	Ilita	K,H ₃ O)(Al, Mg, Fe) ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ [(OH) ₂ ,H ₂ O
	Caolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
	Clorita	(Mg,Fe) ₃ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ·(Mg,Fe) ₃ (OH) ₆
Afloramiento 5	Cuarzo	SiO ₂
	Ilita	K,H ₃ O)(Al, Mg, Fe) ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ [(OH) ₂ ,H ₂ O
	Caolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
	Albita	NaAlSi ₃ O ₈
	Ortoclasa	KAlSi ₃ O ₈
Afloramiento 6	Cuarzo	SiO ₂
	Ilita	K,H ₃ O)(Al, Mg, Fe) ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ [(OH) ₂ ,H ₂ O
	Caolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
	Clorita	(Mg,Fe) ₃ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ·(Mg,Fe) ₃ (OH) ₆
Afloramiento 7	Cuarzo	SiO ₂
	Ilita	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
	Caolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
	Albita	NaAlSi ₃ O ₈
Afloramiento 8	Cuarzo	SiO ₂
	Ilita	K,H ₃ O)(Al, Mg, Fe) ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ [(OH) ₂ ,H ₂ O
	Caolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
	Albita	NaAlSi ₃ O ₈
	Clorita	(Mg,Fe) ₃ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ·(Mg,Fe) ₃ (OH) ₆
Afloramiento 9	Cuarzo	SiO ₂
	Ilita	K,H ₃ O)(Al, Mg, Fe) ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ [(OH) ₂ ,H ₂ O
	Caolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
Afloramiento 10	Cuarzo	SiO ₂
	Ilita	K,H ₃ O)(Al, Mg, Fe) ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ [(OH) ₂ ,H ₂ O
	Caolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

4.4. Potencial Hidrogeno (pH).

Aplicando el procedimiento indicado en el apartado 3.3.3, se obtuvieron los resultados de pH mediante el uso de phmetro. Los resultados están descritos en la tabla 11, la clasificación del suelo está realizado en base a United States Departament of Agriculture (2004) descrito en la tabla 1.

Tabla 11.Resultados de pH.

N° de afloramiento	pH	Temperatura (°C)	Clasificación
Afloramiento 1	6.2	21.2	Ligeramente ácido
Afloramiento 2	5.74	21.2	Moderadamente ácido
Afloramiento 3	6.29	21.2	Ligeramente ácido
Afloramiento 4	7.6	21.3	Ligeramente alcalino
Afloramiento 5	8.22	21.1	Moderadamente alcalino
Afloramiento 6	5.33	21.2	Fuertemente ácido
Afloramiento 7	6.82	21.2	Neutro
Afloramiento 8	6.78	21.3	Neutro
Afloramiento 9	7.28	21.3	Neutro
Afloramiento 10	9.22	21.3	Básico
Afloramiento 11	6.8	21.9	neutro

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

La tabla 11 nos indica una tendencia neutra en el 45% de las muestras, el 36% son suelos ácidos, y el 19% están divididos entre alcalinos y básicos. La mayoría de los suelos neutros están ubicados en la parte central de la zona de estudio por la vía que conecta Pucará con Zamora Huayco Alto, en cambio la mayoría de los suelos ácidos comprenden la zona Sur de estudio, por los barrios El Capulí y el sector de La Argelia.

4.5. Clasificación mecánica de los materiales.

Mediante la norma ASTM D4318-95 se determinó el índice de plasticidad aplicando lo descrito en el apartado 3.3.4, la tabla 12 muestra un ejemplo de cálculo del afloramiento los demás ejemplos se indican en el anexo I. La gráfica semi-logarítmica se muestra en la ilustración 26.

Tabla 12. Cálculo del Índice de Plasticidad.

AFLORAMIENTO 1						
Coordenadas:	X: 700433,96	Y: 9552043.03	Z: 2224			
Proyecto	Caracterización del grado de dispersión en arcillas de la zona Sur-Este de la cuenca sedimentaria de Loja, para determinar potencial de generación de procesos de piping.					
Localización	Via Argelia-Capulí	Norma	ASTM D 4318-95			
Autor:	Cristian Abad					
LÍMITE LÍQUIDO	GOLPES	PESO HM.	SECO	DE CAPS	w %	RESULTADO
	18	114.72	103.73	66.64	29.63	
	23	104.80	95.11	61.53	28.86	
	29	89.86	81.94	53.74	28.09	
	33	104.76	95.37	61.29	27.55	28.54
LÍMITE PLÁSTICO		58.98	58.80	57.61	15.13	15.13
		60.78	60.60	59.31	13.95	13.95
						14.54
RESULTADOS	LL = 29.00 % LP = 15.00 % IP = 14.00 %					

Fuente: Autor.
Elaboración: Autor

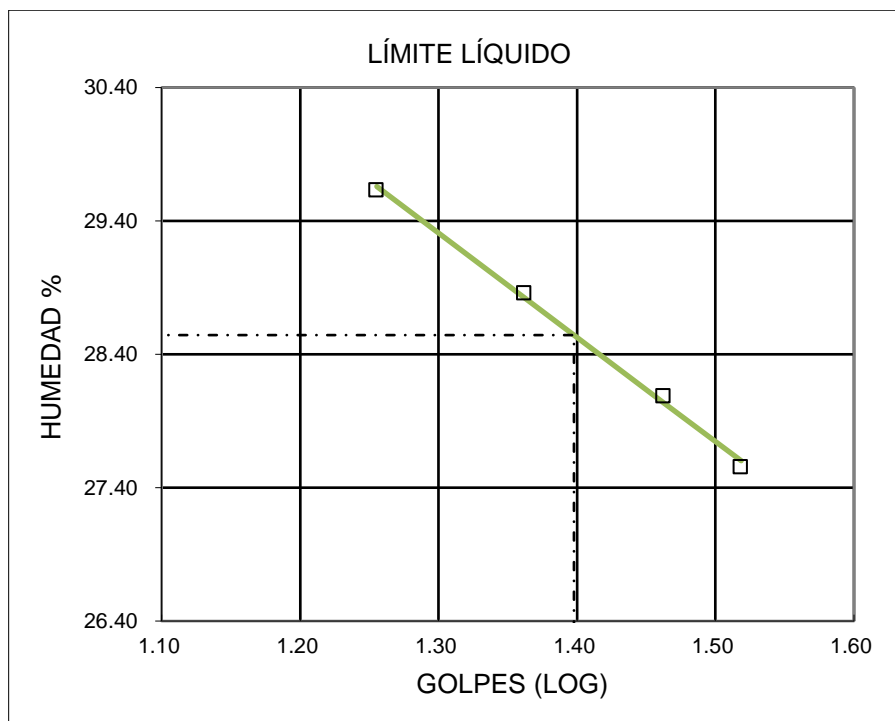


Ilustración 26. Gráfica de Casagrande para Límite Líquido.

Fuente: Autor
Elaboración: Autor.

Los resultados obtenidos de los 11 afloramientos se muestran en la tabla 13 y se clasifican según USCS descrito en la tabla 2, los resultados se grafican en el anexo II.

Tabla 13. Resultados de Índice de plasticidad.

N° de afloramiento	Índice de Plasticidad	Límite Líquido	Límite Plástico	Clasificación según USCS
Afloramiento 1	14	29	15	Arcilla inorgánica de baja plasticidad (CL)
Afloramiento 2	5	22	17	Arcilla inorgánica de baja plasticidad
Afloramiento 3	8	20	12	Arcilla inorgánica de baja plasticidad
Afloramiento 4	10	22	12	Arcilla inorgánica de baja plasticidad
Afloramiento 5	9	20	11	Arcilla inorgánica de baja plasticidad
Afloramiento 6	5	30	25	Arcilla orgánica de mediana plasticidad
Afloramiento 7	9	22	13	Arcilla inorgánica de baja plasticidad
Afloramiento 8	9	24	15	Arcilla inorgánica de baja plasticidad
Afloramiento 9	11	23	12	Arcilla inorgánica de baja plasticidad
Afloramiento 10	16	35	19	Arcilla inorgánica de mediana plasticidad
Afloramiento 11	10	24	14	Arcilla inorgánica de baja plasticidad

Fuente: Autor

Elaboración: Autor.

Los índices de plasticidad bajos indican que los suelos al menor incremento de humedad se transforman en semisólidos, es decir son sensibles a cambios de humedad, en cambio índices de plasticidad altos indica que para que este pase de un estado semisólido a líquido el contenido de agua agregada tiene que ser alta. La tabla 11 indica que el 82 % de los puntos son suelos con IP ligeramente plástico, esto aumenta el riesgo en presencia de agua, ya que son sensibles a la humedad.

4.6. Ensayo de Crumb.

Desarrollado según la norma ASTM D 6572-00, el procedimiento se describe en el apartado 3.3.5. Este ensayo no es aplicable para suelos con menos del 12% de una fracción más fina que 0,005 mm y con un índice de plasticidad menor e igual a 8; los puntos que no cumplen estos requisitos son los afloramientos 2,3 y 6.

La ilustración 27 muestra una comparación entre una misma muestra después de 6 horas en agua normal y agua destilada, el halo de dispersión fue más notorio en presencia de agua destilada, la ilustración se presenta en blanco y negro con el objetivo de tener una mejor apreciación.

Las tablas 14 y 15 muestran los resultados obtenidos en agua normal y en agua destilada; los valores en agua destilada muestran mayor tendencia a la dispersión que el agua normal, cabe recalcar que este ensayo puede verse limitado en presencia de caolinita en algunas ocasiones.

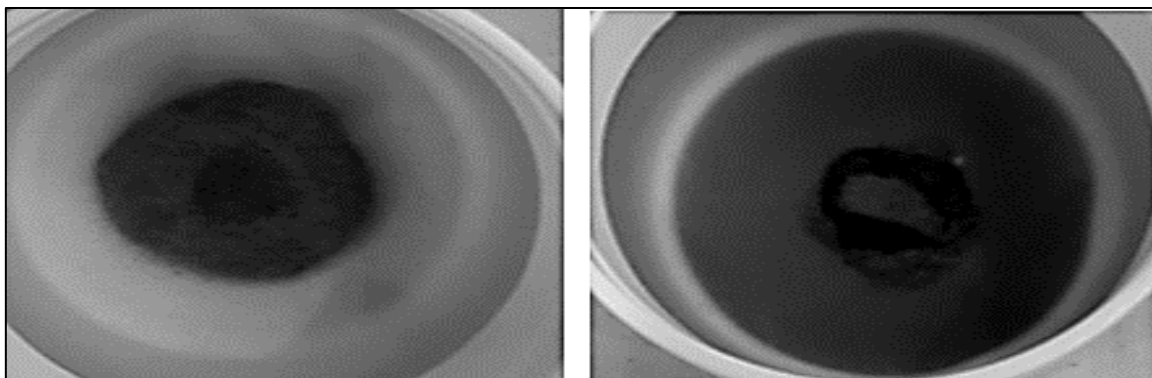


Ilustración 27. Comparación de una muestra en agua normal (izquierda) y agua destilada (derecha).

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Tabla 14. Resultados de Crumb en agua normal.

N° de afloramiento	Índice de plasticidad	Aplica para Crumb	ENSAYO CRUMB (NORMA USBR 5400-89)					
			AGUA					
			2 MINUTOS		1 HORA		6 HORAS	
			GRADO	°C	GRADO	°C	GRADO	°C
Afloramiento 1	14	Si	1	18	1	18	1	17
Afloramiento 2	5	No	-	-	-	-	-	-
Afloramiento 3	8	No	-	-	-	-	-	-
Afloramiento 4	10	Si	1	18	2	18	2	17
Afloramiento 5	9	Si	1	18	2	18	2	17
Afloramiento 6	5	No	-	-	-	-	-	-
Afloramiento 7	9	Si	2	18	3	18	4	17
Afloramiento 8	9	Si	1	18	2	18	2	17
Afloramiento 9	11	Si	1	18	2	18	2	17
Afloramiento 10	16	Si	1	18	2	18	3	17
Afloramiento 11	10	Si	1	18	2	18	2	17

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Tabla 15. Resultados de Crumb en agua destilada.

N° de afloramiento	Índice de plasticidad	Aplica para Crumb	ENSAYO CRUMB (NORMA USBR 5400-89)					
			AGUA DESTILADA					
			2 MINUTOS		1 HORA		6 HORAS	
			GRADO	°C	GRADO	°C	GRADO	°C
Afloramiento 1	14	Si	1	18	1	18	1	17
Afloramiento 2	5	No	-	-	-	-	-	-
Afloramiento 3	8	No	-	-	-	-	-	-
Afloramiento 4	10	Si	1	18	2	18	2	17
Afloramiento 5	9	Si	1	18	3	18	4	17
Afloramiento 6	5	No	-	-	-	-	-	-
Afloramiento 7	9	Si	2	18	3	18	4	17
Afloramiento 8	9	Si	2	18	3	18	4	17
Afloramiento 9	11	Si	1	18	2	18	2	17
Afloramiento 10	16	Si	1	18	2	18	4	17
Afloramiento 11	10	Si	1	18	2	18	2	17

Fuente: Autor.
Elaboración: Autor.

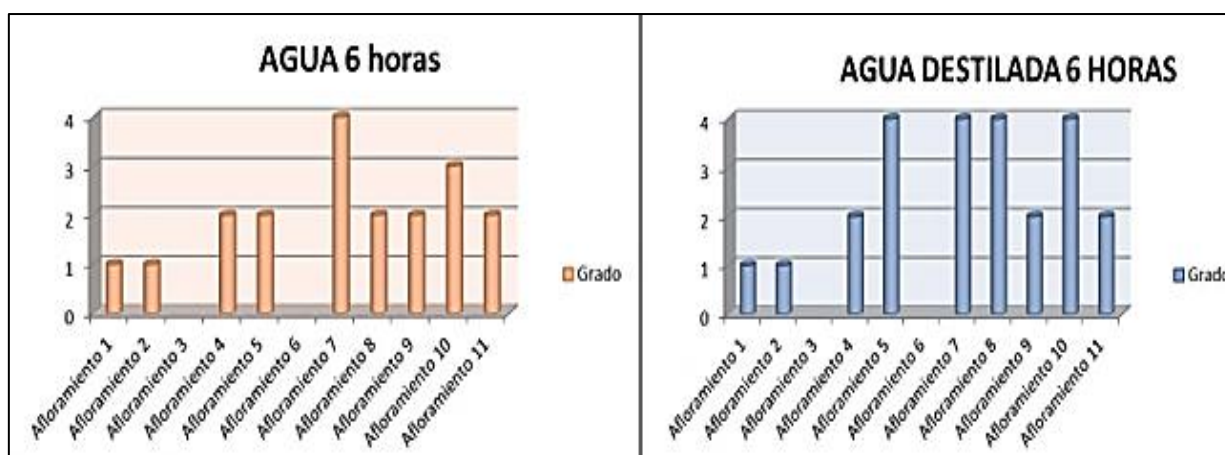


Ilustración 28. Comparación de Crumb en agua normal y agua destilada después de 6 horas.

Fuente: Autor.
Elaboración: Autor.

Tomando en cuenta los grados de dispersión descritos en la tabla 3 del apartado 3.3.5., se clasifica a los afloramientos, para poder clasificarlos correctamente se toma el valor más alto, los resultados se muestran en la tabla 16.

Tabla 16. Resultados de Crumb.

N° de afloramiento	Crumb en agua	Grado de dispersión según Crumb	Crumb en agua destilada	Grado de dispersión según crumb
Afloramiento 1	1	No Dispersivo	1	No Dispersivo
Afloramiento 4	2	Intermedio	2	Intermedio
Afloramiento 5	2	Intermedio	4	Muy Dispersivo
Afloramiento 7	4	Muy Dispersivo	4	Muy Dispersivo
Afloramiento 8	2	Intermedio	4	Muy Dispersivo
Afloramiento 9	2	Intermedio	2	Intermedio
Afloramiento 10	3	Dispersivo	4	Muy Dispersivo
Afloramiento 11	2	Intermedio	2	Intermedio

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

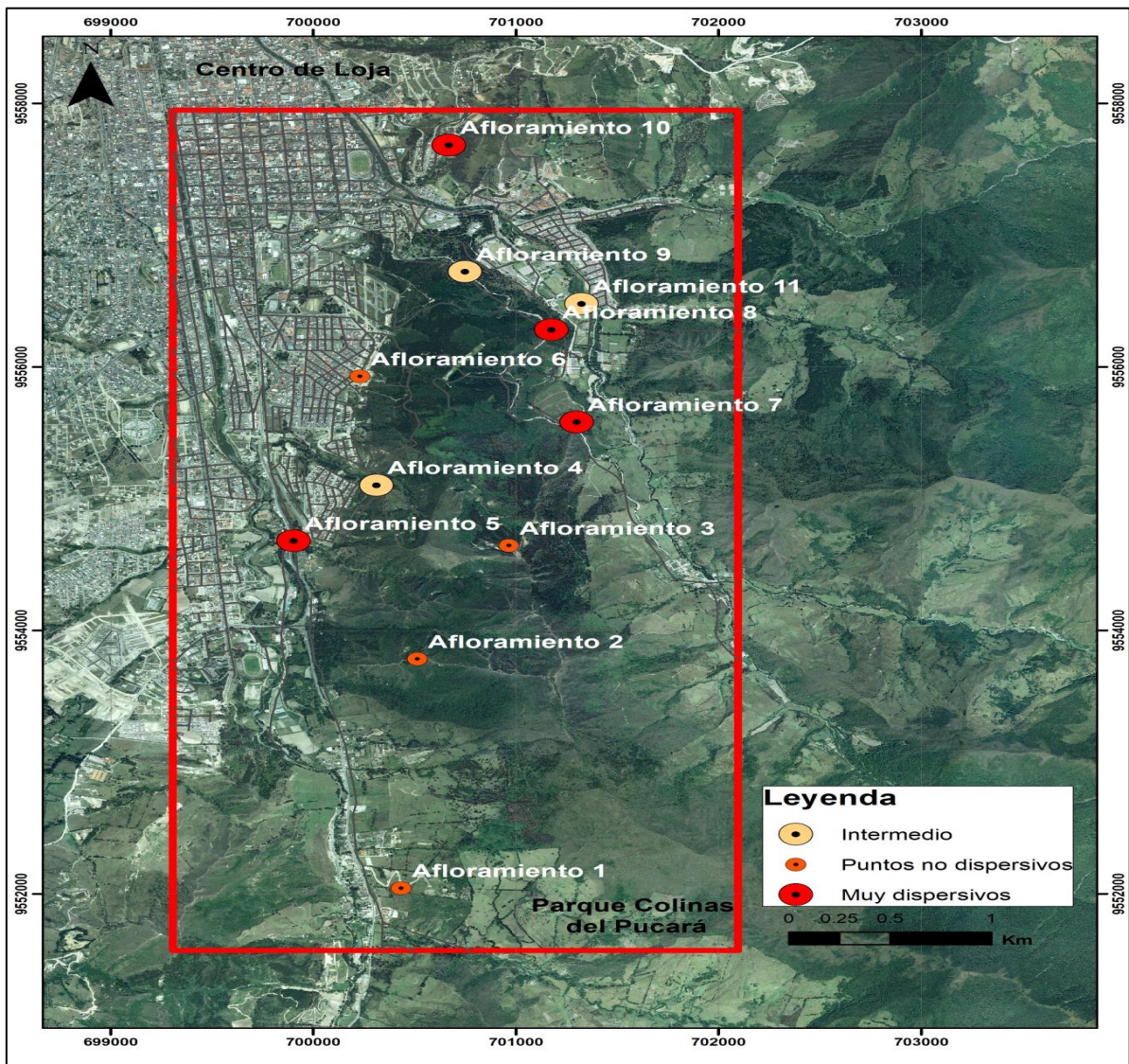


Ilustración 29. Resultados de dispersión según Crumb

Fuente: Autor

Elaboración: Autor.

Los afloramientos 5, 7, 8 y 10 se clasifican como suelos dispersivos, especialmente en presencia de agua destilada, en cambio el afloramiento 1 no presenta dispersividad en ninguno de los líquidos; los afloramientos 4,9 y 10 presentan un grado intermedio y por último los afloramientos 2, 3 y 6 no fueron analizados debido a que no cumplen con los requisitos, los resultados se muestran en la ilustración 29.

4.7. Ensayo de Doble Hidrómetro

El ensayo del Servicio de Conservación del Suelo o Ensayo del 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.

ASTM D 422-63

Es el ensayo común de hidrómetro, se usó el hidrómetro de 152 H, un aparato de agitación mecánica y como dispersante el hexámetafosfato de sodio. En este caso todos los afloramientos están conformados por partículas de arcilla a limo por lo que la cantidad de muestra a pasar el tamiz 10 (2 mm) es de 50 gramos como se indica en el apartado 3.3.6.

Factores de corrección: Para obtener una lectura correcta en superficie con el hidrómetro 152 H se usó el valor corriente de corrección por menisco (C_m) que es 1,0 gr/lit. La corrección por temperatura (C_t) se calculó de una solución con agua destilada (875 ml) y agente dispersante (125 ml). Con ayuda del baño de agua maría se tomó dos lecturas de hidrómetro suponiendo la temperatura más baja (15 °C) y más alta (25 °C), posteriormente se interpolo los valores para las demás temperaturas suponiendo una relación lineal entre el aumento de temperatura y la lectura del hidrómetro. Los resultados se muestran en la tabla 17.

La corrección por defloculante (C_d) se calcula aplicando la fórmula 5 del apartado 3.3.5, este valor se usará para todos los puntos.

$$C_d = 3' + 1 + 1,9 = 5,9$$

τ' = 3 (lectura de hidrómetro)

C_m = 1 gr/lit

C_t = 1,9 gr/lit (en función de la temperatura).

$T^{\circ}C$ = 21 tomada de la solución

Tabla 17. Valores de Ct.

Ct	
Temp.	Hidrómetro 152 H
	Concentración
°C	(g/litro) *
15	-0,2
16	0,1
17	0,4
18	0,6
19	1
20	1,5
21	1,9
22	2,3
23	2,7
24	3,2
25	3,8

Fuente: Autor
 Elaboración: Autor.

En la tabla 18 se muestra un ejemplo de cálculo del afloramiento 1 (X: 700433; Y: 9552043; Z: 2224)

Tabla 18. Ejemplo de cálculo norma ASTM 422 - Afloramiento 1.

Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	T°C	Ct	Rc	P	Rcl=R	L (cm)	K	D (mm)
2	25	20,8	1,82	20,92	45,06	26	12,0	0,0149	0,036
5	23	20,8	1,82	18,92	40,75	23	12,5	0,0149	0,023
15	21	20,8	1,82	16,92	36,45	21	12,9	0,0149	0,014
30	19	21,1	1,94	15,04	32,40	19	13,2	0,0148	0,010
60	17	21,1	1,94	13,04	28,09	17	13,5	0,0148	0,007
250	13	21,2	1,98	9,08	19,56	13	14,2	0,0148	0,004
1440	9	21,5	2,1	5,2	11,20	9	14,8	0,0147	0,001

Fuente: Autor
 Elaboración: Autor

Posteriormente se grafica los resultados usando P (porcentaje que pasa) en el eje de las ordenadas y D (diámetro de la partícula en mm) en las abscisas. La ilustración 30 indica cómo se grafica y en ese caso el porcentaje menor a 0,005 mm es igual a 24%, este valor se usará posteriormente para el cálculo de la dispersión.

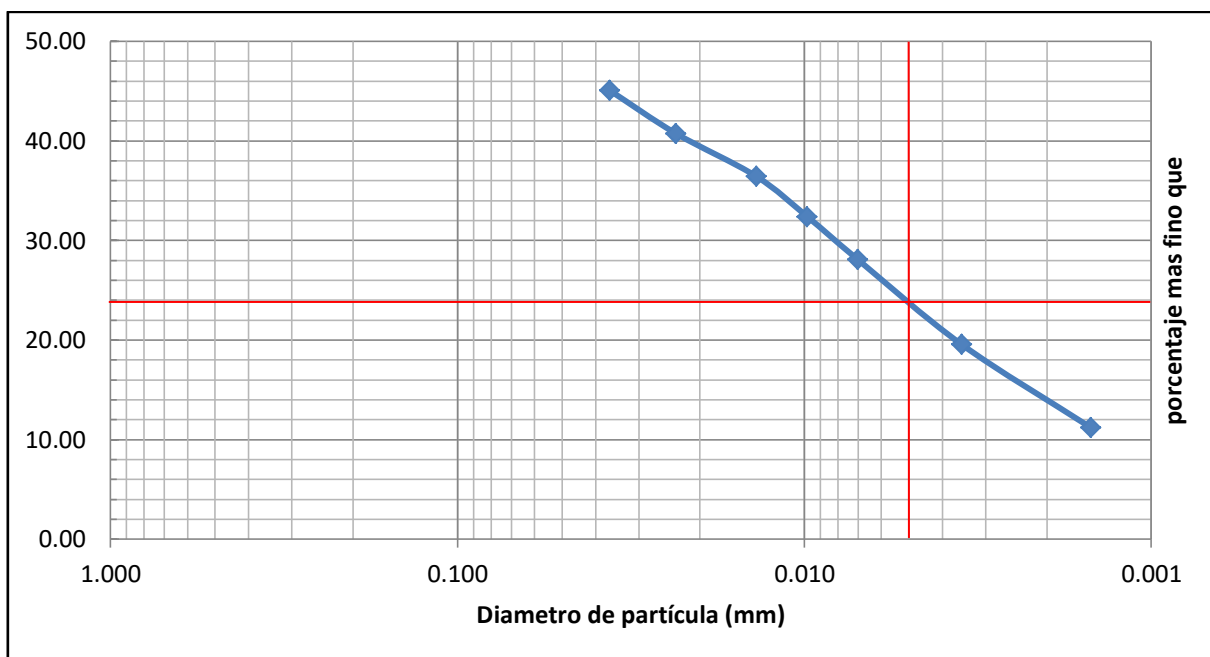


Ilustración 30. Gráfica de distribución granulométrica.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor.

La tabla 19 muestra los resultados obtenidos en las 11 muestras y también indica que todos los puntos son aptos para el ensayo ASTM D4221 debido a que poseen 12% más fino que 0.005 mm y un índice de plasticidad mayor a 4.

Tabla 19. Resultado de Hidrometría norma ASTM D422 y análisis.

N° de afloramiento	Resultado norma ASTM D 422 (%)	Índice de Plasticidad	Cumple para norma ASTM D 421
Afloramiento 1	24	14	SI
Afloramiento 2	25	5	SI
Afloramiento 3	31	8	SI
Afloramiento 4	23	10	SI
Afloramiento 5	24	9	SI
Afloramiento 6	38	5	SI
Afloramiento 7	28	9	SI
Afloramiento 8	28	9	SI
Afloramiento 9	36	11	SI
Afloramiento 10	45	16	SI
Afloramiento 11	24	10	SI

Fuente: Autor

Elaboración: Autor.

ASTM D 4221-99

Este es el método estándar de doble hidrómetro, el procedimiento es parecido, únicamente se excluye el uso de dispersante y agitación mecánica, y se añade el uso de una bomba de vacío. Las 11 muestras cumplen con los requisitos como se muestra en la tabla 19. El procedimiento se lo realiza de acuerdo a lo explicado en el apartado 3.3.6.

Al quitar el defloculante obtenemos la corrección por temperatura (Ct), mediante la lectura del hidrómetro en agua destilada tomando el valor más alto y el más bajo e interpolando los resultados, esto valores se muestra en la tabla 20. El valor de corrección por menisco (Cm) sigue siendo 1 gr/lt ya que es el valor corriente para el hidrómetro de 152 H que es el hidrómetro que se usó en el ensayo.

Una vez teniendo estos resultados se procede a realizar el ensayo siguiendo la norma. En la tabla 21 se muestra un ejemplo de cálculo del afloramiento 1 (X: 700433; Y: 9552043; Z: 2224).

Tabla 20. Valores de Ct en agua destilada.

Ct	
Temp.	Hidrómetro lectura en agua
	Concentración
°C	(g/litro) *
15	0
16	0,1
17	0,2
18	0,3
19	0,4
20	0,5
21	0,6
22	0,7
23	0,8
24	0,9
25	1

Fuente: Autor
Elaboración: Autor.

Tabla 21. Resultados para el Afloramiento 1 del ensayo de hidrómetro norma ASTM 4221.

Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	% que pasa (P)	L (cm)	K	D (mm)
2	12	21,8	0,68	13	28,00	14,2	0,0147	0,039
5	11	21,8	0,68	12	25,85	14,3	0,0147	0,025
15	10	21,8	0,68	11	23,69	14,5	0,0147	0,014
30	9	21,8	0,68	10	21,54	14,7	0,0147	0,010
60	7	21,8	0,68	8	17,23	15,0	0,0147	0,007
250	4	21,9	0,69	5	10,77	15,5	0,0147	0,004
1440	0	21,4	0,64	1	2,15	16,1	0,0147	0,002

Fuente: Autor
Elaboración: Autor.

Posteriormente se gráfica los resultados usando P (porcentaje que pasa) y D (diámetro de la partícula en mm), la ilustración 31 indica cómo se gráfica y en ese caso el porcentaje menor a 0,005 mm es igual a 15%, este es el resultado que posteriormente se usara para el cálculo de la dispersión.

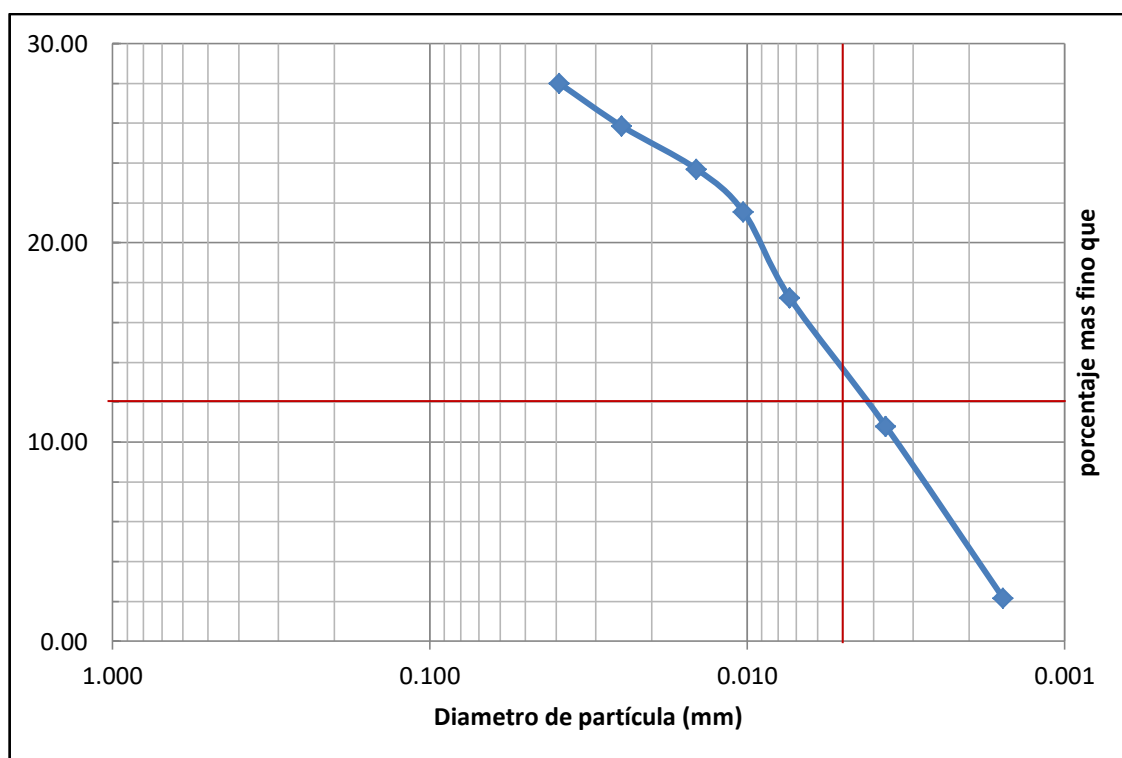


Ilustración 31. Gráfica de distribución granulométrica afloramiento 1 norma ASTM 4221.

Fuente: Autor
Elaboración: Autor.

La tabla 22 muestra los resultados obtenidos en las 11 muestras analizadas, el valor más alto corresponde a los afloramientos 5, 6,7 y 10 y el valor más bajo lo tiene el afloramiento 4.

Tabla 22. Resultados de dispersión norma ASTM 4221.

N° de afloramiento	Resultado norma ASTM D 4221 (%)
Afloramiento 1	14
Afloramiento 2	10
Afloramiento 3	13
Afloramiento 4	5
Afloramiento 5	16
Afloramiento 6	16
Afloramiento 7	16
Afloramiento 8	11
Afloramiento 9	14
Afloramiento 10	16
Afloramiento 11	11

Fuente: Autor
Elaboración: Autor.

Porcentaje de Dispersión.

Se realiza usando la fórmula 10 descrita en el apartado 3.3.6. y se clasifica usando los criterios de la tabla 7. Estos resultados se muestran en la tabla 23 y se grafican en la ilustración 32.

Tabla 23. Resultados de Doble Hidrómetro.

N° de afloramiento	Resultado norma ASTM D 422 (%)	Resultado norma ASTM D 4221 (%)	Valor de dispersión	Clasificación
Afloramiento 1	24	14	56	Dispersivo
Afloramiento 2	25	10	40	Intermedio
Afloramiento 3	31	14	39.9	Intermedio
Afloramiento 4	23	5	20	No dispersivo
Afloramiento 5	24	17	59.26	Dispersivo
Afloramiento 6	38	17	40	Intermedio
Afloramiento 7	28	15	57.14	Dispersivo
Afloramiento 8	28	11	36.67	Intermedio
Afloramiento 9	36	15	37.84	Intermedio
Afloramiento 10	45	17	34.78	Intermedio
Afloramiento 11	24	11	45,83	Intermedio

Fuente: Autor
Elaboración: Autor

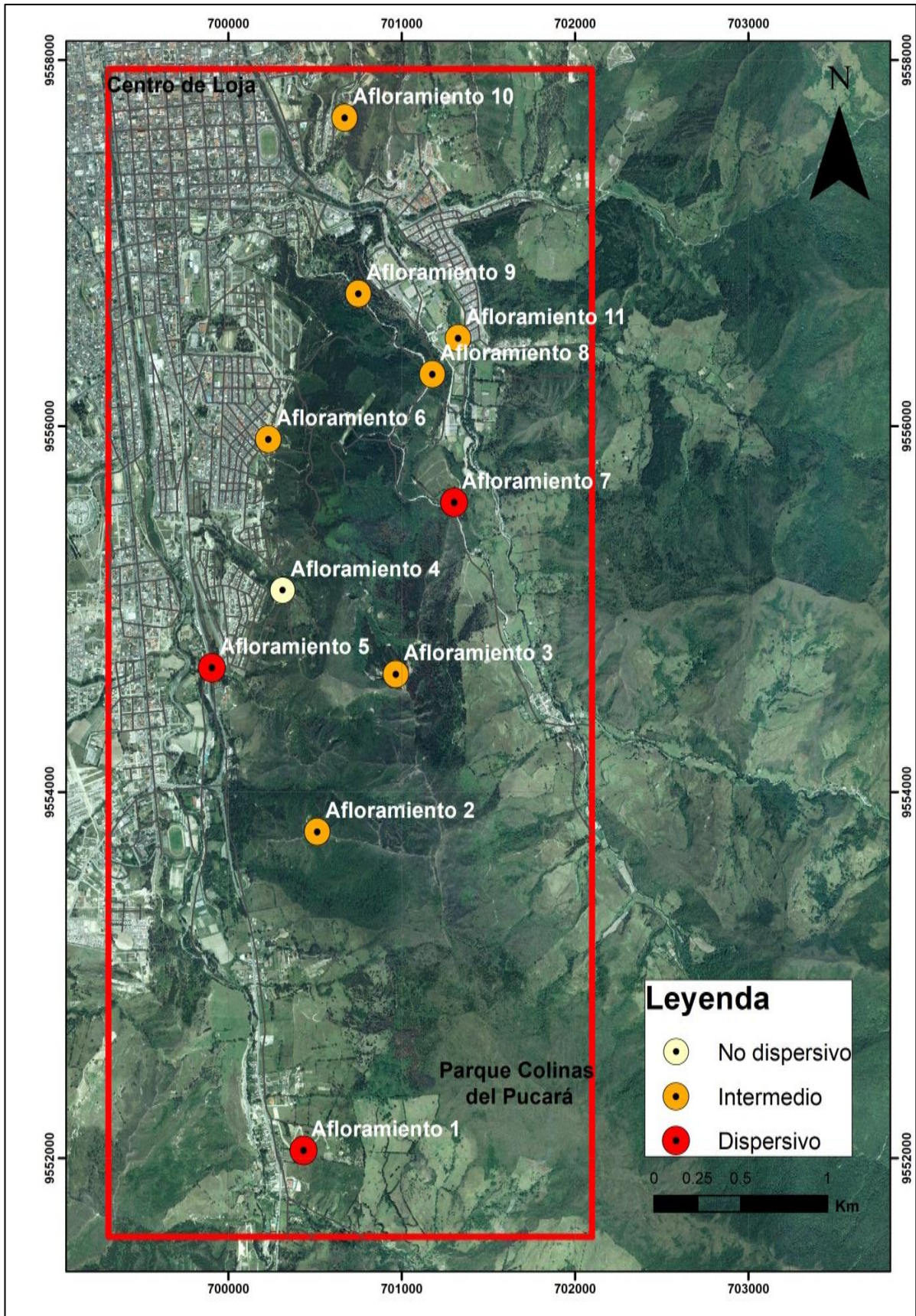


Ilustración 32. Resultados Doble Hidrómetro

Fuente: Autor

Elaboración: Autor.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

En campo se reconoció estructuras asociadas a dispersión, que corresponden a *gullies* según lo indicado por Ingles & Metcalf (1972) y Fell y otros, (1992), mostrado en la ilustración 33.



Ilustración 33. Estructuras de dispersión gullies, sector Yahuaracuna.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor.

Además, se observó la erosión tipo túnel (*piping*) como muestra la ilustración 34. Las estructuras de dispersión son controladas por el índice de dispersión y contenido de sodio; producto de un conjunto de procesos hidromorfológicos que evolucionan por colapso hacia hoyos o agujeros de distintos diámetros.



Ilustración 34. Estructuras de dispersión *piping*, sector El Capuli.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Influencia del pH en la dispersividad.

La influencia que tiene el pH del suelo en las características dispersivas de las arcillas en algunos casos es motivo de análisis, existen autores que le dan importancia y otros que la descartan totalmente.

Holmgren & Flanagan (1977) indican que el pH influye en menor medida en la dispersividad. Brinkman (1988) indica que la presencia de sodio está directamente relacionada con el elevado pH. Chorom, Rengasamy & Murray (1994), indican que los suelos sódicos varían ampliamente en sus valores de pH, generalmente entre 4 y 10 y que el pH influye en la carga neta negativa de las partículas de suelo, dependiendo de la mineralogía de arcilla y el contenido de óxido, los suelos pueden exhibir una carga negativa o positiva a pH alto o bajo, respectivamente, Chorom y otros, (1994) muestran claramente que el pH afecta la dispersión cambiando la carga neta negativa, esto es importante porque al tener una carga negativa las partículas se repelen y estimula el proceso de dispersión, la carga neta negativa aumenta con el aumento de pH.

Tabla 24. Comparación de pH y Crumb.

N° de afloramiento	pH	Clasificación	Crumb en agua	Grado de dispersión según Crumb	Crumb en agua destilada	Grado de dispersión según Crumb
Afloramiento 1	6.2	Ligeramente ácido	1	No Dispersivo	1	No Dispersivo
Afloramiento 2	5.74	Moderadamente ácido	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
Afloramiento 3	6.29	Ligeramente ácido	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
Afloramiento 4	7.6	Ligeramente alcalino	2	Intermedio	2	Intermedio
Afloramiento 5	8.22	Moderadamente alcalino	2	Intermedio	4	Muy Dispersivo
Afloramiento 6	5.33	Fuertemente ácido	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
Afloramiento 7	6.82	Neutro	4	Muy Dispersivo	4	Muy Dispersivo
Afloramiento 8	6.78	Neutro	2	Intermedio	4	Muy Dispersivo
Afloramiento 9	7.28	Neutro	2	Intermedio	2	Intermedio
Afloramiento 10	9.22	Básico	3	Dispersivo	4	Muy Dispersivo
Afloramiento 11	6.8	neutro	2	Intermedio	2	Intermedio

Fuente: Autor.
Elaboración: Autor.

La tabla 24 muestra una relación entre pH y Crumb. Al comparar el pH con agua normal, muestra que en valores de pH ácidos no son suelos dispersivos o no aplican para el ensayo, casi todos los valores neutros son de grado intermedio de dispersión y valores mayores a 7 son intermedios o dispersivos. En cambio, el pH comparado con el ensayo de Crumb en agua destilada indica que valores ácidos no son dispersivos o no aplican y los valores superiores a 7 son intermedios o dispersivos.

El pH obtenido en relación con el método de doble hidrómetro se muestra en la tabla 25, según la tabla la dispersión no es proporcional al pH, materiales dispersivos se encuentran en pH ácidos, básicos y neutros.

Mediante el análisis estadístico usando el coeficiente de correlación de Karl Pearson entre el pH y el valor de Crumb en agua normal se obtuvo un valor de 0.67 clasificada como correlación positiva moderada y el coeficiente entre el pH y el valor de Crumb en agua destilada da un resultado de 0.75 clasificada como correlación positiva alta.

Tabla 25. Comparación entre Doble Hidrómetro y pH.

N° de afloramiento	Valor de dispersión	Clasificación	pH	Clasificación
Afloramiento 1	56	Dispersivo	6.2	Ligeramente ácido
Afloramiento 2	40	Intermedio	5.74	Moderadamente ácido
Afloramiento 3	39.9	Intermedio	6.29	Ligeramente ácido
Afloramiento 4	20	No dispersivo	7.6	Ligeramente alcalino
Afloramiento 5	59.26	Dispersivo	8.22	Moderadamente alcalino
Afloramiento 6	40	Intermedio	5.33	Fuertemente ácido
Afloramiento 7	57.14	Dispersivo	6.82	Neutro
Afloramiento 8	36.67	Intermedio	6.78	Neutro
Afloramiento 9	37.84	Intermedio	7.28	Neutro
Afloramiento 10	34.78	Intermedio	9.22	Básico
Afloramiento 11	45,83	Intermedio	6.8	neutro

Fuente: Autor.
Elaboración: Autor.

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

Es especular afirmar un origen determinado de las arcillas dispersivas, únicamente se conoce que poseen un alto contenido de sodio. Pero a pesar de la ambigüedad que genera su origen, tomaremos lo mencionado por Sherard (1977) que las relaciona con ambientes aluviales y continentales.

El origen de la cuenca de Loja es descrito por Hungerbühler (2002) que 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, también describe su origen Kennerly (1973) que indica que las facies de la cuenca son típicas de un ambiente de abanico aluvial; esto demuestra que no sería algo singular encontrar material dispersivo en la cuenca de Loja.

Sobre un origen aluvial en la cuenca de Loja, tenemos el ambiente marino somero donde se deposita la formación San Cayetano en el Mioceno Tardío, posteriormente los terrenos se levantan por orogénesis e hídricamente se forman ríos encajados los cuales comienzan con una etapa de sedimentación en la cuenca, esa sedimentación genera la formación Quillollaco que es la portadora de estructuras de dispersión encontradas dentro de la cuenca.

Sobre un origen continental en la cuenca de Loja, Tucker (1981) indica que la floculación de las arcillas depende de la salinidad, destacando zonas cercanas a la costa, debido a que con frecuencia en estas zonas se detecta caolinita dispersiva, lo cual indica que la floculación no es exclusiva de la montmorillonita, este modelo se acopla al origen de cuenca de Loja mediante la zona de transición propuesto por Hungerbühler (2002).

La montmorillonita es el mineral más relacionado a dispersión; es producto de una lixiviación intermedia y de 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).

Sin embargo, la montmorillonita no es el único mineral asociado a dispersión, Fell y otros, (1992) indican que la caolinita e illita también son dispersivas, corroborando los resultados obtenidos en difracción de rayos X, donde se obtuvo como minerales predominantes a la illita, caolinita y albita indicado en el apartado 4.3. La albita es una plagioclasa sódica que se adapta al modelo de dispersividad ya que posiblemente aporta el sodio al suelo para generar dispersión.

Pérez (2017) realiza una caracterización hidrogeológica de la cuenca de Loja y determina en su estudio la presencia de agua bicarbonatada sódica en el sector de Los Faiques y sódica mixta en la Argelia, sin embargo, en este estudio se le atribuye un origen antropogénico a la presencia de sodio, en cambio aquí se sugiere que la presencia de sodio en la cuenca se debería principalmente a la presencia de albita.

Soto y otros, (2017) en su estudio sobre la caracterización de los deslizamientos en la cuenca de Loja indican que los la mayoría de los deslizamientos encontrados en la cuenca, en su base poseen illita y caolinita; la dispersividad genera lavado de material lo cual produce desestabilización en el terreno y pueden ocasionar deslizamientos. En los 11 puntos analizados en la cuenca Sur-Este de Loja se observó que las estructuras asociadas a dispersión en su mayoría se presentaron en el bloque de arcilla de tonalidad gris.

Moriwaki, Yoshiharu, & Mitchell, (1977) usa el término "*slaking*" que traducido significa apagado, para definir la desintegración de materiales cuando se sumergen en un fluido, los resultados mostrados indican una mayor velocidad de desintegración en caolinita e illita, mientras que la montmorillonita presentó un aumento de volumen. Este estudio fue independiente del contenido de sodio o calcio, debido a que la desintegración en material sumergido en un fluido se presentó en ambas condiciones.

Índice de plasticidad relacionado con dispersividad.

Mitchell (1993) indica que las arcillas dispersivas han sido principalmente de baja a media plasticidad (CL) y contenían montmorillonita y caolinita. Bell y Maud (2000) coinciden con esta opinión, es decir, los suelos más susceptibles no son aquellos con una alta plasticidad, pero aquellos con fracciones de tamaño de arcilla limitadas son suficientes solo para dar plasticidad de baja a media.

Esto guarda relación con los puntos obtenidos ya que todos poseen una plasticidad de baja a media, en la tabla 26 se comparan los valores. Sherard (1972) indica que la mayor plasticidad probablemente se relaciona con una mayor resistencia a la erosión y una mayor probabilidad de que se produzcan grietas.

Tabla 26. Comparación entre índice de plasticidad con Crumb y Doble Hidrómetro.

N° de afloramiento	Clasificación según Crumb	Clasificación según Doble Hidrómetro	IP	Descripción
Afloramiento 1	No Dispersivo	Dispersivo	14	Arcilla inorgánica de baja plasticidad
Afloramiento 2	No aplica	Intermedio	5	Arcilla inorgánica de baja plasticidad
Afloramiento 3	No aplica	Intermedio	8	Arcilla inorgánica de baja plasticidad
Afloramiento 4	Intermedio	No dispersivo	10	Arcilla inorgánica de baja plasticidad
Afloramiento 5	Muy Dispersivo	Dispersivo	9	Arcilla inorgánica de baja plasticidad
Afloramiento 6	No aplica	Intermedio	5	Arcilla orgánica de mediana plasticidad
Afloramiento 7	Muy Dispersivo	Dispersivo	9	Arcilla inorgánica de baja plasticidad
Afloramiento 8	Muy Dispersivo	Intermedio	9	Arcilla inorgánica de baja plasticidad
Afloramiento 9	Intermedio	Intermedio	11	Arcilla inorgánica de baja plasticidad
Afloramiento 10	Muy Dispersivo	Intermedio	16	Arcilla inorgánica de mediana plasticidad
Afloramiento 11	Intermedio	Intermedio	10	Arcilla inorgánica de baja plasticidad

Fuente: Autor
Elaboración: Autor.

Confiabilidad en resultados de ensayos de dispersividad.

Ensayo de Crumb,

Se hizo en agua destilada y en agua normal para obtener una mejor confiabilidad de los resultados. Este ensayo es únicamente cualitativo y se presta para errores, es por eso que actualmente se proponen ensayos modificados para analizar el hinchamiento del cubo y hacer un perfil del cambio de volumen. A pesar de eso, este ensayo es usado con frecuencia como indicador de presencia de dispersividad.

Los resultados indican diferencias entre el agua normal y el agua destilada, siendo más propensas a dispersarse en agua destilada, la zona central la zona central del polígono presenta mayores índices de dispersividad, por lo tanto debe ser evaluada.

En agua normal los puntos que presentan alta dispersividad son el afloramiento 7 ubicado en la vía Zamora Huayco Alto-Pucará y el afloramiento 10 ubicado Los Faiques. Esto guarda relación con los resultados de agua destilada en donde, además también presentan dispersión el afloramiento 5 ubicado frente a la lubricadora Lubramatic cerca a la Argelia y el afloramiento 8 ubicado en la vía Zamora Huayco Alto-Pucará. Esto muestra el halo de

dispersión se encuentra ubicado por el sector Pucará siendo esta según Crumb la zona de riesgo.

Ensayo de Doble Hidrómetro.

Los resultados obtenidos muestran tendencia a dispersión en casi todos los afloramientos, el único punto que no presenta dispersividad alguna es el afloramiento 4 ubicado en el barrio El Rosal; los afloramientos 2, 3, 6, 8, 9, 10 y 11 presentan una dispersividad intermedia y los afloramientos 1, 5 y 7 son dispersivos. En este caso la presencia de dispersión se extiende a lo largo del polígono de investigación, la zona sur y central presentan valores altos de dispersión.

La ilustración 35 muestran una comparación entre el ensayo estándar de hidrómetro norma ASTM D 422-63 y el ensayo de hidrómetro sin dispersante norma ASTM 4221-69, la diferencia es notable y el valor de la dispersión es la diferencia entre estos dos valores.

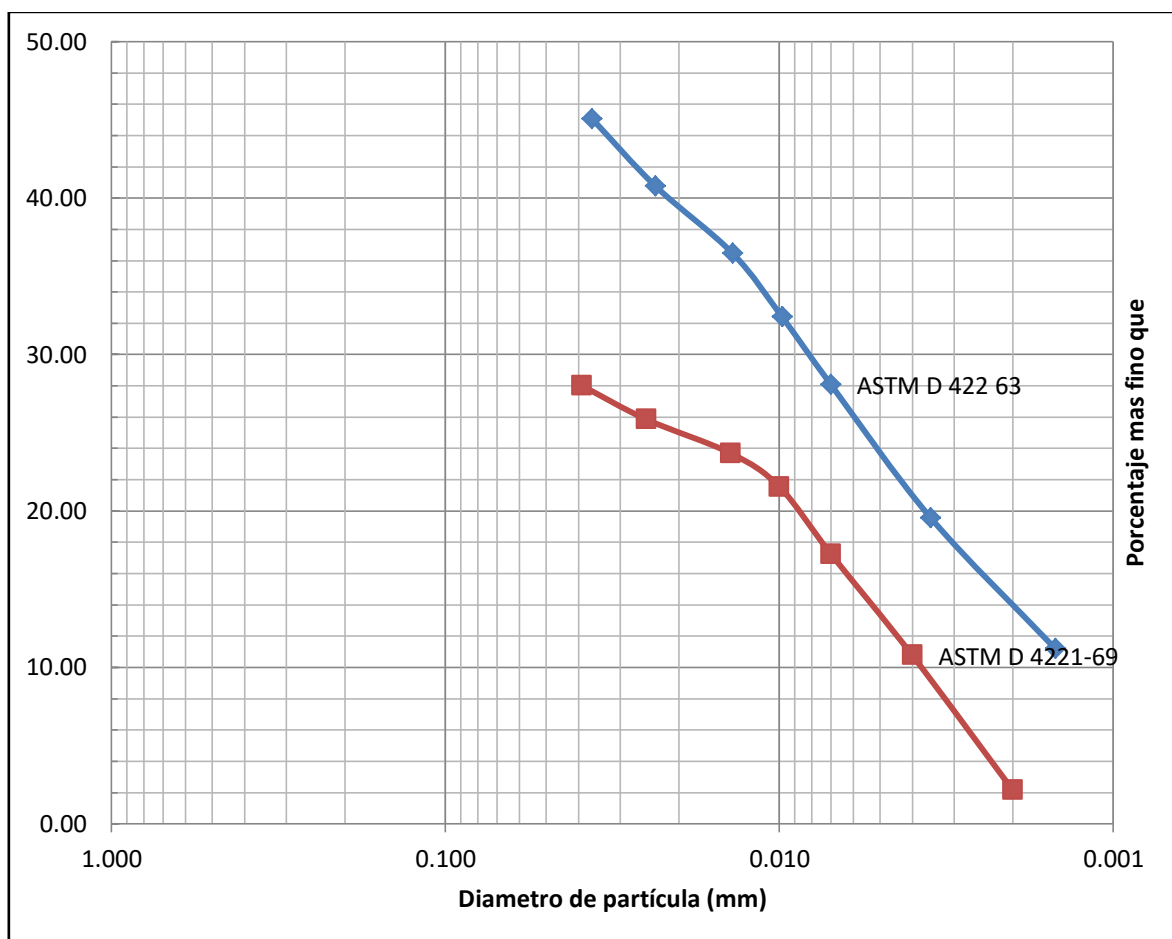


Ilustración 35. Comparación entre ensayo estándar de hidrómetro e hidrómetro sin dispersante.
Fuente: Autor
Elaboración: Autor

Correlación entre Ensayos de Dispersividad.

En la tabla 27 se encuentra una correlación de todos los valores obtenidos en el 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. Los puntos destacados fueron el afloramiento 1, 5, 7, 8 y 10.

Tabla 27. Correlación de valores obtenidos en el trabajo.

N° de afloramiento	pH	Clasifi.	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
Afloramiento 1	6.2	Ácido	14	1	No Dispersivo	1	No Dispersivo	56.0	Dispersivo
Afloramiento 2	5.74	Ácido	5	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	40.0	Intermedio
Afloramiento 3	6.29	Ácido	8	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	39.9	Intermedio
Afloramiento 4	7.6	Neutro	10	2	Intermedio	2	Intermedio	20.0	No dispersivo
Afloramiento 5	8.22	Básico	9	2	Intermedio	4	Muy Dispersivo	59.26	Dispersivo
Afloramiento 6	5.33	Ácido	5	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	40.0	Intermedio
Afloramiento 7	6.82	Neutro	9	4	Muy Dispersivo	4	Muy Dispersivo	57.1	Dispersivo
Afloramiento 8	6.78	Neutro	9	2	Intermedio	4	Muy Dispersivo	36.6	Intermedio
Afloramiento 9	7.28	Neutro	11	2	Intermedio	2	Intermedio	37.8	Intermedio
Afloramiento 10	9.22	Alcalino	16	3	Dispersivo	4	Muy Dispersivo	34.7	Intermedio
Afloramiento 11	6.8	Neutro	10	2	Intermedio	2	Intermedio	45,8	Intermedio

Fuente: Autor

Elaboración: Autor.

Efecto de la lluvia en la presencia de piping.

Hay varias diferencias importantes en el potencial de erosión por lluvia del suelo dispersivo y no dispersivo, la erosión puede ocurrir en masas de suelo cohesivo, a menudo en conjunción con erosión dispersiva. Dos causas de la defloculación son el reemplazo del aire atrapado por el agua y las tensiones de corte internas causadas por el hinchamiento (Haliburton, Petry, & Hayden, 1975). Un estudio que comparó el comportamiento del laboratorio con situaciones de campo (Emerson, 1964) mostró que cuando se trata de

caolinita el suelo se mojó lentamente desde la superficie, no se aplacó a ninguna profundidad; pero cuando se mojó rápidamente por una lluvia intensa se aplaco a una profundidad apreciable. En el primer caso, el agua en fase de vapor entró en el subsuelo, permitiendo que el aire se disperse, en el segundo caso el agua se introdujo rápidamente y provoco defloculación.

Otro estudio (Huddleston & Lynch, 1975) describe el desarrollo de la erosión tipo *piping* en taludes con gran pendiente, no vegetativos y relleno de arcilla dispersiva, cuando hubo fuertes lluvias después de una sequía. Vertientes naturales en suelos no dispersivos, normalmente cubiertos de vegetación y que contienen materia orgánica en la capa superior del suelo muestran poca erosión. Los suelos dispersivos generalmente no están presentes en capa superior de taludes naturales debido al proceso de eluviación, que es el movimiento de las partículas de arcilla hacia abajo en el perfil del suelo. En algunos suelos la dispersión clasificada por pruebas de laboratorio no puede representar erosión por lluvia en taludes de vegetación o corte pendientes más severas que para suelos no dispersivos, debido al potencial de fisuración, la tasa de hinchazón para cerrar las grietas, las condiciones climáticas o la velocidad a la que se aplica la coloidal las partículas entran en suspensión (Sherard, 1972).

El *piping* generalmente ocurre donde la precipitación anual es mayor de 15 pulgadas (381 mm), pero bajo algunas circunstancias que permiten la denudación de la superficie de la tierra y el subsiguiente agrietamiento del subsuelo. Aparentemente de mucha mayor importancia que la lluvia anual total es la intensidad y la duración de la precipitación, y si un protector vegetativo la cubierta existe. Según datos del INAMHI las precipitaciones dentro de la ciudad se encuentra en los 1096 mm de lluvia anuales, siendo los meses más lluviosos diciembre, enero, febrero, marzo y abril, Loja posee valores de precipitación intermedios, las lluvias aceleran el crecimiento de estructuras de dispersión.

Consideraciones Ingenieriles.

Los estudios señalan que el reconocimiento temprano e identificación de suelos arcillosos dispersivos es importante. Los problemas que causan pueden resultar repentinos y catastróficos. Para evitar serios problemas y utilizar adecuadamente los materiales de construcción, la posible existencia de los suelos debe considerarse en las primeras etapas de investigación.

Cuando se encuentran suelos dispersivos durante la exploración, se pueden tomar decisiones para buscar materiales alternativos o proceder con disposiciones de ingeniería para tratar con las propiedades dispersivas.

Diseño y medidas de construcción.

Casi todas las fallas debido a la dispersividad se deben a que los suelos no poseen filtros y todas las fallas fueron causadas por una filtración concentrada inicial. Las vías de filtración pueden ser causadas por grietas debidas a desecación, asentamiento diferencial, asentamiento de saturación o fracturación hidráulica.

Los filtros de arena pueden controlar con eficacia y seguridad las fugas ya sean construidos con arcilla dispersiva o no dispersiva. Al sellar y filtrar una fuga en arcilla dispersiva, el filtro no puede detener las partículas coloidales en suspensión, aunque las partículas de tamaño del limo no pueden ingresar al filtro de arena y se retiene en el canal de fuga aguas arriba del filtro, y gradualmente sellan la fuga.

Sherard (1972) afirma que los filtros de arena o arena grava con $D_{15} = 0.5$ mm o más pequeño controlará y sellará de manera segura las fugas concentradas a través 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. Para arcillas que tienen una distribución de tamaño de partícula similar, ya sea dispersiva o no dispersiva, requieren los mismos filtros.

Dónde:

D_{15} = tamaño de partícula en el que el 15 por ciento es más pequeño, por la masa seca del suelo

d_{85} = tamaño de partícula del suelo base del cual el 85 por ciento es más pequeño, por la masa seca del suelo

El filtro no deber ser cohesivo para ser efectivo cuando se formen grietas. Si no es así, el filtro podría no proteger el núcleo agrietado. Se pueden usar criterios de diseño similares si se usa un geotextil para el filtro.

Estabilización de los suelos dispersivos.

Con esto se elimina o reduce la dispersividad del suelo, se puede usar una estabilización química, que sustituye los cationes inestables de sodio por cationes estables de calcio, magnesio y aluminio. Actualmente lo más usado se detalla a continuación:

- Sulfato de Aluminio Hidratado ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$).

Ouhadi y Goodarzi (2006) usa arcilla bentonita, mediante ensayos químicos y sulfato de sodio como dispersante provoca que la bentonita sea muy dispersiva; un correcto análisis químico indicó que el enriquecimiento de la bentonita con cationes de Sodio, suspendidos en el agua existente en los poros, y sujetos eléctricamente a las partículas de arcilla. Posteriormente se lo somete a un intercambio catiónico mediante la adición de sulfato de aluminio hidratado, induciendo una sustitución de los cationes de Sodio por cationes de Aluminio.

Según sus resultados la adición de un 1,5% de sulfato de aluminio hidratado estabilizó satisfactoriamente muestras de suelo dispersivo. Pero esto también reduce el pH de la muestra y el índice de plasticidad. El problema presenta es la capacidad de obtener sulfato de aluminio hidratado en cantidades industriales para ser aplicado en obras, y las consecuencias que puedan acarrear los efectos secundarios de este tipo de estabilización.

➤ Cemento Pórtland.

Se lo vincula con el proceso de compactación conocido como la mezcla suelo-aditivo, y los resultados fueron los esperados cuando se alcanzan grados de compactación mayores al 95% del peso específico seco máximo alcanzado en el laboratorio. El proceso de estabilización no está dado por un fenómeno de intercambio catiónico, sino por el efecto aglomerante del aditivo. Un punto negativo es la necesidad de mezclar el suelo con el aditivo antes o durante el proceso de colocación en obra. Debido a esto resulta inaplicable a grandes masas de suelo colocadas y compactadas. Además, es importante hacer una evaluación económica.

➤ Cal.

Se usa la cal en tres estados:

1. Cal viva u Óxido de Calcio (CaO),
2. Cal hidratada o Hidróxido de Calcio (Ca(OH)_2).
3. Lechada de cal (suspensión de cal hidratada en agua).

La cal viva es usada donde se necesita reducir la humedad del suelo. Este proceso ocasiona grandes cantidades de calor, que quitan la humedad existente en el suelo. Pero si este es atravesado por una red de flujo, el calor se pierde, y la cal viva se transforma en hidrato y posteriormente en suspensión. La cal hidratada es casi insoluble, una suspensión (lechada de cal) la cual tiene muy pocos cationes libres de calcio, necesarios para el proceso 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 horas y el resultado es un suelo granular y friable, y como efecto secundario ocurre una gran reducción en el valor del Índice de Plasticidad.

➤ Otros aditivos.

Yeso (Sulfato de Calcio Hidratado), que, por su poca solubilidad, requiere de una mezcla con el material a estabilizar, en una etapa previa o durante su colocación. También se ha investigado la aplicación de puzolanas y cenizas. En cuanto al empleo de polímeros complejos, puede mencionarse el estudio de la estabilización con lignosulfonato y con poliacrilamidas

También hay estudios sobre el uso de Zeliac que modifica el comportamiento dispersivo y le da propiedades más estables, esto disminuye debido a la alteración del intercambio catiónico, floculación y aglomerado, como en los casos anteriores también disminuye la compresibilidad e índice de plasticidad, coeficiente de permeabilidad (Hosseini, Abdul, Mojiri, & Jan, 2017).

En el caso de la cuenca de Loja no se presentan obras civiles representativas en los afloramientos que muestran dispersividad. Cuando se lleva a cabo una obra civil se modifica la geometría del terreno, esto frena el proceso de eluviación y no permite que el material dispersivo penetre en el suelo, al no penetrar el *piping* se manifiesta en la superficie, lo cual evidencia el estado actual de la cuenca Sur-Este ante este proceso, sin embargo los problemas se manifestarán progresivamente con la influencia del hombre en los comportamientos del terreno.

GLOSARIO

Agentes Peptizantes: Un producto que mejora la dispersión de una sustancia (tal como la arcilla) en forma coloidal. Los agentes peptizantes son el carbonato de sodio, los metafosfatos de sodio, los poliacrilatos de sodio, el hidróxido de sodio y otros compuestos de sodio solubles en agua, incluso la sal de mesa común, NaCl, si se añade a baja concentración. Los cationes divalentes en una arcilla son reemplazados por los cationes del sodio, ayudando a la hidratación y dispersión de la arcilla (Schlumberger, 2017).

Anóxico: Las condiciones anóxicas, al igual que las condiciones anaeróbicas, indican la ausencia de oxígeno puro. Sin embargo, en condiciones anóxicas pueden encontrarse presentes sustancias tales como nitratos o sulfatos.

Badlands: Las badlands son un tipo de paisaje de características áridas y de litología rica en lutitas, extensamente erosionado por el agua y el viento, debido a la falta de vegetación. Cañones, cárcavas, barrancos, canales, chimenea de hadas (columnas de roca con formas en sus picos) y otras formas geológicas del estilo son comunes en las badlands. A menudo es difícil caminar por ellas. Dependiendo de las sucesiones sedimentarias que las conformen, estas tierras pueden presentar una espectacular gama de colores, que alterna capas que van del negro azulado oscuro, característico del carbón, al color de los materiales blandos, como el blanco del caolín o el yeso, por el rojo brillante, característico de algunas arcillas. o al variado de las margas.

Coloide: Dispersión de partículas ultrafinas (la fase dispersa) suspendidas en un medio de dispersión. Se trata de un estado que existe entre una verdadera solución y una suspensión, que se origina debido a que las partículas son tan pequeñas (1-10 μ m) que las fuerzas eléctricas. y otras fuerzas, que tienden a mantenerlas en el medio de dispersión son mayores que las fuerzas de gravedad que tienden a precipitarlas. La cola y la gelatina son típicos coloides más o menos «sólidos» (gel). La disolución de clara de huevo y la de almidón son coloides «líquidos» (sol). Los coloides coagulan o floculan mediante el calor o mediante el contacto con electrólitos (p. ej., agua de mar). Los coloides transportados por los ríos son coagulados o floculados en la entrada al mar y llegan a formar parte de la fracción arcillosa de la carga de sedimentación. El ópalo (grupo de minerales silíceos) es un mineral coloidal.

Defloculación: La defloculación es el proceso mediante el cual los sólidos que se adhieren se dispersan ya sea por concentración de electrolito, aumentando el pH de la lechada o agregando diluyentes o dispersantes al sistema. A través del proceso de dispersión, las partículas se descomponen en partículas finas. También se define como el acto de reducir la

viscosidad de una suspensión mediante la adición de un agente adelgazante, también conocido como defloculante. el proceso de defloculación es completamente opuesto al proceso de floculación. El proceso de floculación, también llamado proceso de coagulación o aglomeración, es un procedimiento mediante el cual se extraen los coloides de las suspensiones que luego toman la forma de escamas o flóculos. Esto puede tener lugar de manera espontánea o puede producirse mediante la adición de agentes clarificantes. Este proceso es diferente de la precipitación en el sentido de que antes de la floculación, los coloides simplemente se suspenden dentro del líquido y no se disuelven dentro de la solución. En un sistema que promueve la floculación, no hay formación de torta porque todos los flóculos están suspendidos. La floculación se usa para la purificación del agua, e incluso se puede usar para extraer ciertos elementos corrosivos del agua (Petropedia, 2017).

Discordancias progresivas; Tipo de discordancia sintectónica con una disposición en abanico de una serie de estratos, de manera que los inferiores se encuentran concordantes con la serie infrayacente, y los superiores forman un ángulo cada vez mayor con ella.

Eluviación: Es un proceso de translocación junto a la iluviación, se define como la movilización inicial, transporte y pérdida de materiales, esta se presenta en los horizontes superiores.

Flóculos: Masa floculada que es formada por la acumulación de partículas suspendidas. Puede ocurrir de forma natural, pero es usualmente inducido y orden de ser capaz de eliminar ciertas partículas del agua residual.

Fuerzas de Van der Waals: Son fuerzas de estabilización molecular; forman un enlace químico no covalente en el que participan dos tipos de fuerzas o interacciones, las fuerzas de dispersión (que son fuerzas de atracción) y las fuerzas de repulsión entre las capas electrónicas de 2 átomos contiguos.

Hexámetafosfato de sodio: Polvo blanco, de flujo libre, inodoro, insaboro, granos gruesos, o medio granular. Una mezcla de metafosfatos poliméricos. Levemente higroscópico. Infinita solubilidad en agua, pero se disuelve lentamente. En la solución despolimerizará para formar el trimetaphosphate del sodio y los ortofosfatos de sodio. Es un polifosfato con varias longitudes de cadena. El hexametáfosfato de sodio secuestra los cationes del metal, tales como Ca, magnesio, Cu y FE. El hexametáfosfato del sodio actúa como sal sequestrante, neutra, agente defloculante, endurecedora, fortalecedora de pastas, emulsora, poniendo firme el agente, reforzadora del sabor, escencias aromáticas, humectantes, suplementos

nutricionales, ayuda de proceso, estabilizador y espesante, agente tensoactivo, producto sinérgico, texturizador y neutralizante (Quimplex S.A., 2010).

Hondonadas: Parte del terreno que está más honda que la que le rodea.

Índice de plasticidad (IP): Es la diferencia entre los límites líquido y plástico, es el rango de humedad dentro del cual el suelo se mantiene plástico:

Límite Líquido (w_L ó LL): contenido de humedad del suelo en el límite entre el estado semi-líquido y plástico.

Límite Plástico (w_p ó LP): es el contenido de humedad del suelo en el límite entre los estados semi-sólido y plástico.

Orogénico Varístico; Es un evento geológico de formación de montañas, debido al movimiento de las placas tectónicas sobre el manto terrestre, que se produjo al final del Paleozoico, entre finales del Devónico (hace unos 380 millones de años) y mediados del Pérmico (unos 280 millones de años), durando en total unos 100 millones de años

Óxico: Indica una zona que posee oxígeno disuelto.

Piping: Es conceptualizado como la formación de conductos (pipes) naturales en el suelo o en otros depósitos no consolidados por eluviación o por procesos de erosión diferencial subsuperficial. En general el desarrollo de estos conductos hipodérmicos va ligado con materiales poco consolidados (Lopez & Torcal, 1986).

Sinsedimentaria: Que se forma o crece durante la sedimentación.

Slumps: Es un movimiento intermitente hacia abajo de los desechos rocosos, generalmente la consecuencia de la eliminación de la tierra de refuerzo al pie de una pendiente de material no consolidado. Comúnmente implica un plano de corte en el que se produce una inclinación hacia atrás de la parte superior de la masa caída. El plano es ligeramente cóncavo hacia arriba y hacia afuera y separa el bloque de asentamiento del material no plegado del mismo carácter. En los estratos sedimentarios, el material de desprendimiento generalmente se dobla elásticamente hasta que se excede la resistencia de la roca, cuando se rompe y se mueve rápidamente (Encyclopedia Britannica, 2012).

Suelos tipo algodón negro: Suelo negro de algodón que suele aparecer en climas cálidos y relativamente secos. Se caracteriza por un elevado contenido de arcilla muy fina (montmorillonita), un bajo contenido de materia orgánica y un color muy oscuro, a veces rojizo.

Sustitución isomórfica: Es el reemplazo de algunos elementos químicos por otros de radio iónico similar produciendo variaciones en la composición de los minerales

Tixotropía: La característica de un fluido, tal como el lodo de perforación, de formar una estructura gelificada con el tiempo cuando no está sujeto a cizalladura y luego fluidificarse cuando es agitado. La viscosidad del fluido tixotrópico cambia con el tiempo a una velocidad de corte constante hasta alcanzar el equilibrio. La mayoría de los lodos de perforación presentan tixotropía, que es necesaria para una perforación rápida y una elevación eficiente de los recortes de perforación y para soportar el material densificante cuando el flujo del lodo se detiene. La resistencia de gel medida en varios intervalos de tiempo indica la tixotropía relativa de un lodo. A veces es deseable que la tixotropía proporcione resistencia al flujo, como para evitar o reducir las pérdidas o el flujo hacia una formación débil (Schlumberger, 2017)

CONCLUSIONES

En la zona Sur-Este de la cuenca de Loja es posible evidenciar procesos relacionados a dispersión; se identificó un total de 11 afloramientos de los cuales destacan los puntos 1, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11 debido a que las estructuras de dispersión en dichos lugares se presentan mejor desarrolladas, es decir que mostraban tubificaciones de mayores dimensiones (10 -50 cm) y los afloramientos estaban más erosionados. En su mayoría a excepción del punto 6, el *piping* se desarrolló en un paquete de arcilla de tonalidad grisácea, perteneciente a la formación Quillollaco.

La tubificación existente es controlada por factores hídricos y características del terreno. La ciudad de Loja posee valores de precipitación intermedios, esto actúa como un catalizador generando estructuras de dispersión relativamente desarrolladas que se manifiestan como resultado de un proceso de eluviación lento que permitió que partículas dispersivas percolen en estratos más profundos; sin embargo, estas estructuras podrían evolucionar y ocasionar problemas de colapso en cualquier momento.

En base a los resultados obtenidos en el ensayo cualitativo de Crumb se muestra una alta tendencia a la dispersión en el 36% de los afloramientos (5, 7, 8, 10), mientras que el 27% de los afloramientos poseen una dispersión intermedia (4, 9, 11) y el 37% restante no son dispersivos (1, 2, 3, 6). En cambio, el ensayo cuantitativo de Doble Hidrómetro presenta dispersividad en el 27% de los afloramientos (1, 5, 7), el 64% de los afloramientos muestran un valor intermedio (2, 3, 6, 8, 9, 10, 11) y el 9% (4) no presentan dispersividad.

El halo de dispersión de la zona comprende la vía que conecta Pucará con Zamora Huayco Alto, la vía a Malacatos y un punto aislado en Los Faiques, todos los puntos señalados presentan baja intervención antrópica que explica la ausencia de problemas debido a material dispersivo. Combinando los resultados de los dos ensayos se muestra que el 45% son dispersivos y el 55% poseen un valor intermedio o nulo. La asociación mineral predominante en los afloramientos fue illita-caolinita y albita, la illita-caolinita indica que la dispersión en la parte Sur-Este de la cuenca de Loja procede como *slaking*, en cambio la albita es el mineral que aportaría el sodio en los suelos en el caso de poseer capacidad de intercambio catiónico.

Los peligros provocados por estructuras típicas de arcillas dispersivas se manifiestan en base a lo desarrolladas que se encuentren, a la fecha de culminación del trabajo las estructuras de dispersión no representan aun un peligro inminente, esto es debido a que donde se manifiestan son zonas donde la actividad antrópica es escasa, a futuro, en base al

crecimiento poblacional en la ciudad de Loja estos lugares serán habitados y el efecto de la actividad del hombre en el terreno, sumado a la presencia de agua ya sea por lluvias o por cualquier otro origen, podría alterar su equilibrio natural y desencadenaría procesos peligrosos de dispersión que pueden manifestarse en superficie como *piping* o en el subsuelo donde generara espacios vacíos debido a la defloculación que producirían subsidencia debido a fallas por sifonamiento. Esto afectará sin lugar a duda a las obras civiles existentes en la zona generando pérdidas económicas y en los peores casos pérdidas humanas.

RECOMENDACIONES

Se debería tomar en cuenta la capacidad de dispersión de los suelos en la ciudad de Loja sobre todo en las zonas donde se lo ha calificado al material como dispersivo, para que en lo posterior al momento de construir obras civiles se cuente con un proceso de prevención, con esto se dará cumplimiento a lo que estipula el artículo 389 del marco constitucional de la República del Ecuador

En base a los resultados obtenidos es importante que a futuro se considere al momento de realizar cualquier obra civil en las zonas que fueron calificadas como dispersivas esto debido a que la mejor manera de afrontar este tipo de materiales es la prevención.

Es imperante recomendar la realización de estudios a nivel de toda la cuenca de Loja, debido a que se demostró que la cuenca es una zona susceptible a procesos de dispersión y existen factores que pueden acelerar este proceso produciendo a futuro graves daños materiales y en los peores casos tener pérdida de vidas humanas.

La mejor manera de afrontar las zonas dispersivas es tomar en cuenta las consideraciones nombradas en este trabajo y en otros para la estabilización de suelos dispersivos.

Hay que tener en cuenta que además de los estudios físicos que son en los que se basó en esta tesis, se debe complementar realizando estudios químicos para determinar si la albita encontrada posee capacidad de intercambio catiónico para corroborar o derogar que el sodio encontrado pueda agregarse a las demás partículas de una manera que pueda producir dispersión.

BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, C. (2015). *Estudio de arcillas dispersivas y sensitivas en la zona del canal San Antonio Manabí*. Sangolqui: ESPE.
- America 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 Standar 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 sol struture*.
- Bell, & Maud. (2000). *A groundwater survey of the greater Durban area and environs*.
- Bennett, & Hulbert. (1991). *Determinants of clay ans 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 Ingenieria 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*. Tesis de pregrado. Cuenca.
- Chorom, Rengasamy, & Murray. (1994). Clay Dispersion as Influenced by pH and Net Particle Charge of sodic soils. *Departament 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 dispersión, mecanismos y aditivos*. Additives y Instrumets.
- Garay, & Alva. (2014). *Identificacion y Ensayos en Suelos Dispersivos*.

- Garcia, 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.
- 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.
- 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, Helg, 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.
- 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.

- López, F., & Torcal, L. (1986). *Procesos de erosión en túnel en cuencas sedimentarias de Murcia*.
- Maldonado, N. (2014). *Clima de Loja, Rasgos Generales*. Obtenido de <http://casadelaculturaloja.gob.ec/archives/250>
- Moriwaki, Yoshiharu, & Mitchell. (1977). *The Role of Dispersion in the Slaking of Intact Clay*.
- 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.
- 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). *Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas de Sudamérica*. Quito.
- Salinas, L. M., Yapari, J. H., Canelas, A., & Aranibar, A. (2000). *Mecánica 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.
- Soto, Galve, Palenzuela, Azañón, 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*.
- United States Department of Agriculture. (2004). *Clasificación de suelos*.
- Unified Soil Classification System. (2005). *Clasificación de suelos finos*
- UNL y PNUD. (2013). *Vulnerabilidad a nivel municipal del cantón Loja*. Loja.

ANEXOS

ANEXO I: LÍMITES DE ATTERBERG



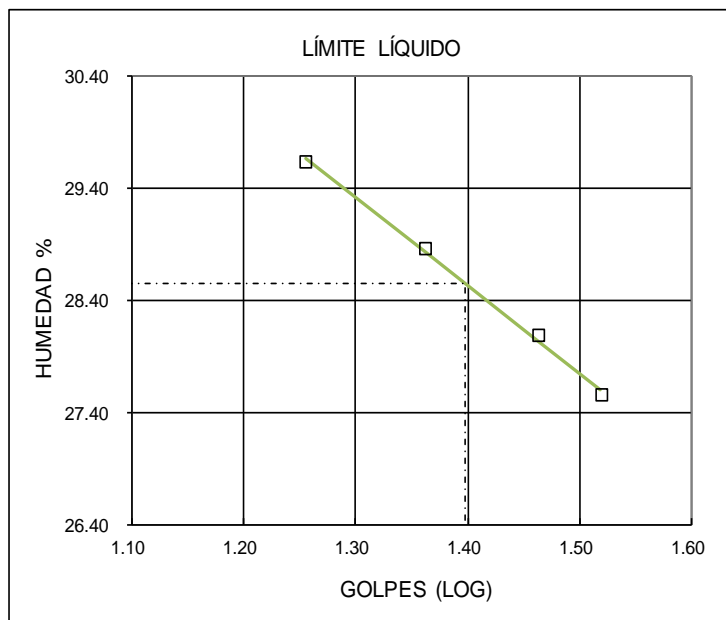
UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL
TITULACIÓN DE GEOLOGÍA Y MINAS

AFLORAMIENTO 1

Coordenadas:	X: 700433,96	Y: 9552043.03	Z: 2224
Proyecto	Caracterización del grado de dispersión en arcillas de la zona Sur-Este de la cuenca sedimentaria de Loja, para determinar potencial de generación de procesos de piping.		
Localización	Via Argelia-Capulí	Norma	ASTM D 4318-95
Autor:	Cristian Abad		

	GOLPES	PESO HM.	SECO	DE CAPS	w %	RESULTADO
LÍMITE LÍQUIDO	18	114.72	103.73	66.64	29.63	28.54
	23	104.80	95.11	61.53	28.86	
	29	89.86	81.94	53.74	28.09	
	33	104.76	95.37	61.29	27.55	
LÍMITE PLÁSTICO		58.98	58.80	57.61	15.13	15.13
		60.78	60.60	59.31	13.95	13.95
						14.54

RESULTADOS	LL = 29.00 %
	LP = 15.00 %
	IP = 14.00 %



CLASIFICACIÓN SUCS: ARCILLA INORGANICA DE BAJA PLASTICIDAD (CL).



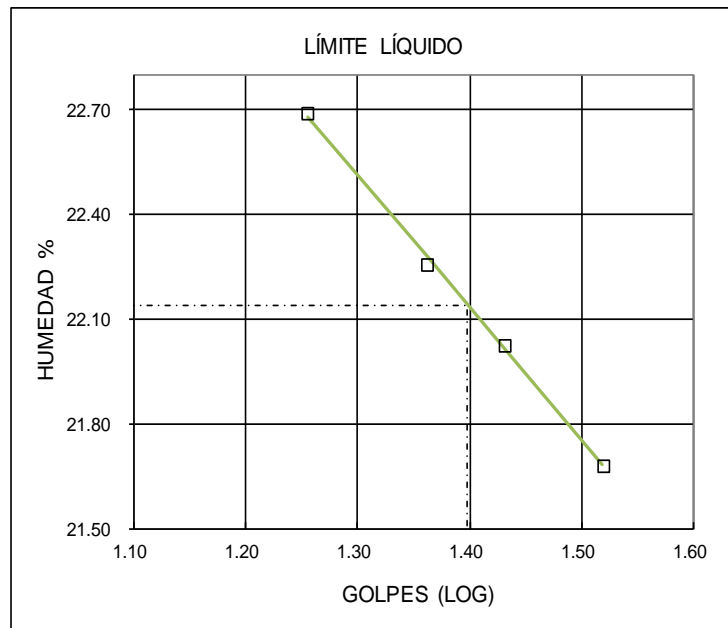
UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL
TITULACIÓN DE GEOLOGÍA Y MINAS

AFLORAMIENTO 2

Coordenadas:	X: 700514	Y: 9553783	Z: 2315
Proyecto	Caracterización del grado de dispersión en arcillas de la zona Sur-Este de la cuenca sedimentaria de Loja, para determinar potencial de generación de procesos de piping.		
Localización	Sendero UNL, Argelia	Norma	ASTM D 4318-95
Autor:	Cristian Abad		

LÍMITE LÍQUIDO	GOLPES	PESO HM.	SECO	DE CAPS	w %	RESULTADO
	18	92.75	86.30	57.87	22.69	
23	98.01	92.60	68.29	22.25		
27	102.09	95.59	66.08	22.03		
33	95.48	89.39	61.30	21.68		
LÍMITE PLÁSTICO		60.64	59.97	56.10	17.31	17.31
		65.54	64.86	61.00	17.62	17.62
						17.46

RESULTADOS	LL = 22.00 %
	LP = 17.00 %
	IP = 5.00 %



CLASIFICACIÓN SUCS: ARCILLA INORGANICA DE BAJA PLASTICIDAD (CL).



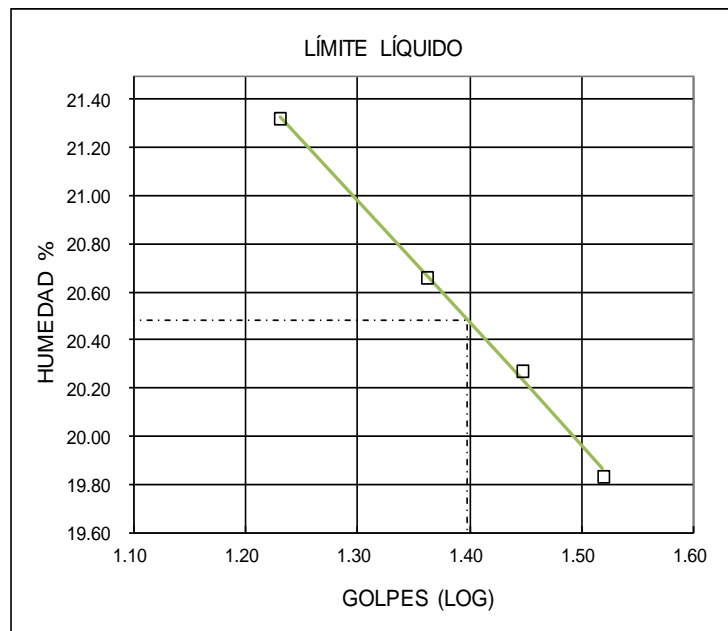
UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL
TITULACIÓN DE GEOLOGÍA Y MINAS

AFLORAMIENTO 3

Coordenadas:	X:700966	Y:9554644	Z:2370
Proyecto	Caracterización del grado de dispersión en arcillas de la zona Sur-Este de la cuenca sedimentaria de Loja, para determinar potencial de generación de procesos de piping.		
Localización	Sendero UNL, Pucará	Norma	ASTM D 4318-95
Autor:	Cristian Abad		

	GOLPES	PESO HM.	SECO	DE CAPS	w %	RESULTADO
LÍMITE LÍQUIDO	17	97.49	92.97	71.77	21.32	20.48
	23	89.27	85.59	67.78	20.66	
	28	88.42	83.85	61.31	20.28	
	33	95.34	91.22	70.45	19.84	
LÍMITE PLÁSTICO		69.51	69.13	65.99	12.10	12.10
		67.32	66.92	63.78	12.74	12.74
						12.42

RESULTADOS	LL = 20.00 %
	LP = 12.00 %
	IP = 8.00 %



CLASIFICACIÓN SUCS: ARCILLA INORGANICA DE BAJA PLASTICIDAD (CL).



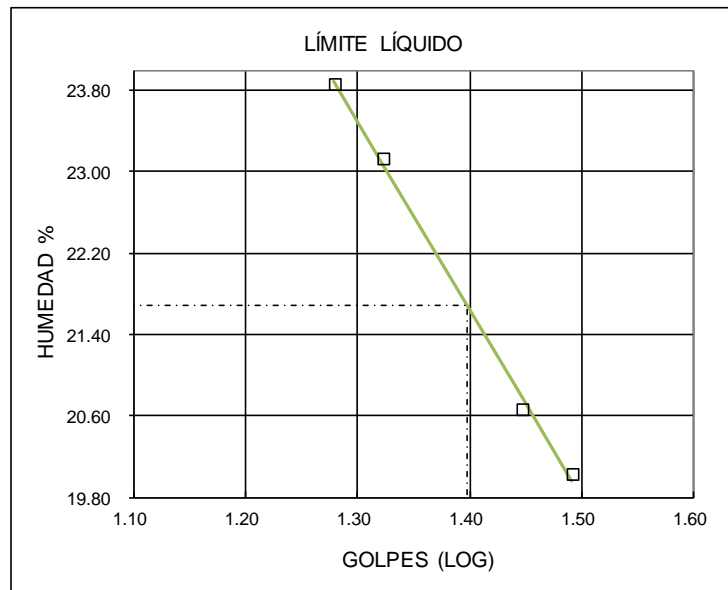
UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL
TITULACIÓN DE GEOLOGÍA Y MINAS

AFLORAMIENTO 4

Coordenadas:	X:700313	Y:9555103	Z:2179
Proyecto	Caracterización del grado de dispersión en arcillas de la zona Sur-Este de la cuenca sedimentaria de Loja, para determinar potencial de generación de procesos de piping.		
Localización	El Rosal	Norma	ASTM D 4318-95
Autor:	Cristian Abad		

	GOLPES	PESO HM.	SECO	DE CAPS	w %	RESULTADO
LÍMITE LÍQUIDO	19	98.43	90.43	56.90	23.86	21.68
	21	111.02	101.42	59.93	23.14	
	28	109.87	102.66	67.78	20.67	
	31	100.53	90.98	43.29	20.03	
LÍMITE PLÁSTICO		58.52	57.53	49.34	12.09	12.09
		50.74	49.73	41.53	12.32	12.32
						12.20

RESULTADOS	LL =	22.00	%
	LP =	12.00	%
	IP =	10.00	%



CLASIFICACIÓN SUCS: ARCILLA INORGANICA DE BAJA PLASTICIDAD (CL).



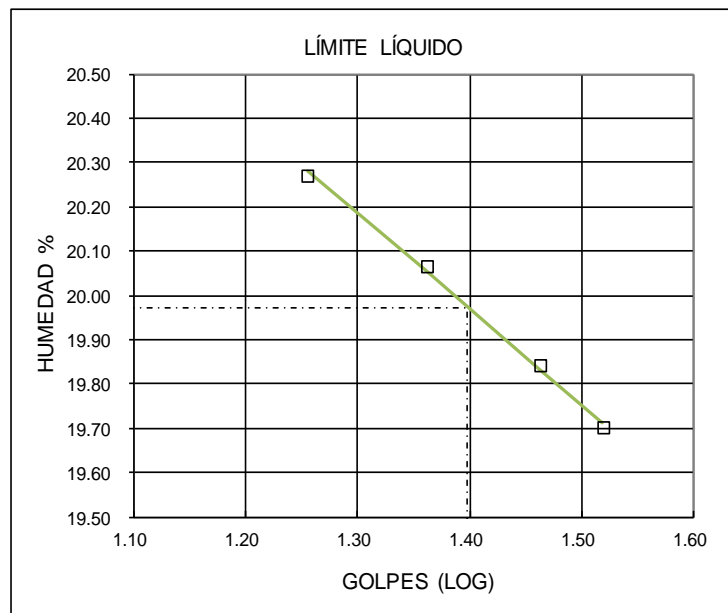
UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL
TITULACIÓN DE GEOLOGÍA Y MINAS

AFLORAMIENTO 5

Coordenadas:	X:699906	Y:9554680	Z:2116
Proyecto	Caracterización del grado de dispersión en arcillas de la zona Sur-Este de la cuenca sedimentaria de Loja, para determinar potencial de generación de procesos de piping.		
Localización	Argelia, frente a Lubrimatic	Norma	ASTM D 4318-95
Autor:	Cristian Abad		

	GOLPES	PESO HM.	SECO	DE CAPS	w %	RESULTADO
LÍMITE LÍQUIDO	18	82.79	78.59	57.87	20.27	19.97
	23	79.76	74.78	49.95	20.07	
	29	96.92	90.93	60.74	19.84	
	33	100.53	95.62	70.70	19.70	
LÍMITE PLÁSTICO		72.23	71.71	66.94	10.90	10.90
		69.63	68.96	63.14	11.51	11.51
						11.21

RESULTADOS	LL =	20.00 %
	LP =	11.00 %
	IP =	9.00 %



CLASIFICACIÓN SUCS: ARCILLA INORGANICA DE BAJA PLASTICIDAD (CL).



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

AFLORAMIENTO 6

Coordenadas:	X: 700232	Y:9555928	Z: 2162
--------------	-----------	-----------	---------

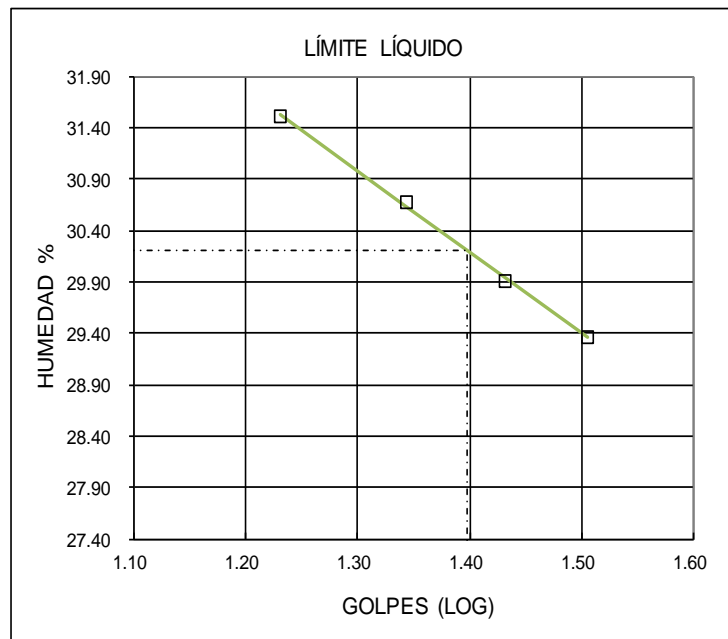
Proyecto	Caracterización del grado de dispersión en arcillas de la zona Sur-Este de la cuenca sedimentaria de Loja, para determinar potencial de generación de procesos de piping.		
----------	---	--	--

Localización	La Pradera	Norma	ASTM D 4318-95
--------------	------------	-------	----------------

Autor:	Cristian Abad		
--------	---------------	--	--

	GOLPES	PESO HM.	SECO	DE CAPS	w %	RESULTADO
LÍMITE LÍQUIDO	17	96.31	88.41	63.34	31.51	30.21
	22	91.23	86.58	71.42	30.67	
	27	82.41	76.92	58.57	29.92	
	32	88.60	83.39	65.65	29.37	
LÍMITE PLÁSTICO		58.97	58.49	56.58	25.13	25.13
		62.86	62.37	60.43	25.26	25.26
						25.19

RESULTADOS	LL = 30.00 %
	LP = 25.00 %
	IP = 5.00 %



CLASIFICACIÓN SUCS: ARCILLA INORGANICA DE MEDIANA PLASTICIDAD (CL).



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

AFLORAMIENTO 7

Coordenadas: X: 701302 Y:9555582 Z:2136

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

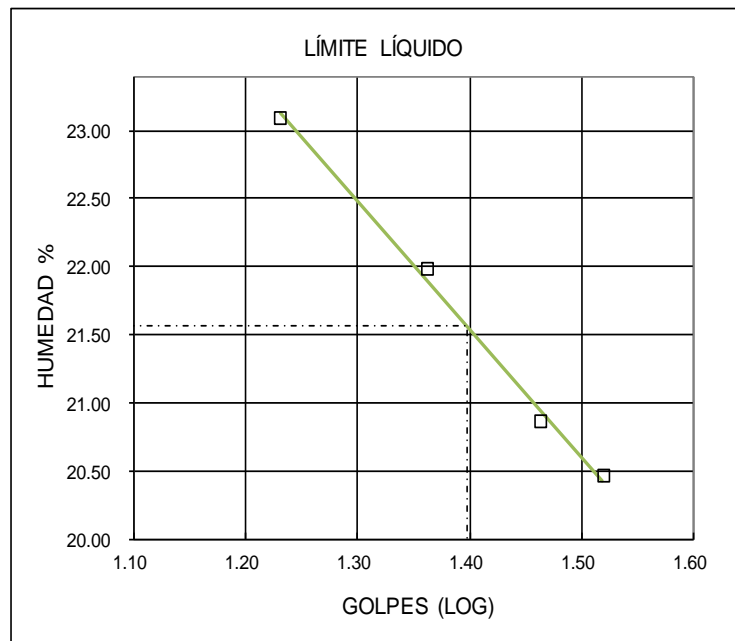
Localización: Vía Pucará-Zamora Huayco Alto Norma: ASTM D 4318-95

Autor: Cristian Abad

LÍMITE LÍQUIDO	GOLPES	PESO HM.	SECO	DE CAPS	w %	RESULTADO
	17	87.68	80.94	51.76	23.10	
23	88.93	83.16	56.92	21.99		
29	94.43	88.78	61.70	20.86		
33	99.30	94.63	71.81	20.46		
LÍMITE PLÁSTICO		73.63	73.27	70.45	12.77	12.77
		70.45	70.08	67.26	13.12	13.12
						12.94

RESULTADOS

LL = 22.00 %
 LP = 13.00 %
 IP = 9.00 %



CLASIFICACIÓN SUCS: ARCILLA INORGANICA DE BAJA PLASTICIDAD (CL).



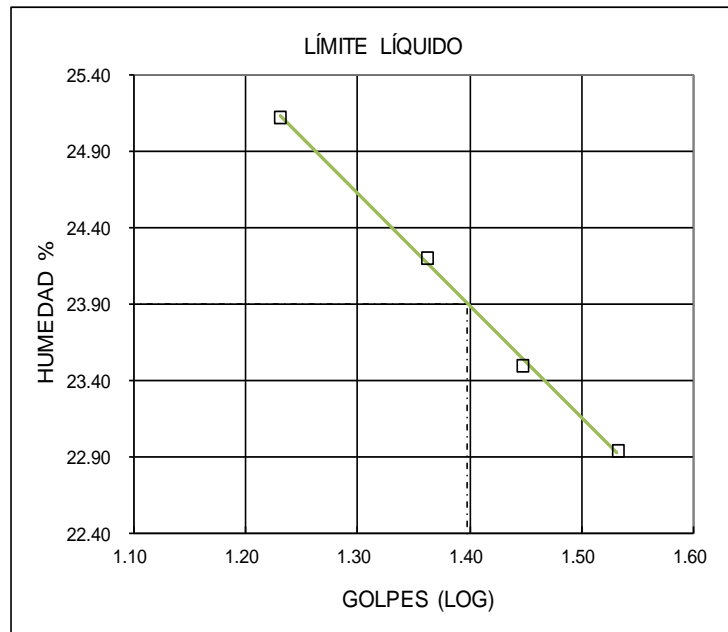
UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL
TITULACIÓN DE GEOLOGÍA Y MINAS

AFLORAMIENTO 8

Coordenadas:	X:701177	Y:9556284	Z:2125
Proyecto	Caracterización del grado de dispersión en arcillas de la zona Sur-Este de la cuenca sedimentaria de Loja, para determinar potencial de generación de procesos de piping.		
Localización	Vía Pucará-Zamora Huayco Alto	Norma	ASTM D 4318-95
Autor:	Cristian Abad		

	GOLPES	PESO HM.	SECO	DE CAPS	w %	RESULTADO
LÍMITE LÍQUIDO	17	80.71	74.89	51.72	25.12	23.90
	23	90.30	84.34	59.71	24.20	
	28	90.56	85.06	61.65	23.49	
	34	84.75	79.56	56.93	22.93	
LÍMITE PLÁSTICO		70.49	70.00	66.73	14.98	14.98
		74.69	74.01	69.33	14.53	14.53
						14.76

RESULTADOS	LL =	24.00	%
	LP =	15.00	%
	IP =	9.00	%



CLASIFICACIÓN SUCS: ARCILLA INORGANICA DE BAJA PLASTICIDAD (CL).



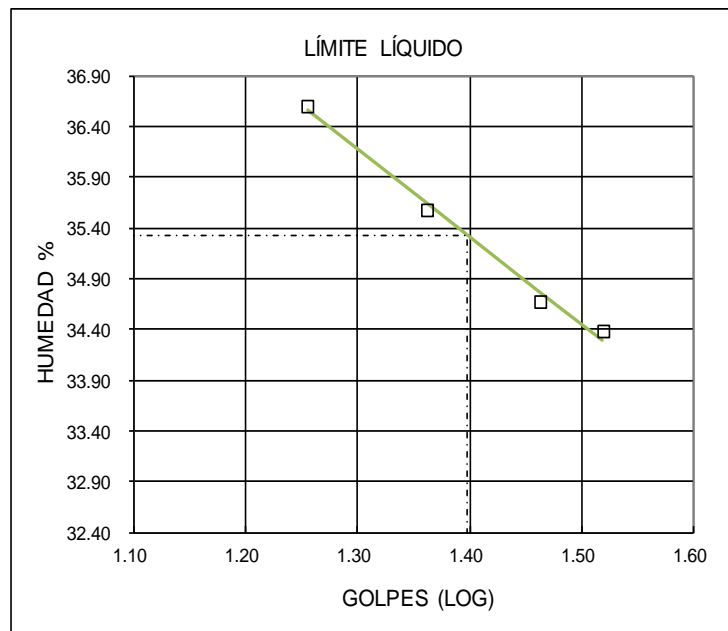
UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL
TITULACIÓN DE GEOLOGÍA Y MINAS

AFLORAMIENTO 10

Coordenadas:	X:700671	Y:9557685	Z:2101
Proyecto	Caracterización del grado de dispersión en arcillas de la zona Sur-Este de la cuenca sedimentaria de Loja, para determinar potencial de generación de procesos de piping.		
Localización	Los Faiques	Norma	ASTM D 4318-95
Autor:	Cristian Abad		

	GOLPES	PESO HM.	SECO	DE CAPS	w %	RESULTADO
LÍMITE LÍQUIDO	18	110.62	98.44	65.17	36.61	35.33
	23	106.47	93.24	56.06	35.58	
	29	110.62	98.44	63.31	34.67	
	33	98.85	88.86	59.81	34.39	
LÍMITE PLÁSTICO		73.45	72.88	69.84	18.75	18.75
		76.54	75.97	72.93	18.75	18.75
						18.75

RESULTADOS	LL = 35.00 % LP = 19.00 % IP = 16.00 %
-------------------	--



CLASIFICACIÓN SUCS: ARCILLA INORGANICA DE MEDIANA PLASTICIDAD (CL).



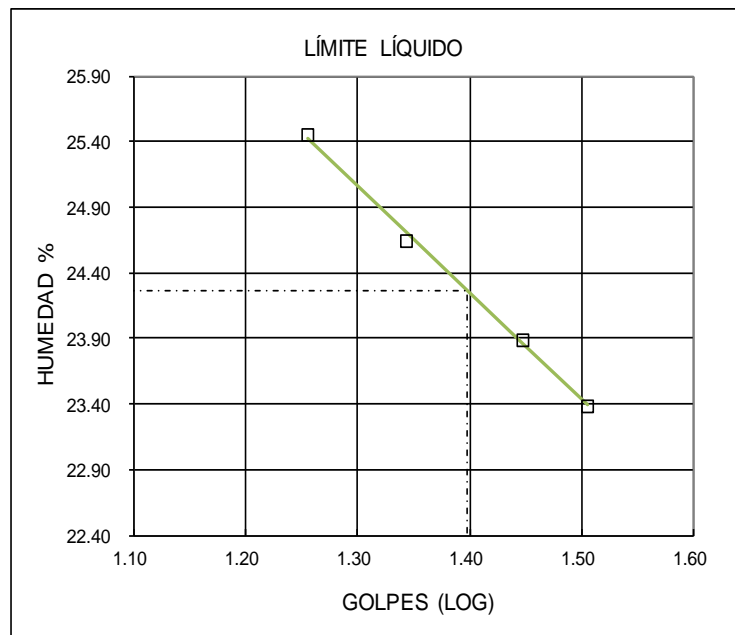
UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL
TITULACIÓN DE GEOLOGÍA Y MINAS

AFLORAMIENTO 11

Coordenadas:	X:701325	Y:9556481	Z:2106
Proyecto	Caracterización del grado de dispersión en arcillas de la zona Sur-Este de la cuenca sedimentaria de Loja, para determinar potencial de generación de procesos de piping.		
Localización	Zamora Huayco	Norma	ASTM D 4318-95
Autor:	Cristian Abad		

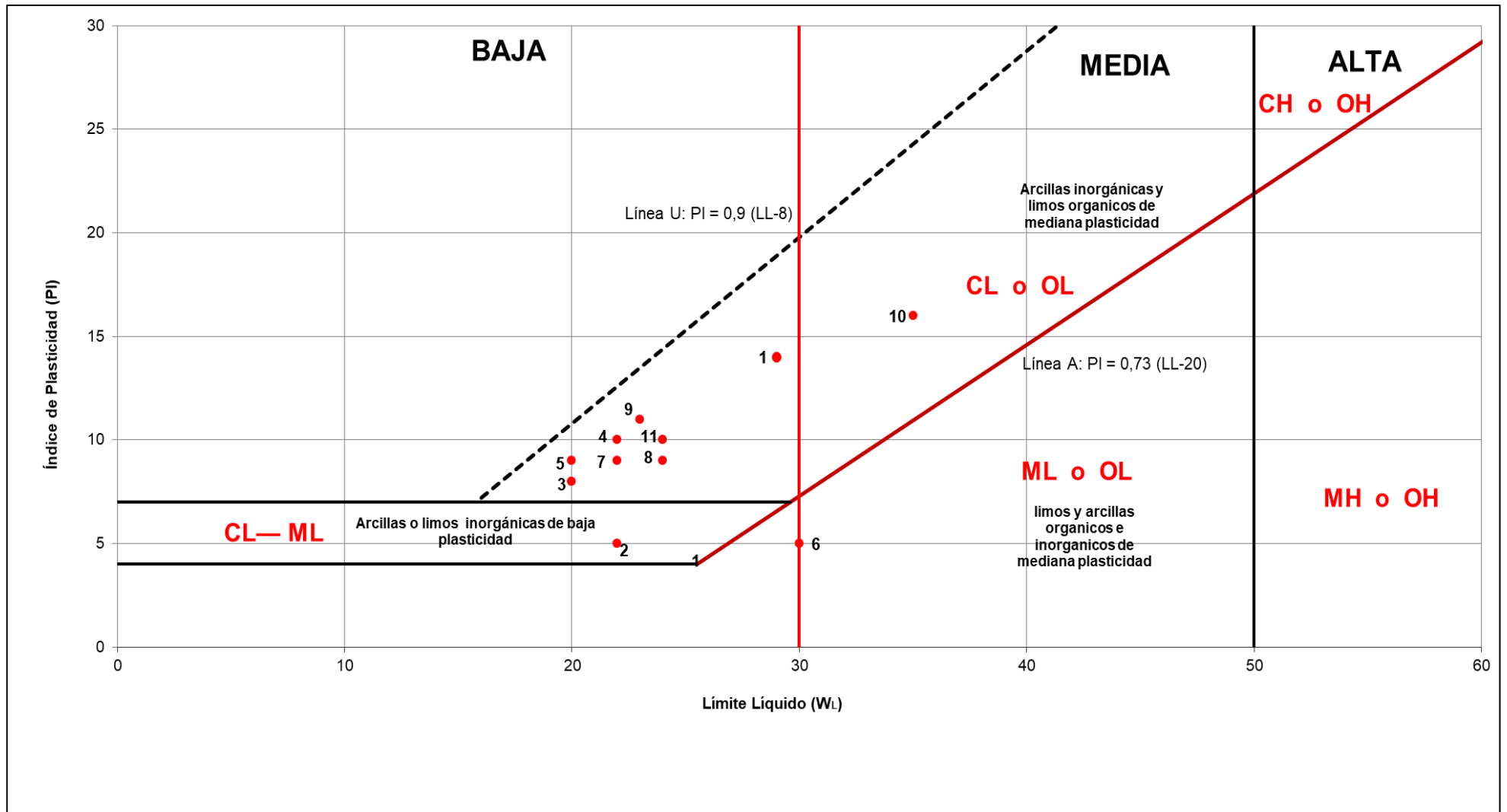
	GOLPES	PESO HM.	SECO	DE CAPS	w %	RESULTADO
LÍMITE LÍQUIDO	18	100.52	88.90	43.26	25.46	24.26
	22	104.86	95.96	59.86	24.65	
	28	101.93	95.05	66.25	23.89	
	32	90.45	85.95	66.71	23.39	
LÍMITE PLÁSTICO		69.65	69.44	67.91	13.73	13.73
		72.22	72.05	70.84	14.05	14.05
						13.89

RESULTADOS	LL =	24.00	%
	LP =	14.00	%
	IP =	10.00	%



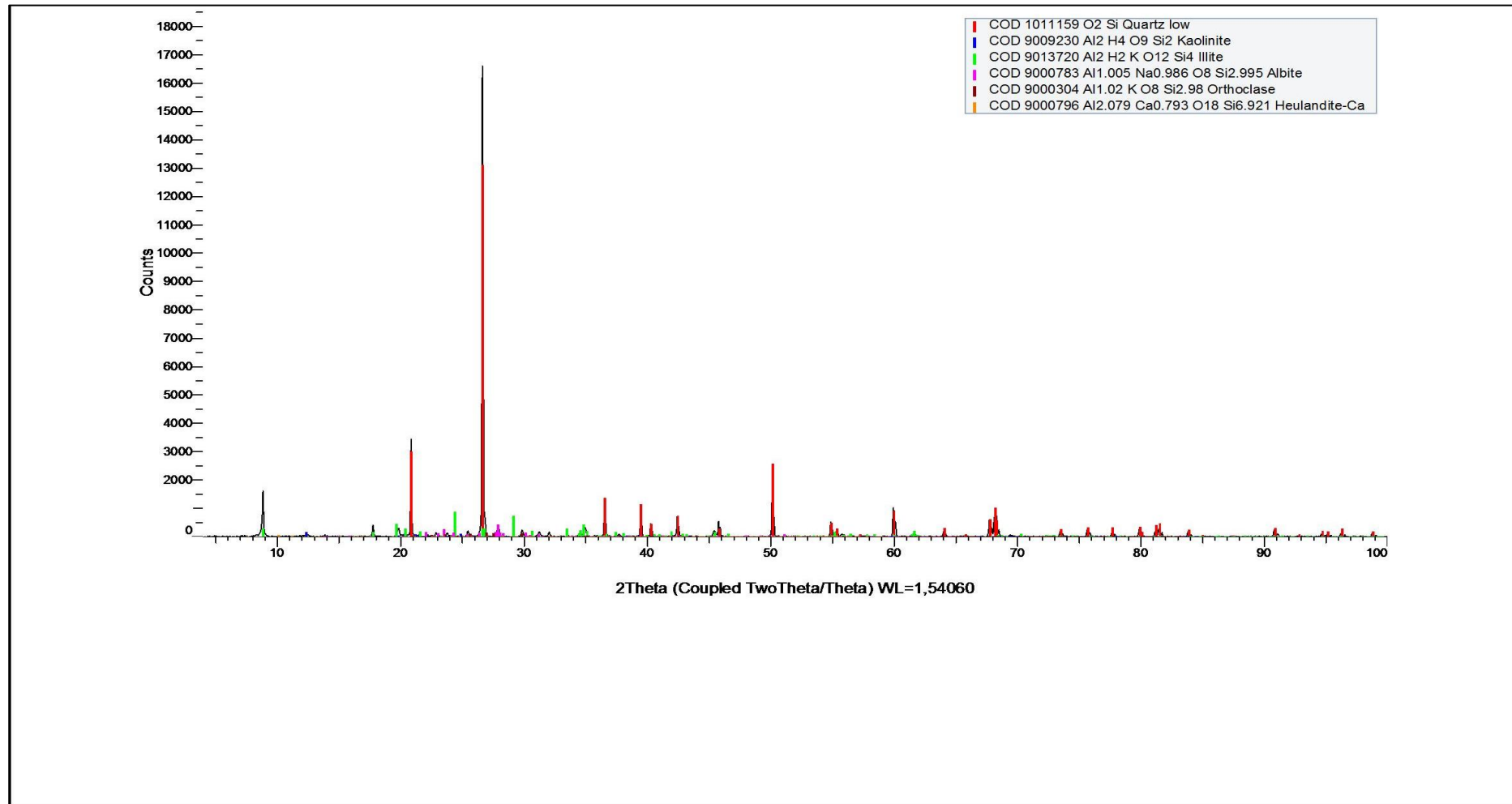
CLASIFICACIÓN SUCS: ARCILLA INORGANICA DE BAJA PLASTICIDAD (CL).

ANEXO II: CARTA DE CASAGRANDE

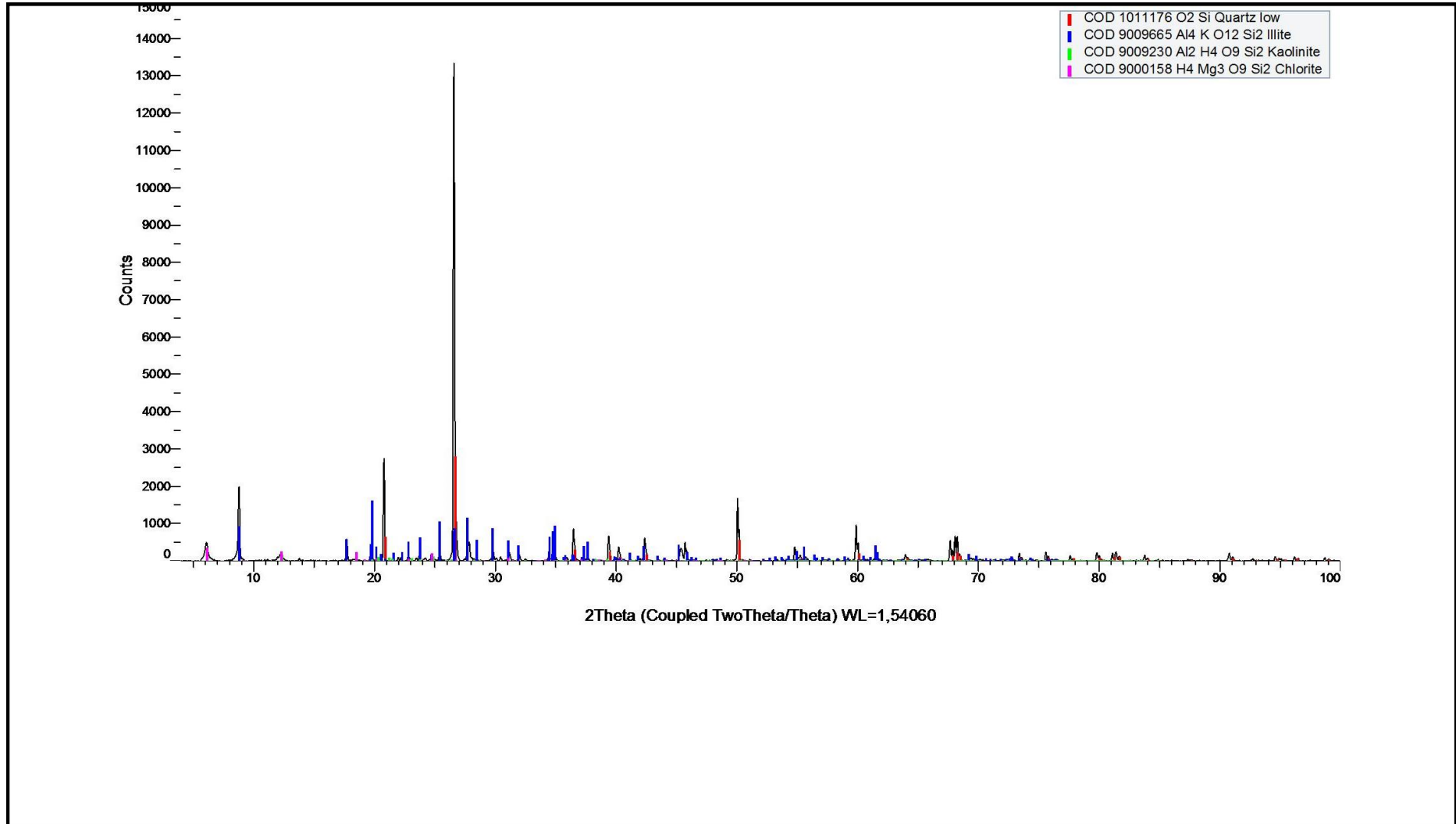


ANEXO III: DIFRACTOGRAMAS DRX

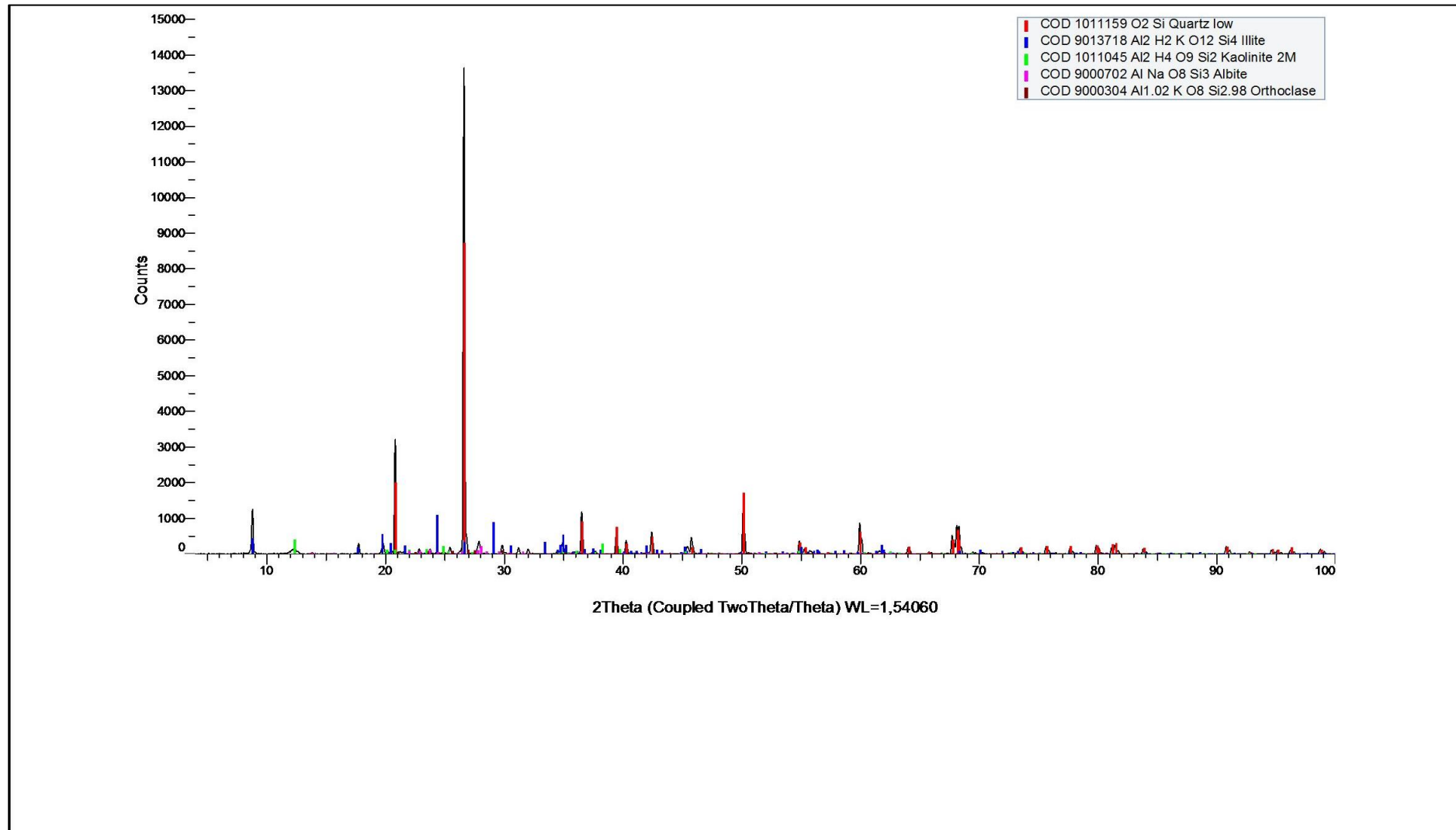
Afloramiento 1



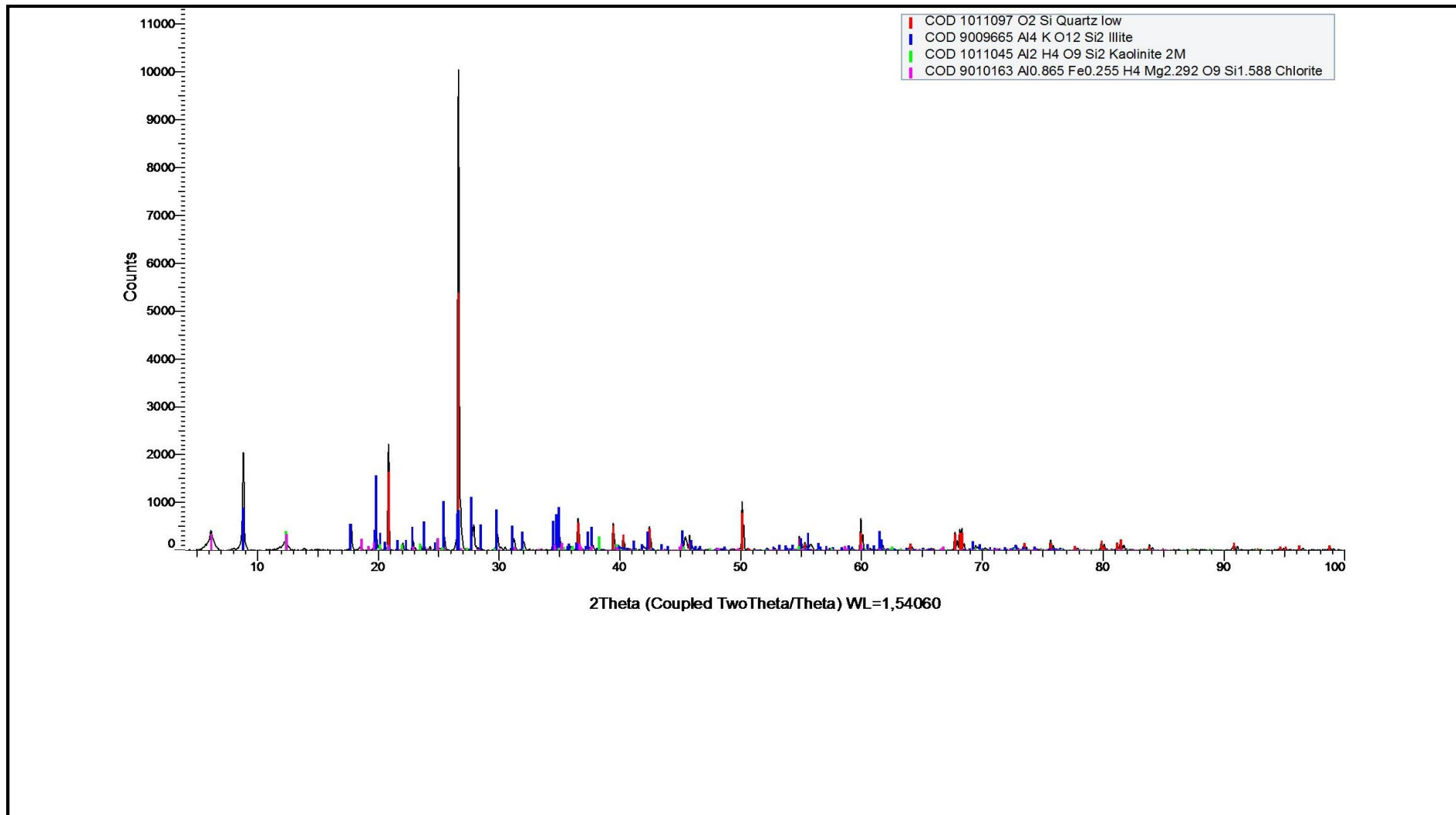
Afloramiento 4



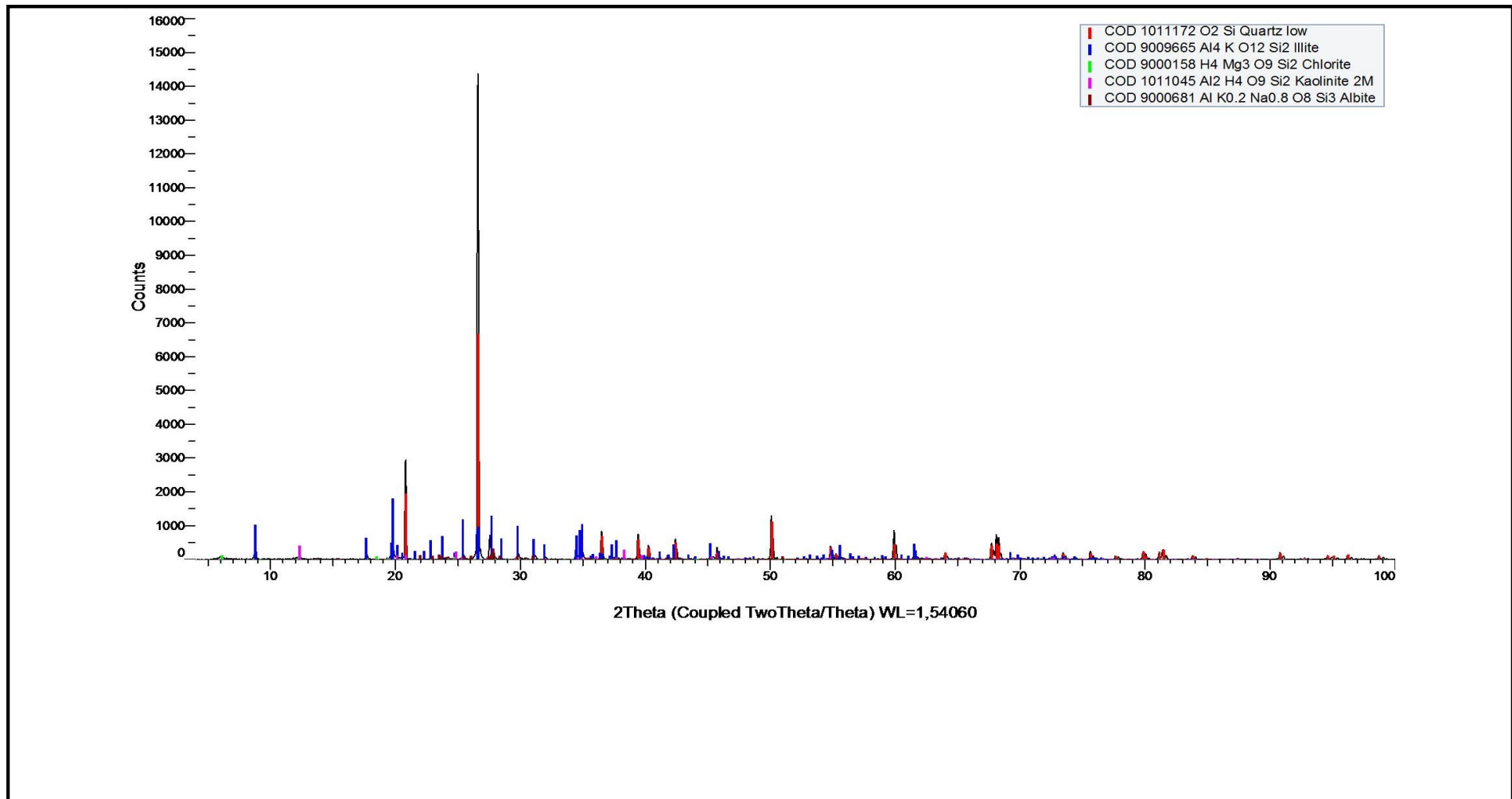
Afloramiento 5



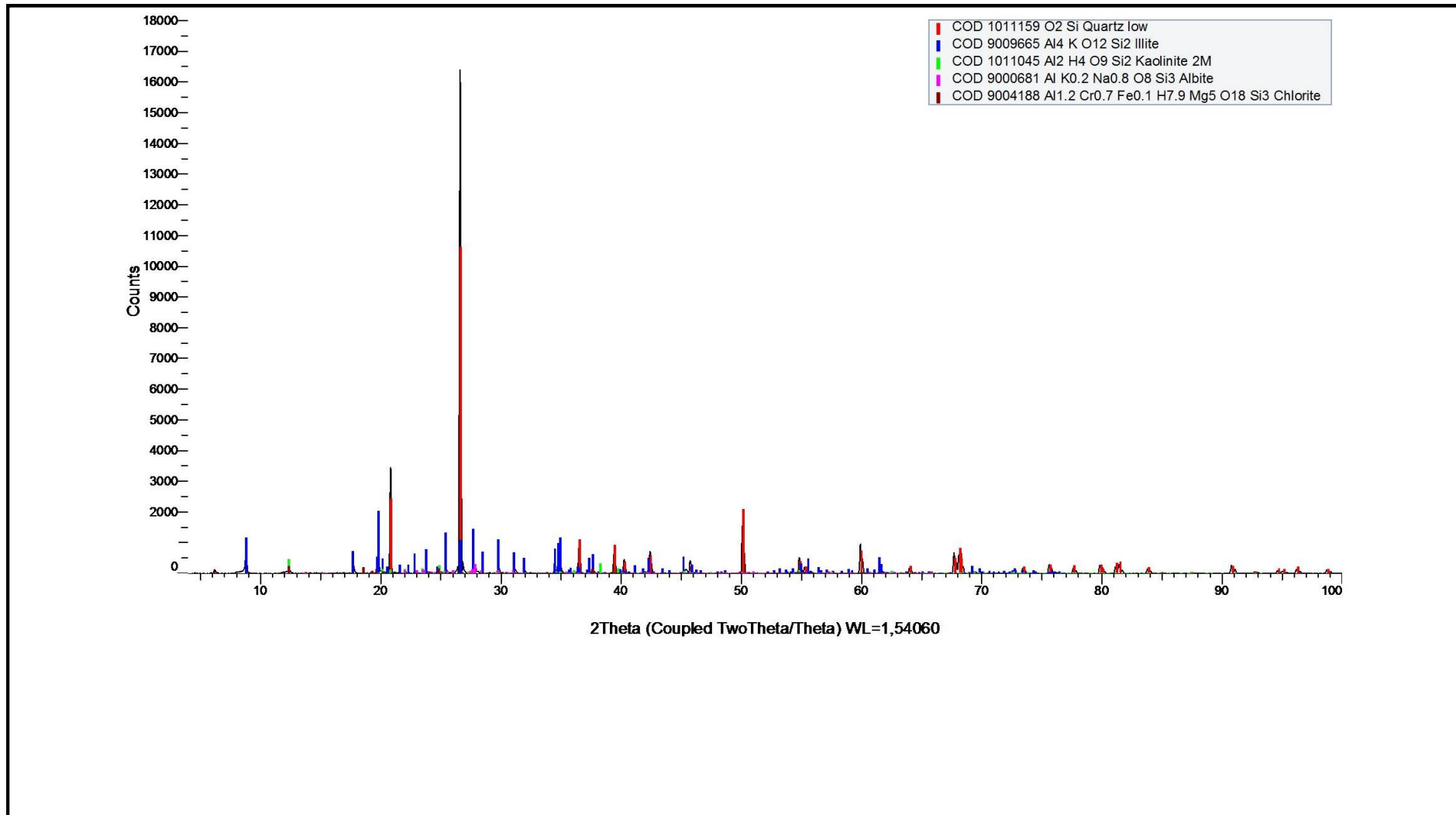
Afloramiento 6



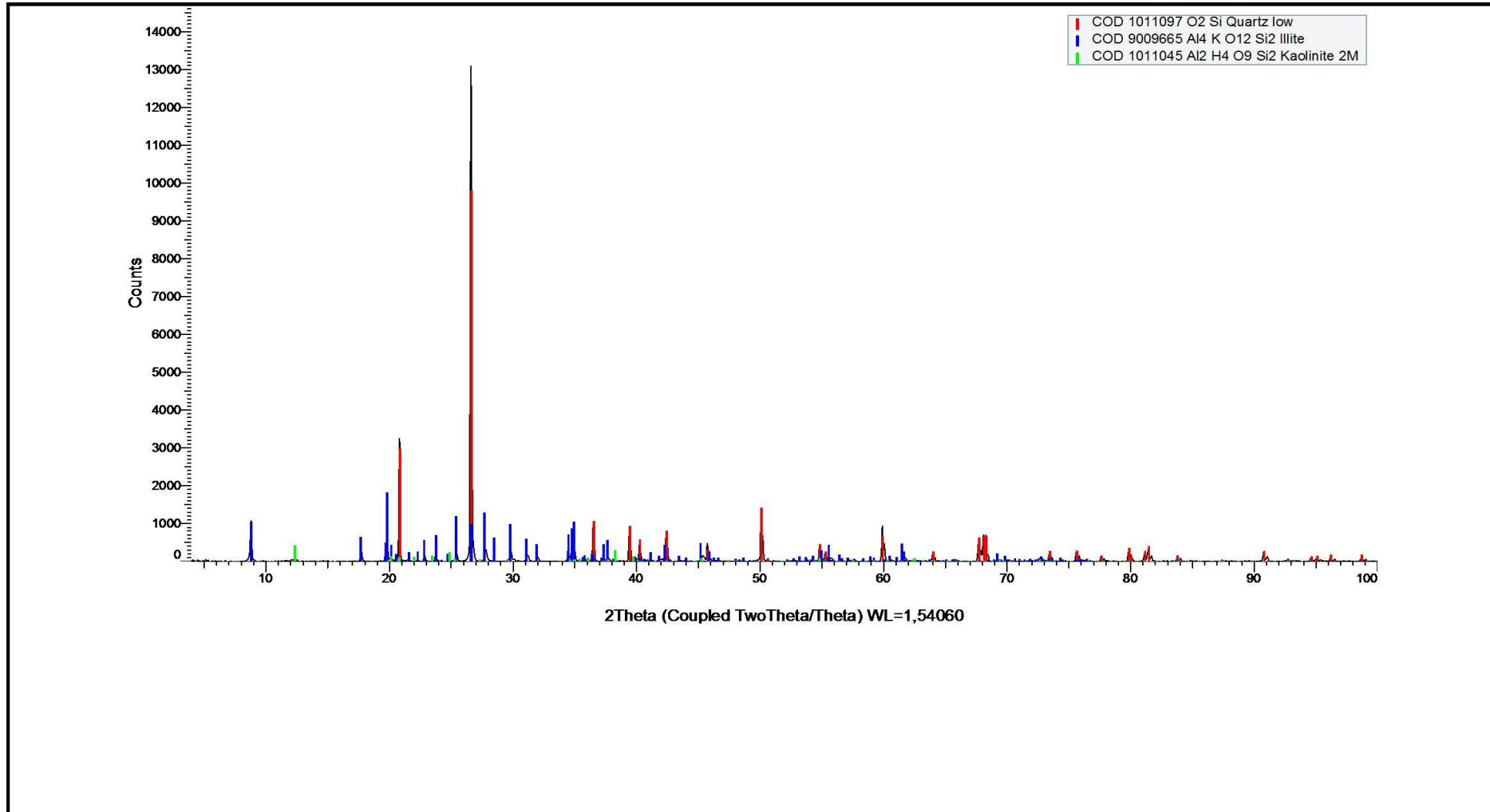
Afloramiento 7



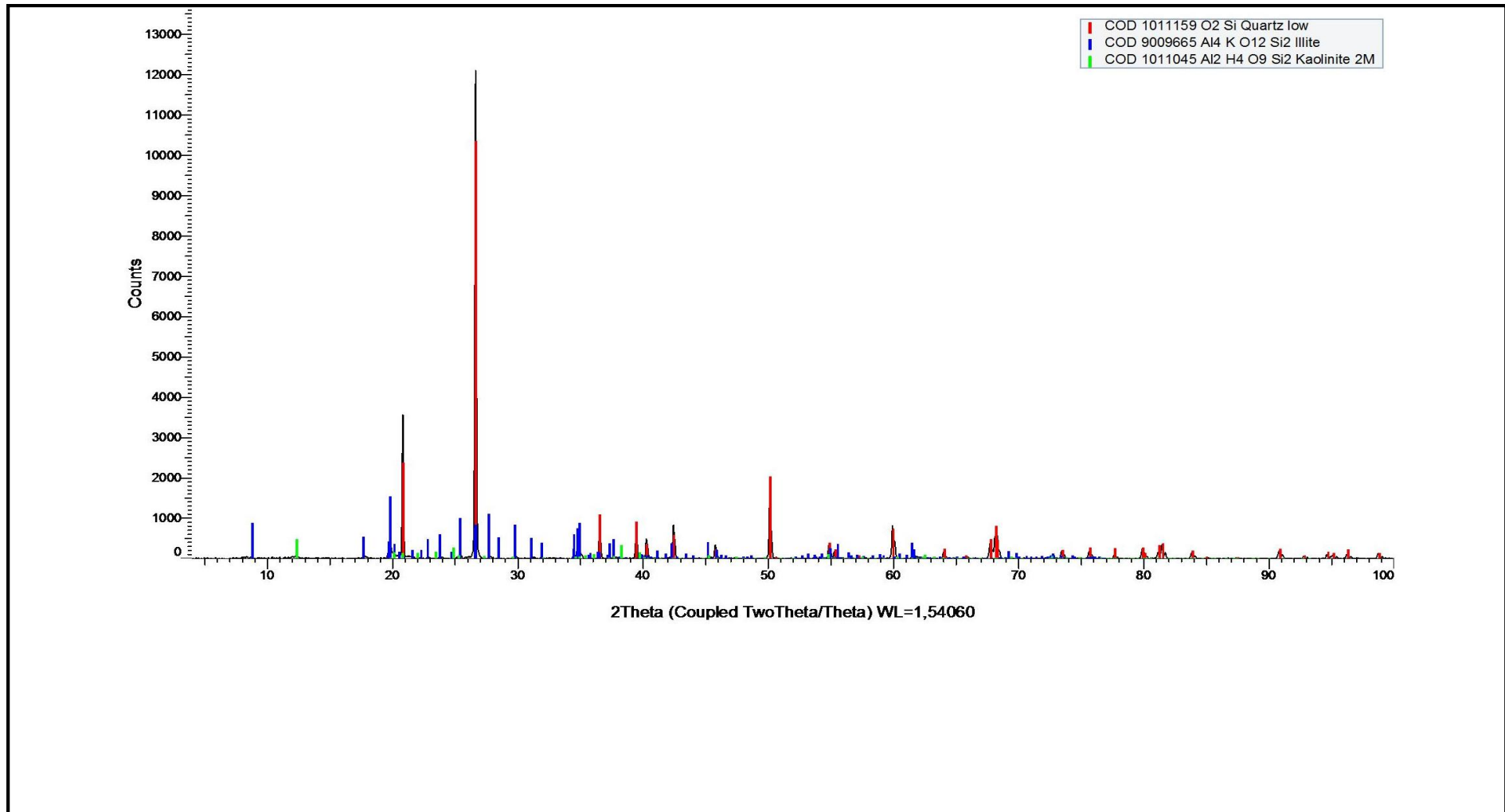
Afloramiento 8









Afloramiento 9



Afloramiento 10



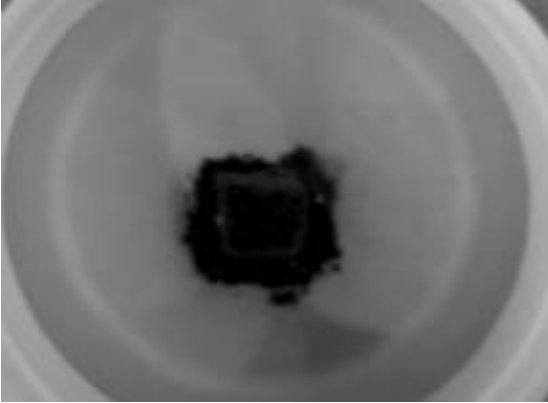
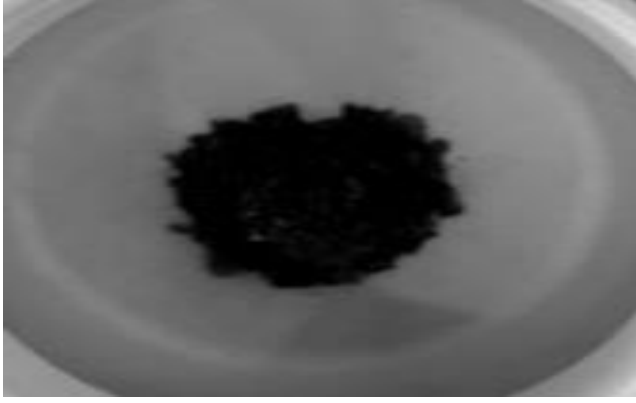

ANEXO IV: ENSAYO DE CRUMB

ENSAYO CRUMB (NORMA USBR 5400-89)															
N° de Afloramiento		1		Coordenadas		X:700433		Y:9552043		Z: 2224		Índice de plasticidad		14	
Observaciones:		No presenta un halo dispersivo en ninguno de los líquidos.													
AGUA															
2 minutos				1 hora				6 horas							
Grado	1	°C	18	Grado	1	°C	18	Grado	1	°C	18				
															
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	2	Coordenadas	X: 700514	Y: 9553783	Z: 2315	Indice de plasticidad	5
Observaciones:	El cubo se desmorona pero no se muestra un halo de dispersión.						

AGUA

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


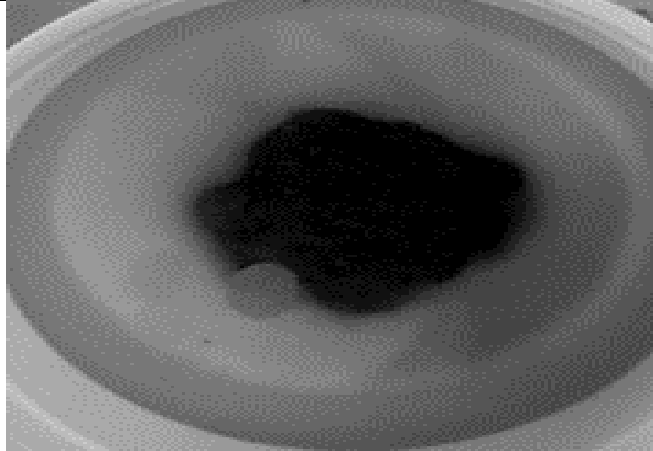

AGUA DESTILADA

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


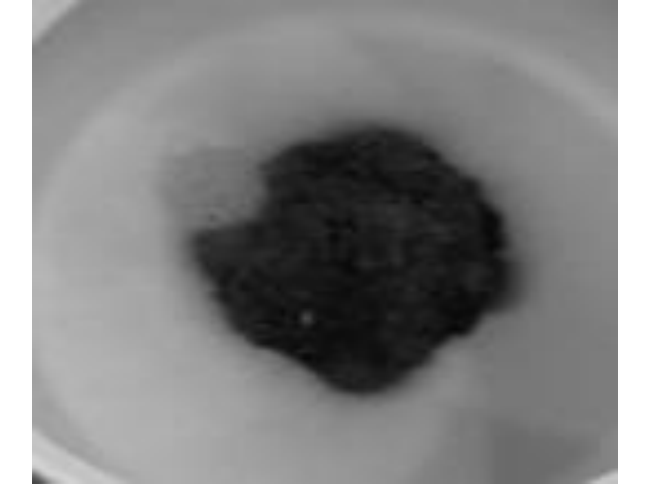
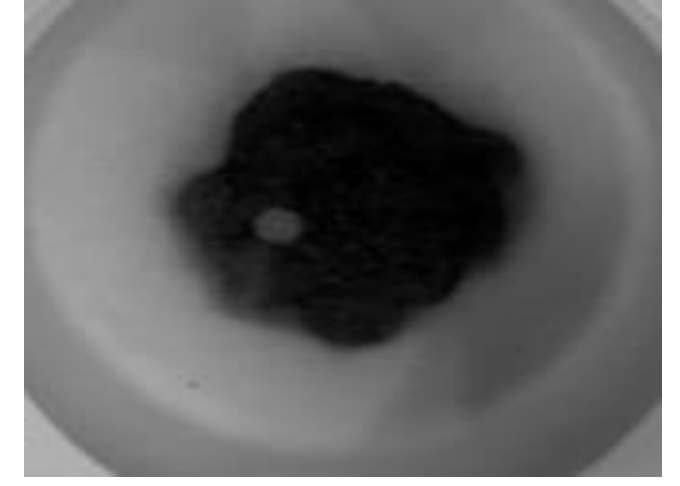
ENSAYO CRUMB (NORMA USBR 5400-89)

N° de Afloramiento	4	Coordenadas	X: 700313	Y: 9555103	Z: 2179	Indice de plasticidad	16
Observaciones:	Se muestra un leve grado de dispersión grado 2.						

AGUA

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


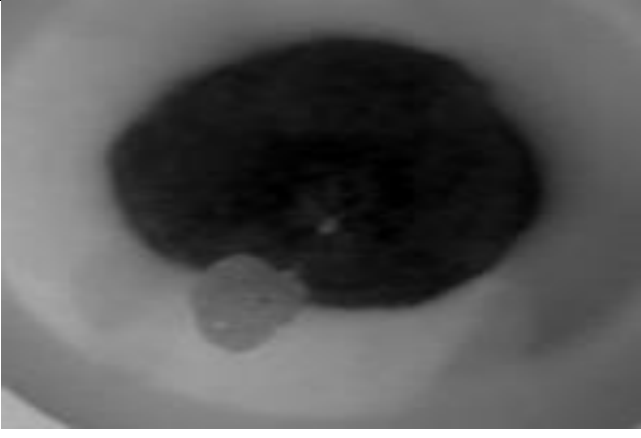
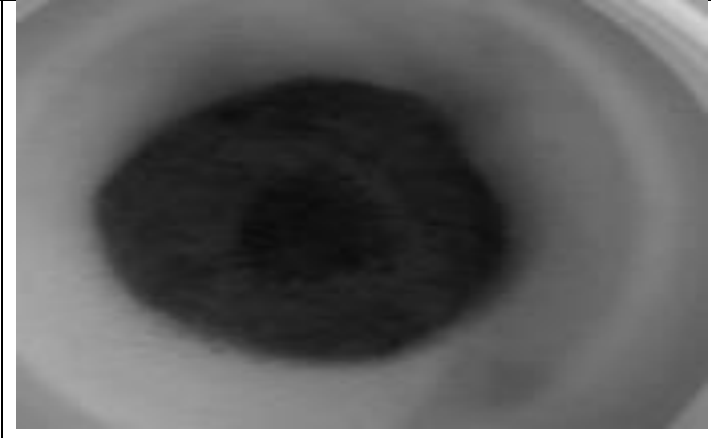
AGUA DESTILADA

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




ENSAYO CRUMB (NORMA USBR 5400-89)

N° de Afloramiento	5	Coordenadas	X:699906.00	Y:9554680.00	Z:2116.00	Indice de plasticidad	9
Observaciones:	El halo de dispersión es visible en agua normal y agua destilada, sin embargo en agua destilada alcanza un valor de 4.						

AGUA

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

AGUA DESTILADA

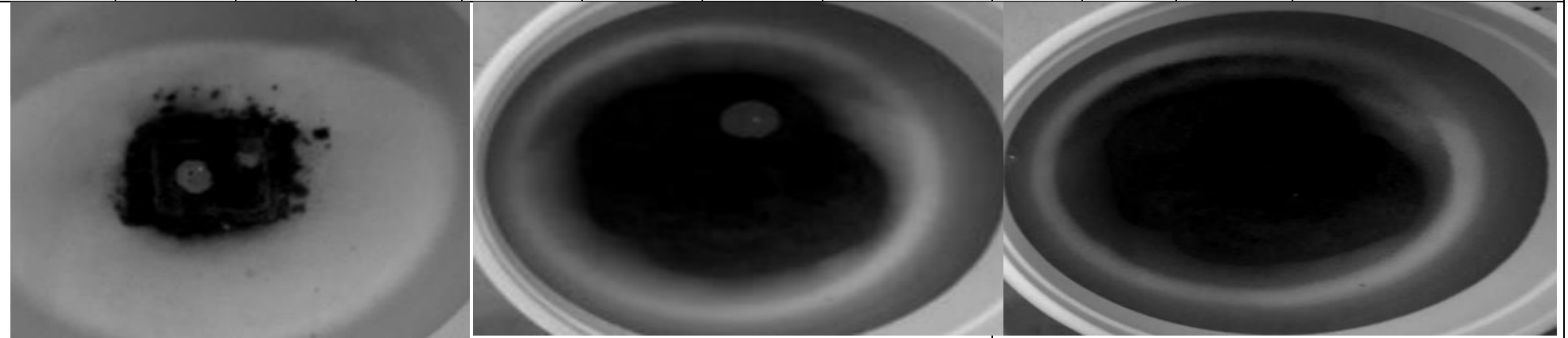
2 minutos				1 hora				6 horas			
Grado	1	°C	18	Grado	3	°C	18	Grado	4	°C	17
											

ENSAYO CRUMB (NORMA USBR 5400-89)

N° de Afloramiento	7	Coordenadas	X:701302.00	Y:9555582.00	Z:2136.00	Indice de plasticidad	9
Observaciones:	La muestra presenta gran dispersión en agua normal y en agua destilada alcanzando en ambas un grado 4.						

AGUA

2 minutos				1 hora				6 horas			
Grado	2	°C	18	Grado	3	°C	18	Grado	4	°C	18



AGUA DESTILADA

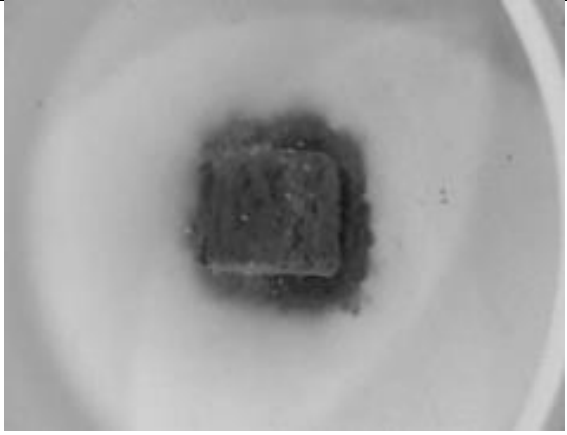


2 minutos				1 hora				6 horas			
Grado	2	°C	18	Grado	3	°C	18	Grado	4	°C	17



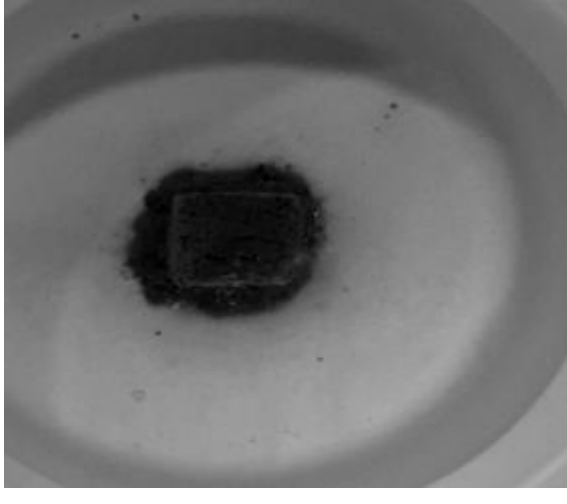

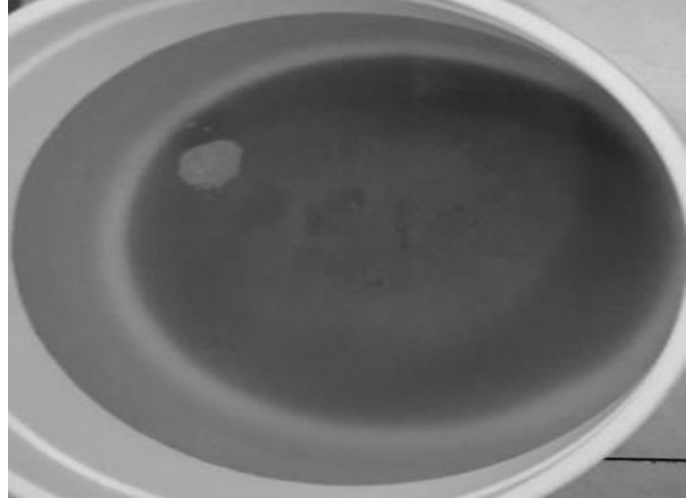
ENSAYO CRUMB (NORMA USBR 5400-89)

N° de Afloramiento	8	Coordenadas	X:701177	Y: 9556284	Z: 2125	Índice de plasticidad	9
Observaciones:	La muestra presenta notable dispersión en agua normal y en agua destilada, en agua normal alcanza un grado 2 y en agua destilada alcanza el valor máximo de 4.						

AGUA

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

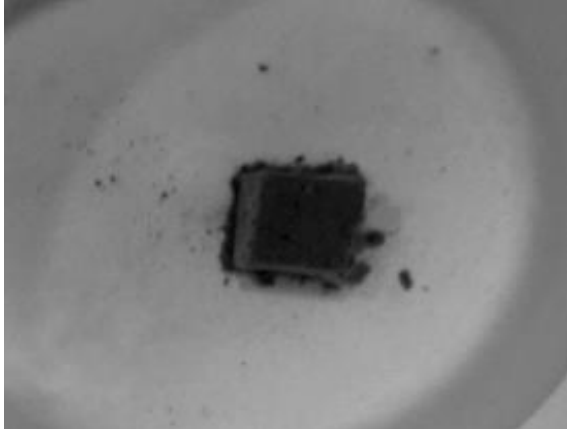


AGUA DESTILADA

2 minutos				1 hora				6 horas			
Grado		°C		Grado		°C		Grado		°C	
2		18		3		18		4		17	
											

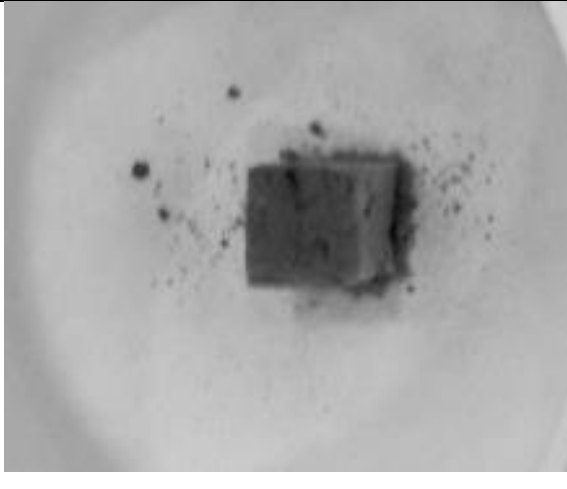


ENSAYO CRUMB (NORMA USBR 5400-89)

N° de Afloramiento	9	Coordenadas	X: 700751	Y: 9556724	Z: 2123.	Índice de plasticidad	11
Observaciones:	En ambos líquidos presenta cierto grado de dispersión, en agua normal presenta grado 2 y en agua destilada muestra grado 3.						

AGUA

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

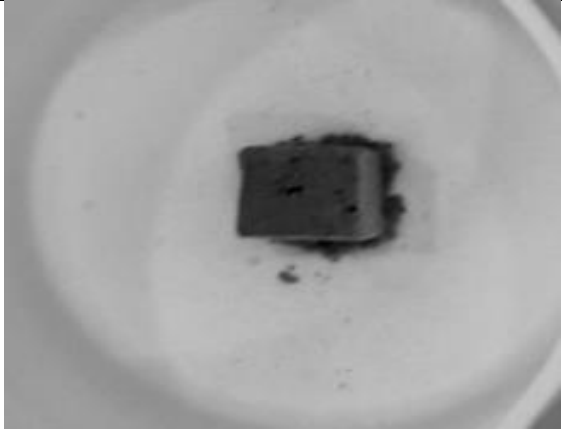
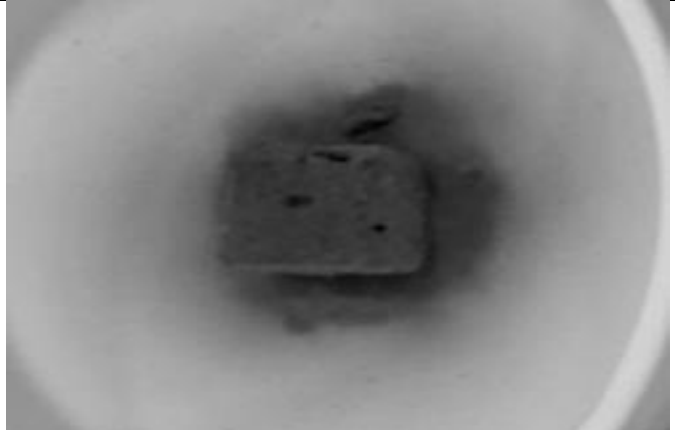
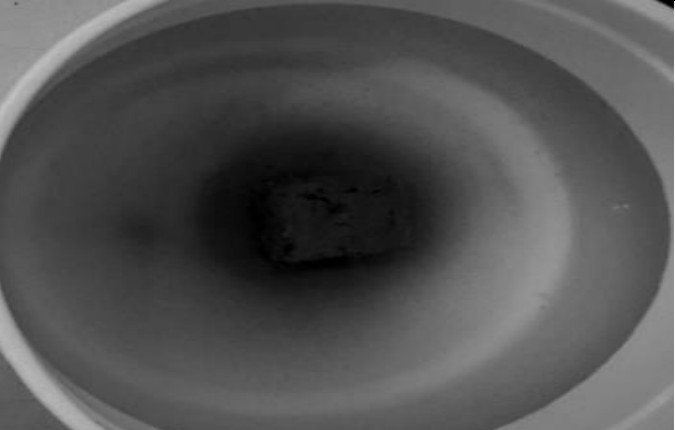
AGUA DESTILADA

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


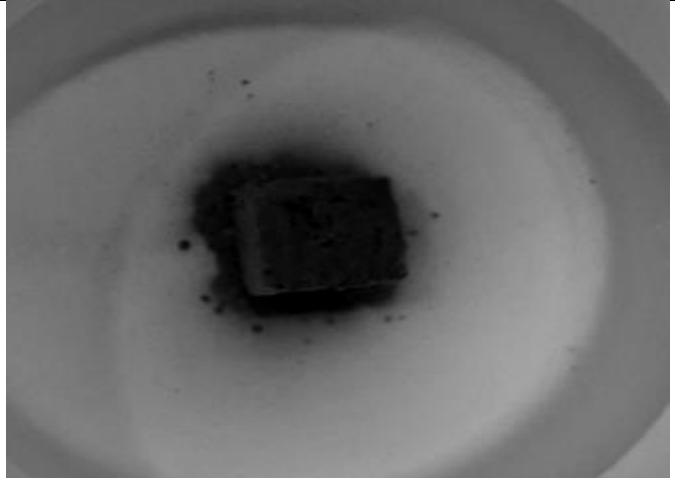
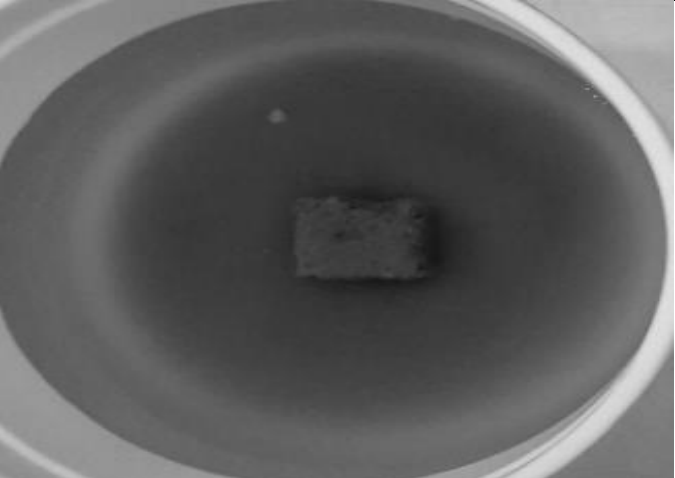
ENSAYO CRUMB (NORMA USBR 5400-89)

N° de Afloramiento	10	Coordenadas	X: 700671	Y: 9557685	Z: 2101	Índice de plasticidad	16
Observaciones:	Se muestra indicios de dispersión en ambos líquidos en agua normal llega a un grado 3 y en agua destilada hasta un grado 4.						

AGUA

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

AGUA DESTILADA

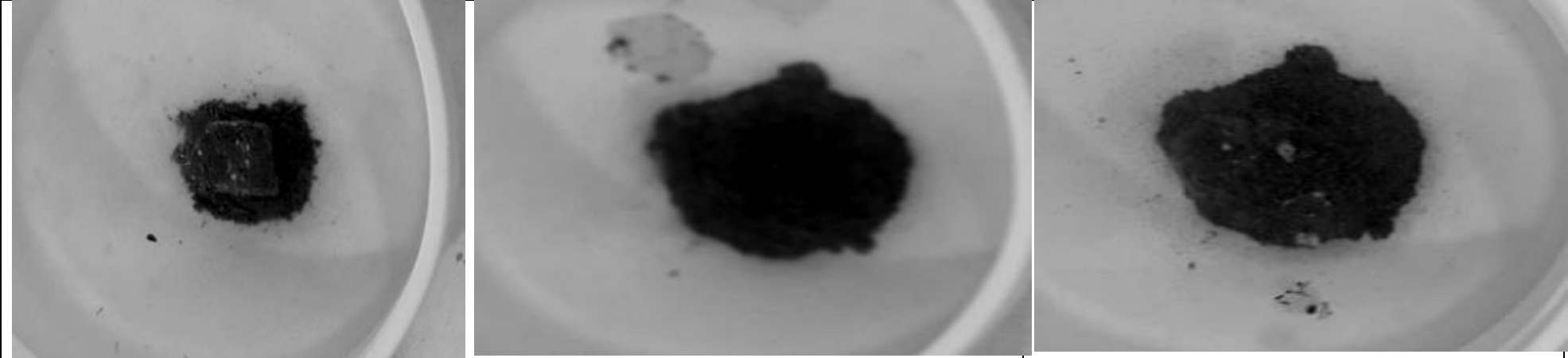
2 minutos				1 hora				6 horas			
Grado	1	°C	18	Grado	2	°C	18	Grado	4	°C	17
											

ENSAYO CRUMB (NORMA USBR 5400-89)

N° de Afloramiento	11	Coordenadas	X: 701325	Y: 9556481	Z: 2106	Indice de plasticidad	10
Observaciones:	La muestra se desmorona en ambos líquidos pero no se presenta un halo de dispersión notable, en ambas se llega a un máximo de 2.						

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

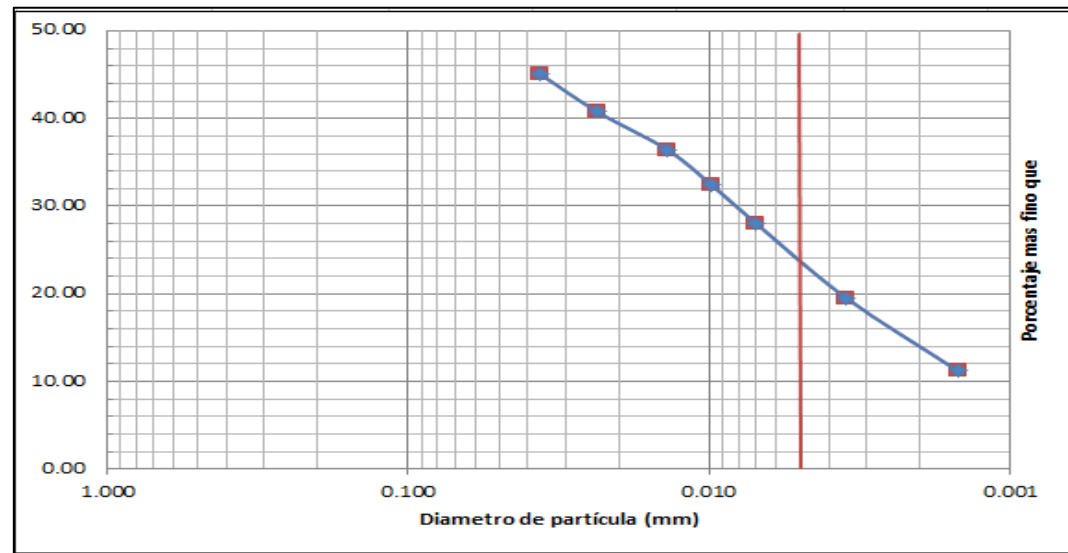


ANEXO V: DOBLE HIDRÓMETRO

AFLORAMIENTO 1

NORMA ASTM 422-63									
Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	P	Rcl=R	L (cm)	K	D (mm)
2	25	20.8	1.82	20.92	45.06	26	12.0	0.0149	0.036
5	23	20.8	1.82	18.92	40.75	23	12.5	0.0149	0.023
15	21	20.8	1.82	16.92	36.45	21	12.9	0.0149	0.014
30	19	21.1	1.94	15.04	32.40	19	13.2	0.0148	0.010
60	17	21.1	1.94	13.04	28.09	17	13.5	0.0148	0.007
250	13	21.2	1.98	9.08	19.56	13	14.2	0.0148	0.004
1440	9	21.5	2.1	5.2	11.20	9	14.8	0.0147	0.001

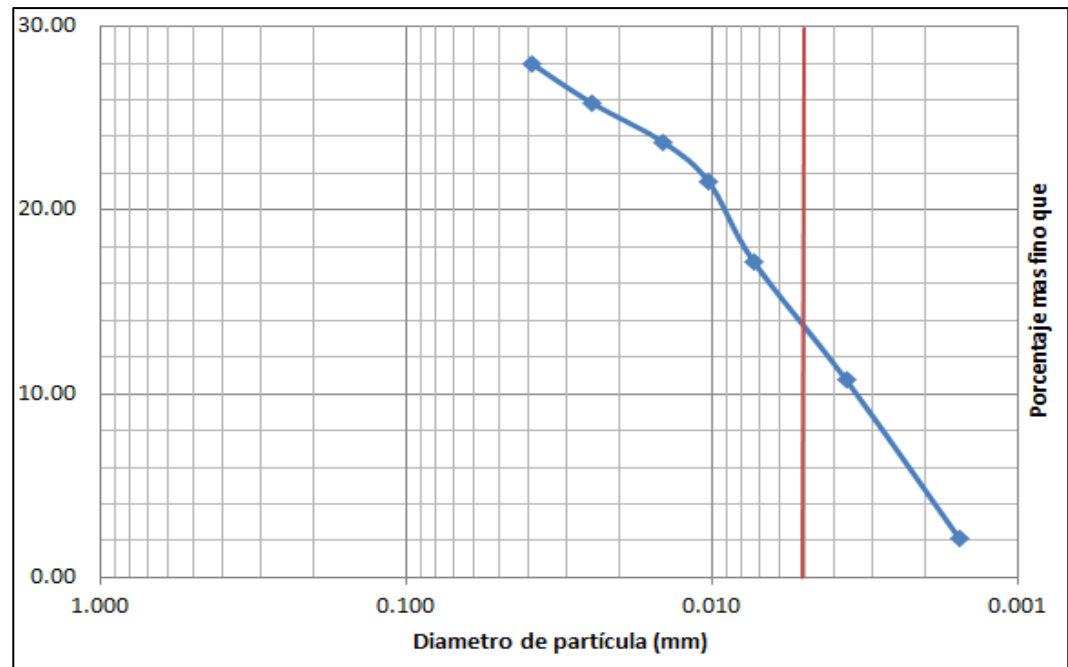
Porcentaje que pasa 5 um	24%
--------------------------	------------



NORMA ASTM 4221-99								
Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	P	L (cm)	K	D (mm)
2	12	21.8	0.68	13	28.00	14.2	0.0147	0.039
5	11	21.8	0.68	12	25.85	14.3	0.0147	0.025
15	10	21.8	0.68	11	23.69	14.5	0.0147	0.014
30	9	21.8	0.68	10	21.54	14.7	0.0147	0.010
60	7	21.8	0.68	8	17.23	15.0	0.0147	0.007
250	4	21.9	0.69	5	10.77	15.5	0.0147	0.004
1440	0	21.4	0.64	1	2.15	16.1	0.0147	0.002

Porcentaje que pasa fino 5 um (Norma 4221)	14%
--	------------

% DISPERSIÓN	56.00	dispersivo
--------------	--------------	------------



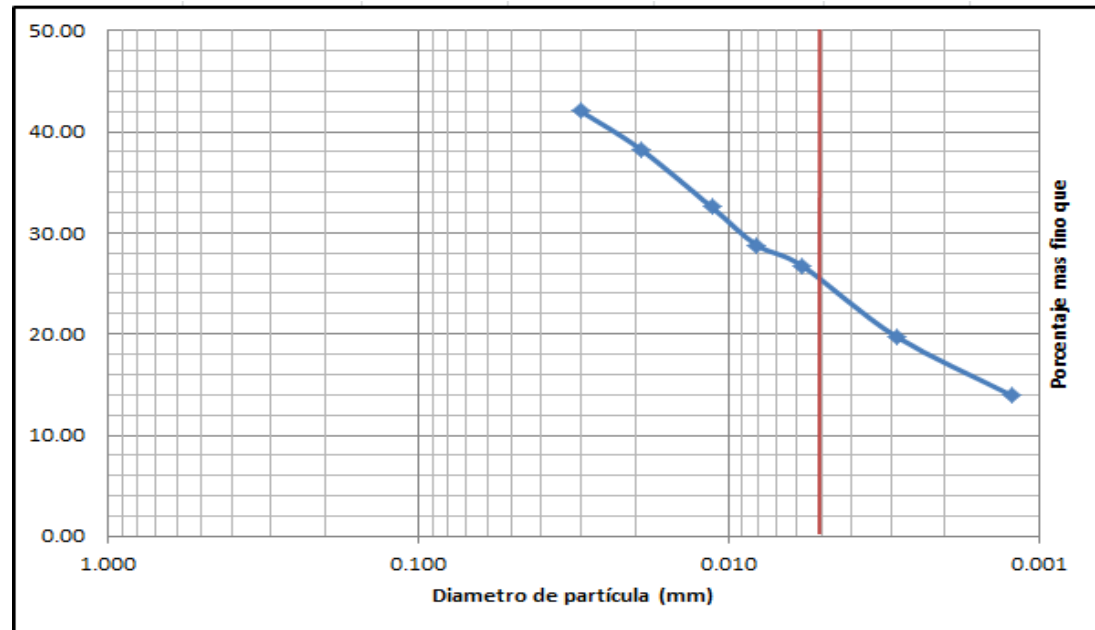
AFLORAMIENTO 2

NORMA ASTM 422-63

Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	P	Rcl=R	L (cm)	K	D (mm)
2	26	21.8	2.22	22.32	42.05	27	11.9	0.0123	0.030
5	24	21.8	2.22	20.32	38.28	25	12.2	0.0123	0.019
15	21	21.7	2.18	17.28	32.56	22	12.7	0.0123	0.011
30	19	21.7	2.18	15.28	28.79	20	13.0	0.0123	0.008
60	18	21.5	2.1	14.2	26.75	19	13.2	0.0123	0.006
250	14	22.2	2.38	10.48	19.74	15	13.8	0.0122	0.003
1440	11	22	2.3	7.4	13.94	12	14.3	0.0123	0.001

Porcentaje que pasa 5 μ m

25%



NORMA ASTM 4221-99

Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	P	L (cm)	K	D (mm)
2	14	21.8	0.68	15	28.26	13.8	0.0123	0.032
5	12	21.8	0.68	13	24.49	14.2	0.0123	0.021
15	10	21.8	0.68	11	20.72	14.5	0.0123	0.012
30	8	21.8	0.68	9	16.96	14.8	0.0123	0.009
60	5	21.8	0.68	6	11.30	15.3	0.0123	0.006
250	3	21.9	0.69	4	7.54	15.6	0.0123	0.003
1440	2	21.4	0.64	3	5.65	15.8	0.0123	0.001

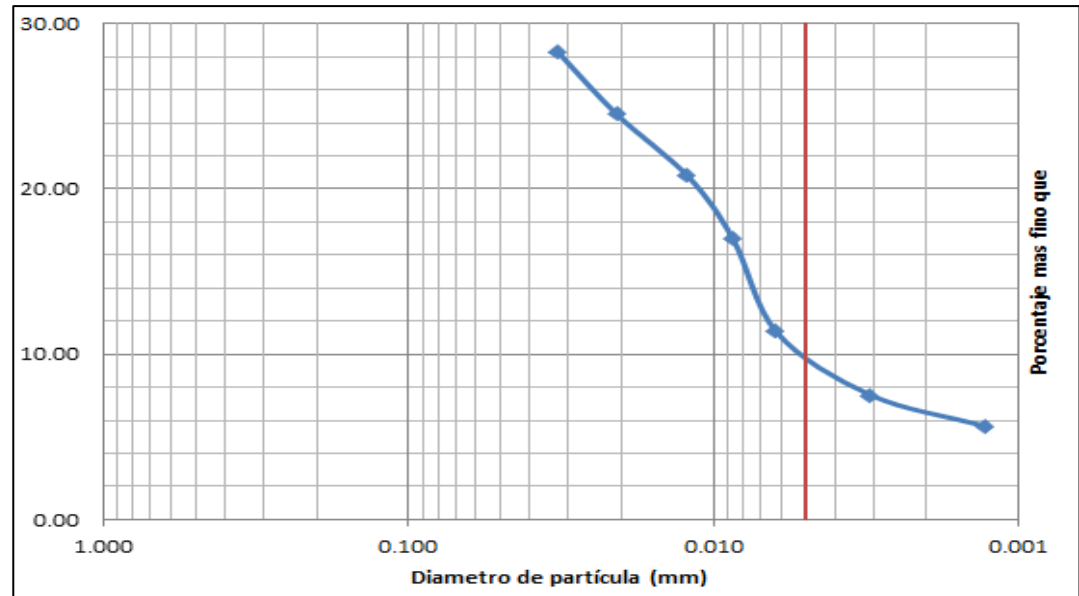
Porcentaje que pasa fino 5 um (Norma 4221)

10%

% DISPERSIÓN

40.00

Intermedio



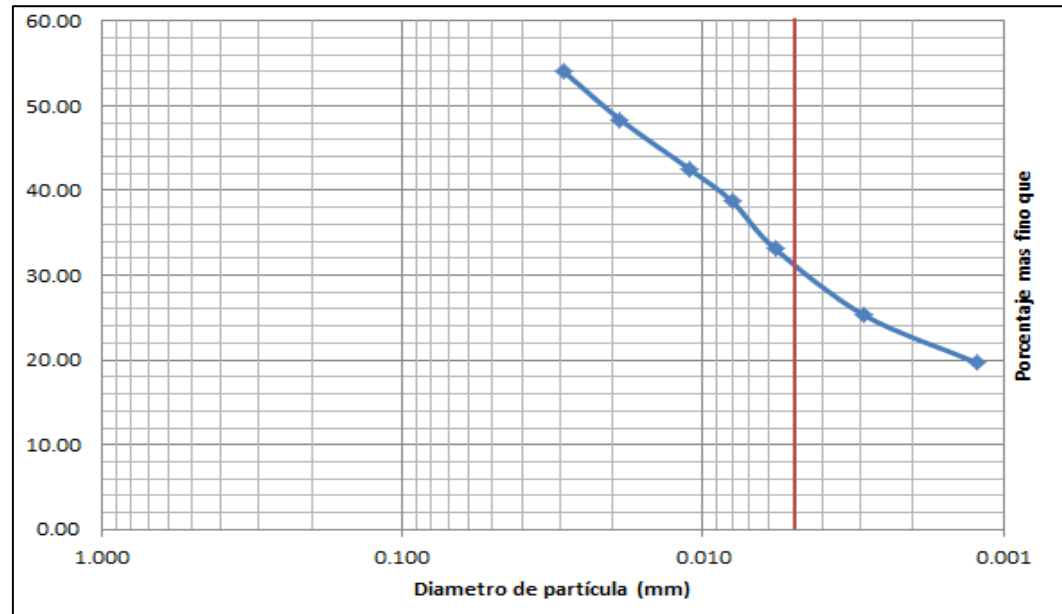
AFLORAMIENTO 3

NORMA ASTM 422-63

Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	P	Rcl=R	L (cm)	K	D (mm)
2	32	21.9	2.26	28.36	54.11	33	10.9	0.0125	0.029
5	29	21.9	2.26	25.36	48.39	30	11.4	0.0125	0.019
15	26	21.8	2.22	22.32	42.59	27	11.9	0.0125	0.011
30	24	21.7	2.18	20.28	38.69	25	12.2	0.0125	0.008
60	21	21.9	2.26	17.36	33.12	22	12.7	0.0125	0.006
250	17	21.6	2.14	13.24	25.26	18	13.3	0.0125	0.003
1440	14	21.8	2.22	10.32	19.69	15	13.8	0.0125	0.001

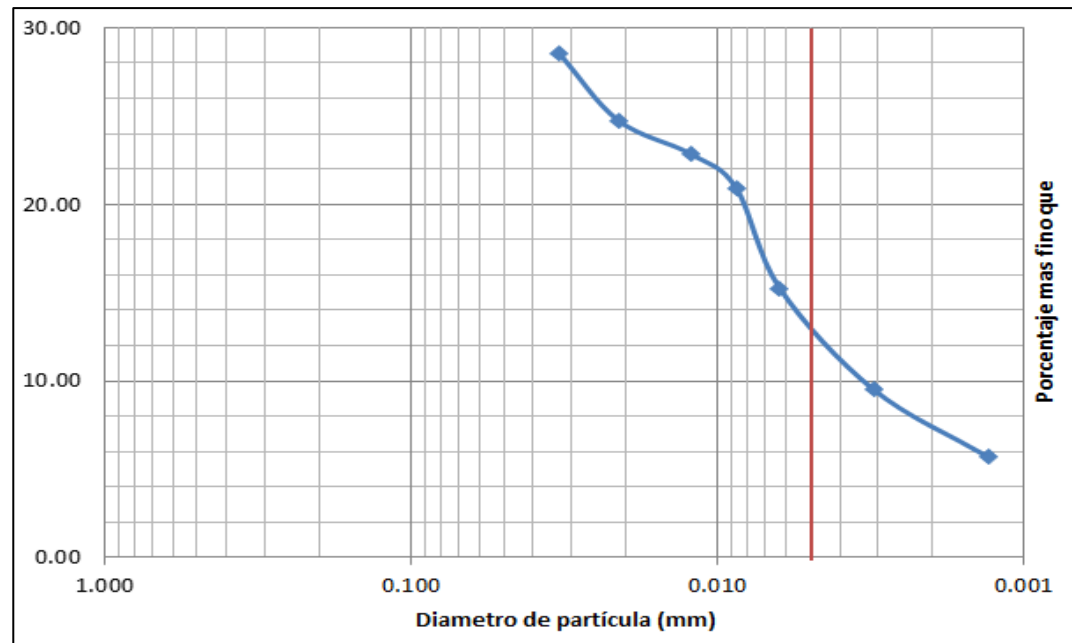
Porcentaje que pasa 5 μ m

31%



NORMA ASTM 4221-99								
Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	P	L (cm)	K	D (mm)
2	14	21.2	0.62	15	28.56	13.8	0.0126	0.033
5	12	21.2	0.62	13	24.75	14.2	0.0126	0.021
15	11	21.2	0.62	12	22.85	14.3	0.0126	0.012
30	10	21.2	0.62	11	20.94	14.5	0.0126	0.009
60	7	21.2	0.62	8	15.23	15.0	0.0126	0.006
250	4	21.7	0.67	5	9.52	15.5	0.0125	0.003
1440	2	21.2	0.62	3	5.71	15.8	0.0126	0.001
Porcentaje que pasa fino 5 um (Norma 4221)		13%						

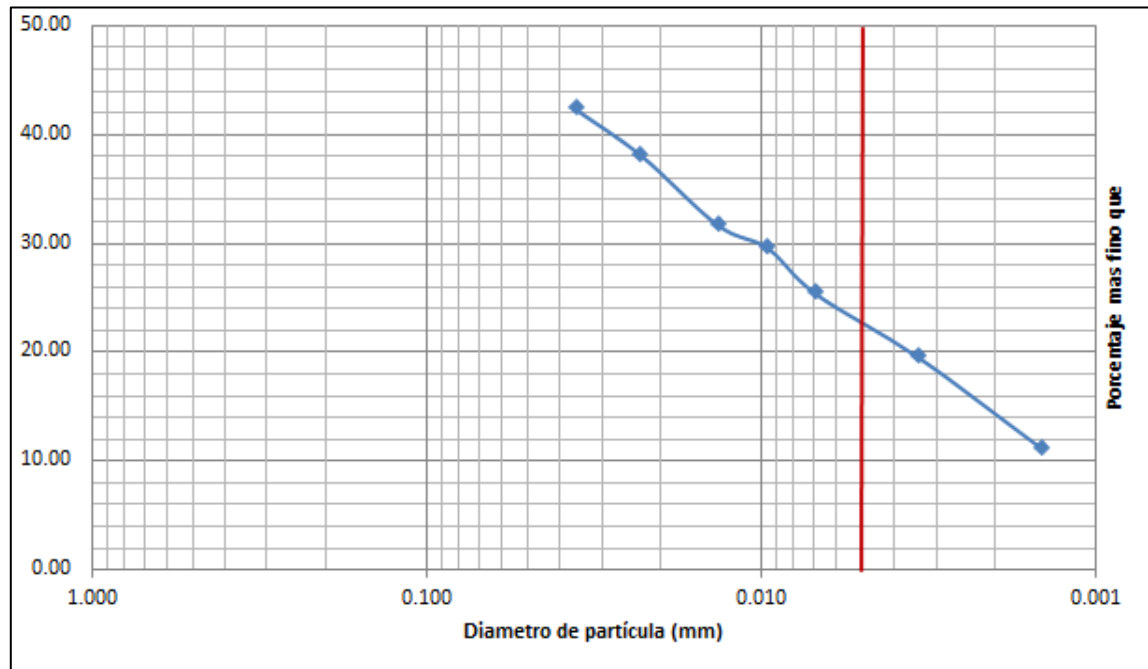
% DISPERSIÓN	39.39	Intermedio
---------------------	--------------	------------



AFLORAMIENTO 4

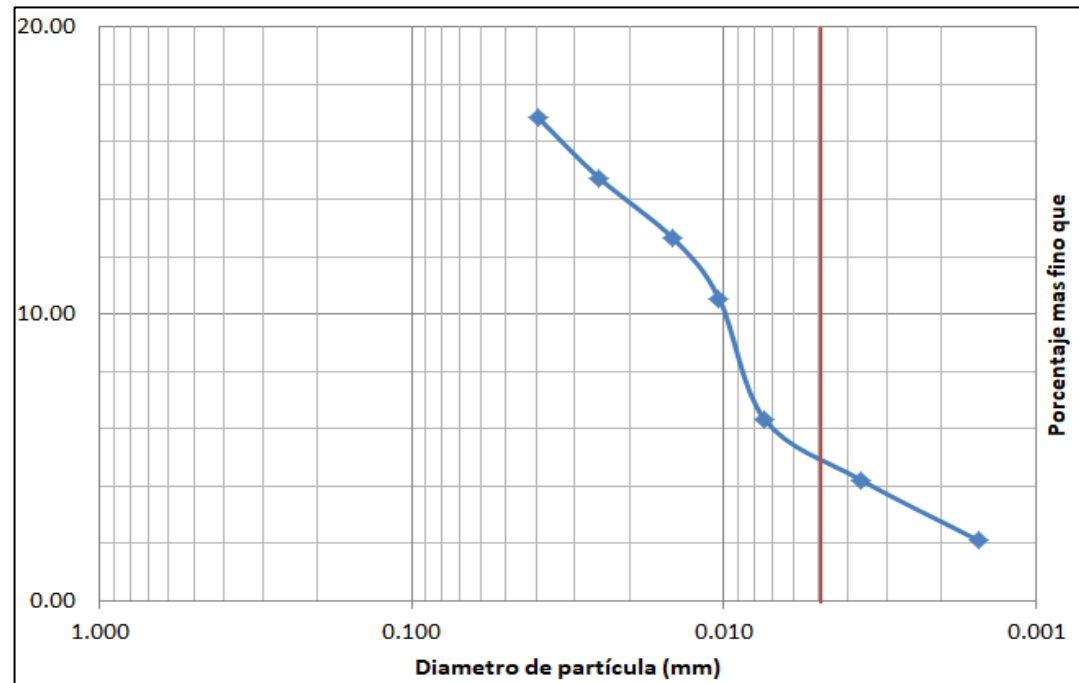
NORMA ASTM 422-63									
Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	P	Rcl=R	L (cm)	K	D (mm)
2	24	21.2	1.98	20.08	42.29	24	12.4	0.0144	0.036
5	22	21.2	1.98	18.08	38.08	22	12.7	0.0144	0.023
15	19	21.1	1.94	15.04	31.67	19	13.2	0.0144	0.014
30	18	21.1	1.94	14.04	29.57	18	13.3	0.0144	0.010
60	16	21.1	1.94	12.04	25.36	16	13.7	0.0144	0.007
250	13	21.7	2.18	9.28	19.54	13	14.2	0.0143	0.003
1440	9	21.7	2.18	5.28	11.12	9	14.8	0.0143	0.001

Porcentaje que pasa 5 um	23%
---------------------------------	------------



NORMA ASTM 4221-99								
Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	P	L (cm)	K	D (mm)
2	7	21.2	0.62	8	16.85	15.0	0.0144	0.039
5	6	21.2	0.62	7	14.74	15.2	0.0144	0.025
15	5	21.2	0.62	6	12.64	15.3	0.0144	0.015
30	4	21.2	0.62	5	10.53	15.5	0.0144	0.010
60	2	21.2	0.62	3	6.32	15.8	0.0144	0.007
250	1	21.7	0.67	2	4.21	16.0	0.0143	0.004
1440	0	21.2	0.62	1	2.11	16.1	0.0144	0.002
Porcentaje que pasa fino 5 um (Norma 4221)		5%						

% DISPERSIÓN	20	No dispersivo
---------------------	-----------	---------------

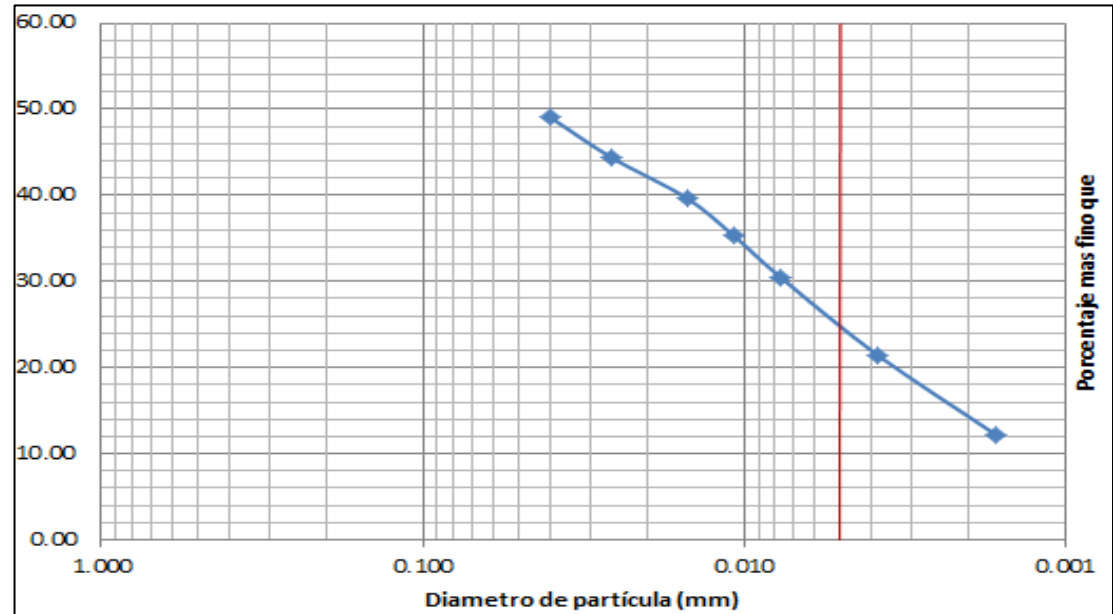


AFLORAMIENTO 5

NORMA ASTM 422-63

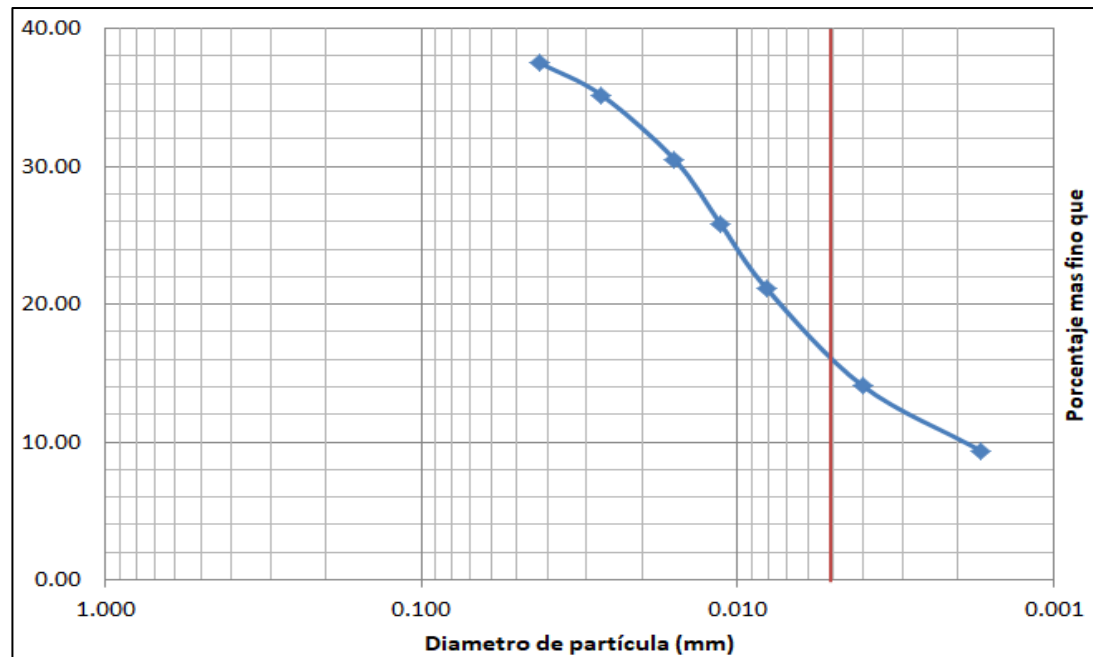
Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	P	Rcl=R	L (cm)	K	D (mm)
2	25	20.8	1.82	20.92	49.08	26	12.0	0.0164	0.040
5	23	20.8	1.82	18.92	44.39	24	12.4	0.0164	0.026
15	21	20.8	1.82	16.92	39.69	22	12.7	0.0164	0.015
30	19	21.1	1.94	15.04	35.28	20	13.0	0.0163	0.011
60	17	21	1.9	13	30.50	18	13.3	0.0163	0.008
250	13	21.4	2.06	9.16	21.49	14	14.0	0.0163	0.004
1440	9	21.5	2.1	5.2	12.20	10	14.7	0.0163	0.002

Porcentaje que pasa 5 um	24%
---------------------------------	------------



NORMA ASTM 4221-99								
Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	P	L (cm)	K	D (mm)
2	15	21.6	0.66	16	37.54	13.7	0.0162	0.043
5	14	21.6	0.66	15	35.19	13.8	0.0162	0.027
15	12	21.6	0.66	13	30.50	14.2	0.0162	0.016
30	10	21.6	0.66	11	25.81	14.5	0.0162	0.011
60	8	21.6	0.66	9	21.11	14.8	0.0162	0.008
250	5	21.8	0.68	6	14.08	15.3	0.0162	0.004
1440	3	21.3	0.63	4	9.38	15.6	0.0163	0.002
Porcentaje que pasa fino 5 um (Norma 4221)		16%						

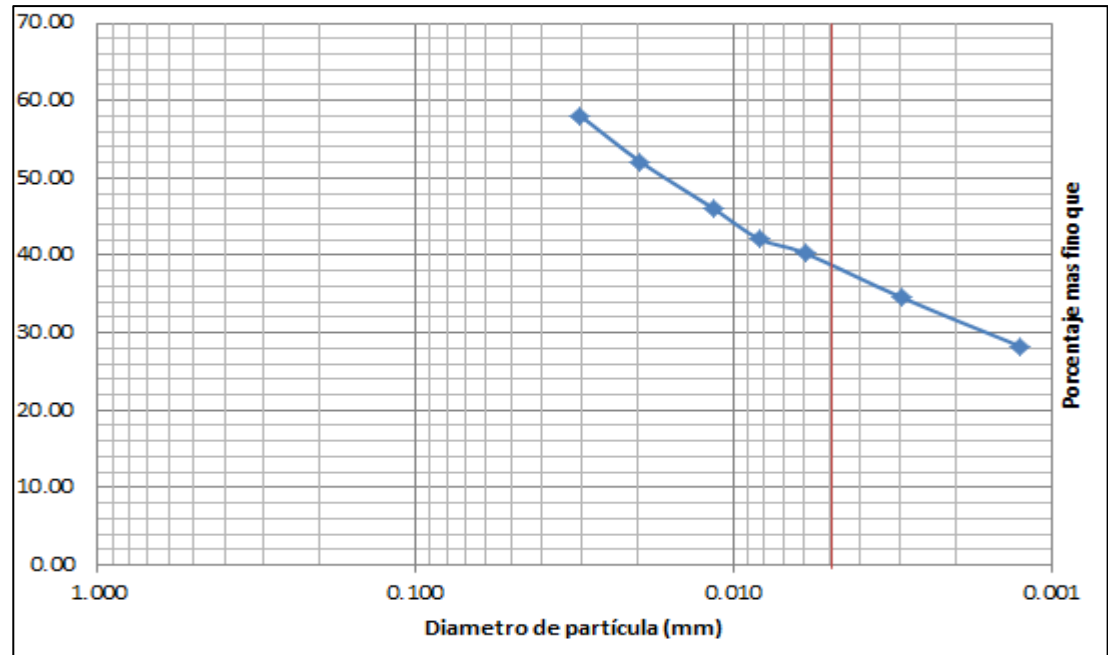
% DISPERSIÓN	59.26	Dispersivo
---------------------	--------------	------------



AFLORAMIENTO 6

NORMA ASTM 422-63									
Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	P	Rcl=R	L (cm)	K	D (mm)
2	33	21.8	2.22	29.32	58.05	34	10.7	0.0132	0.030
5	30	21.8	2.22	26.32	52.11	31	11.2	0.0132	0.020
15	27	21.7	2.18	23.28	46.09	28	11.7	0.0132	0.012
30	25	21.7	2.18	21.28	42.13	26	12.0	0.0132	0.008
60	24	21.8	2.22	20.32	40.23	25	12.2	0.0132	0.006
250	21	22.1	2.34	17.44	34.53	22	12.7	0.0131	0.003
1440	18	21.7	2.18	14.28	28.27	19	13.2	0.0132	0.001

Porcentaje que pasa 5 um	38%
---------------------------------	---



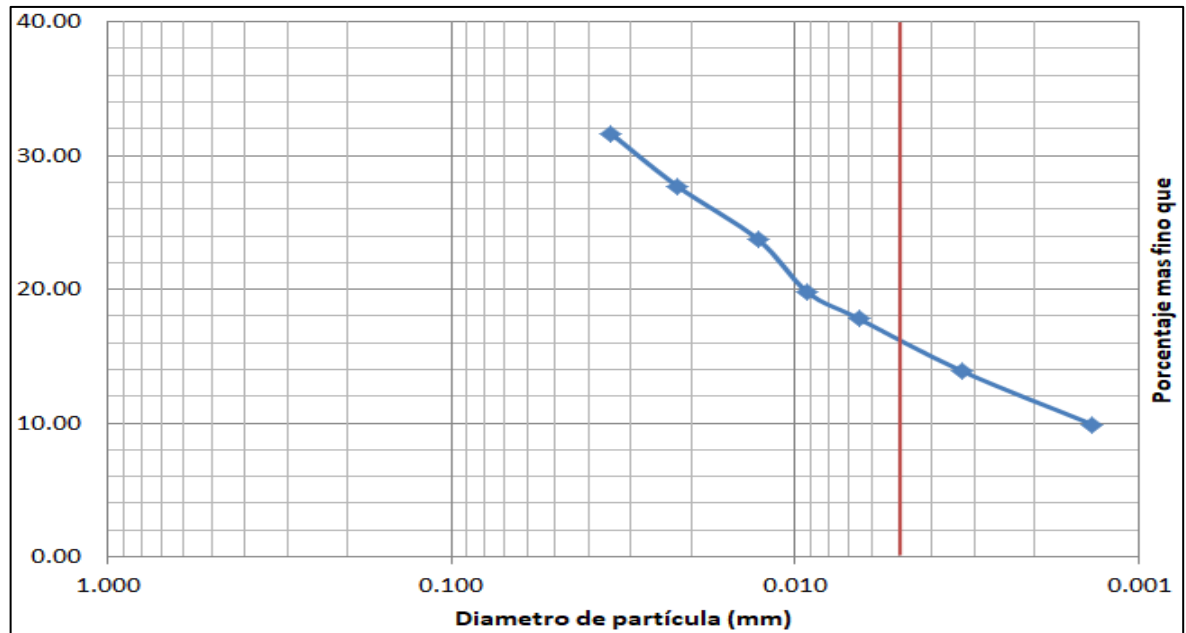
NORMA ASTM 4221-99

Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	P	L (cm)	K	D (mm)
2	15	21.8	0.68	16	31.68	13.7	0.0132	0.034
5	13	21.8	0.68	14	27.72	14.0	0.0132	0.022
15	11	21.8	0.68	12	23.76	14.3	0.0132	0.013
30	9	21.8	0.68	10	19.80	14.7	0.0132	0.009
60	8	21.8	0.68	9	17.82	14.8	0.0132	0.007
250	6	21.7	0.67	7	13.86	15.2	0.0132	0.003
1440	4	21.9	0.69	5	9.90	15.5	0.0131	0.001

Porcentaje que pasa fino 5 um (Norma 4221)

16%

% DISPERSIÓN **40.00** Intermedio

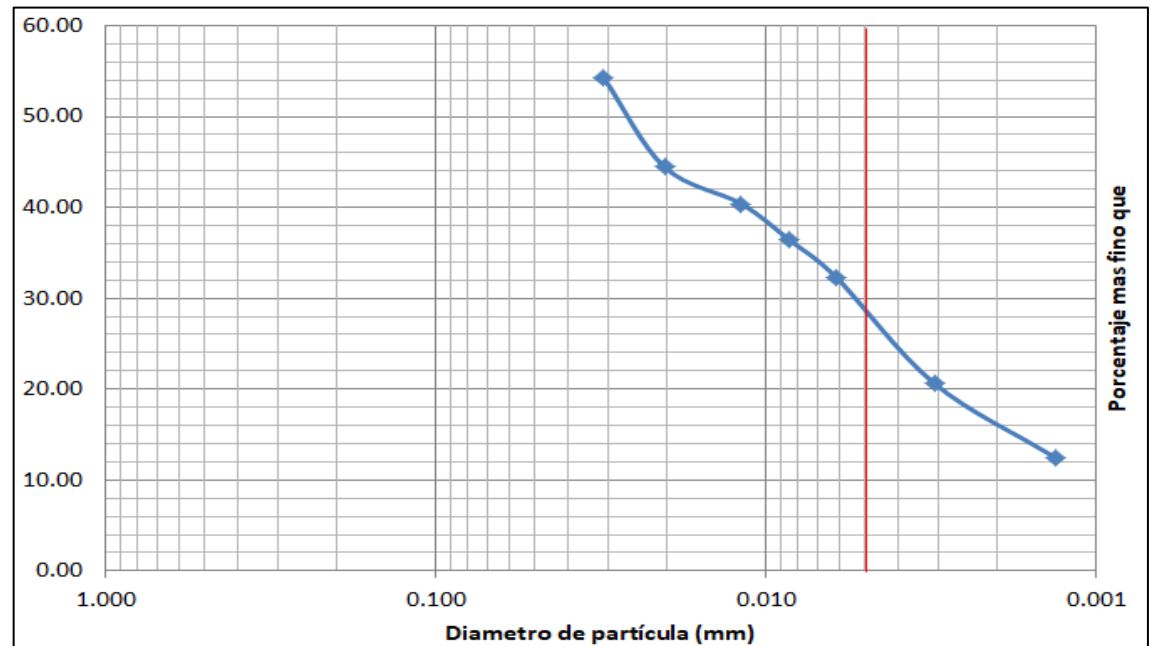


AFLORAMIENTO 7

NORMA ASTM 422-63

Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	P	Rcl=R	L (cm)	K	D (mm)
2	31	21.9	2.26	27.36	54.28	32	11.1	0.0132	0.031
5	26	22	2.3	22.4	44.44	27	11.9	0.0132	0.020
15	24	21.9	2.26	20.36	40.39	25	12.2	0.0132	0.012
30	22	21.9	2.26	18.36	36.43	23	12.5	0.0132	0.009
60	20	21.7	2.18	16.28	32.30	21	12.9	0.0132	0.006
250	14	22	2.3	10.4	20.63	15	13.8	0.0132	0.003
1440	10	21.7	2.18	6.28	12.46	11	14.5	0.0132	0.001

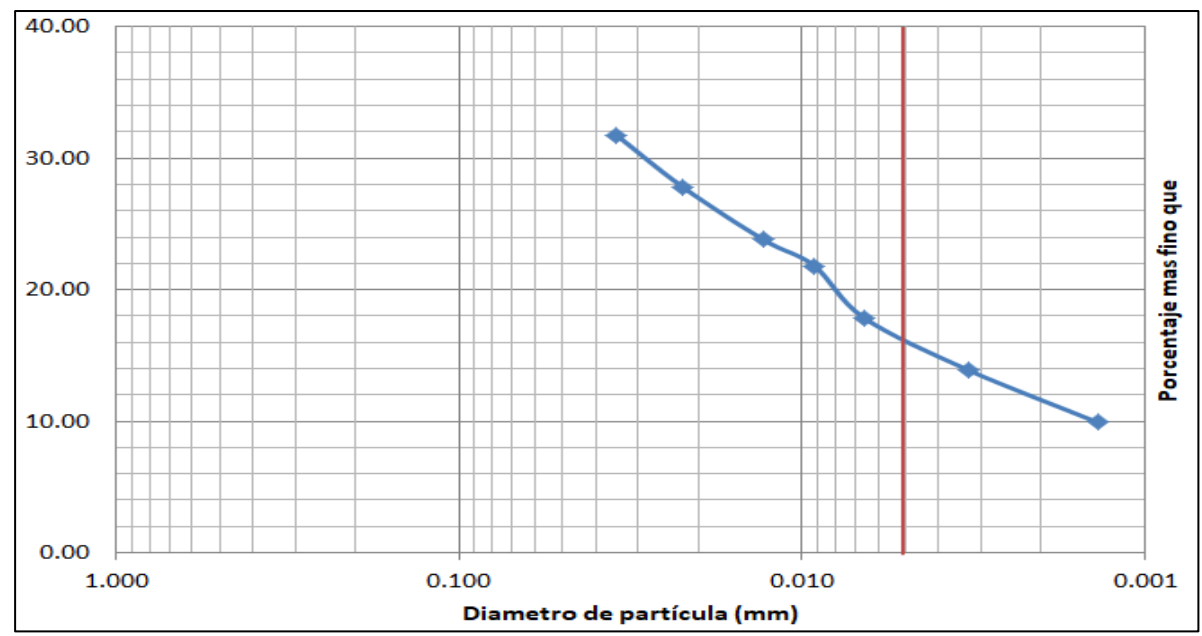
Porcentaje que pasa 5 um	28%
---------------------------------	---



NORMA ASTM 4221-99								
Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	P	L (cm)	K	D (mm)
2	15	21.4	0.64	16	31.74	13.7	0.0133	0.035
5	13	21.4	0.64	14	27.78	14.0	0.0133	0.022
15	11	21.4	0.64	12	23.81	14.3	0.0133	0.013
30	10	21.4	0.64	11	21.82	14.5	0.0133	0.009
60	8	21.4	0.64	9	17.86	14.8	0.0133	0.007
250	6	21.5	0.65	7	13.89	15.2	0.0132	0.003
1440	4	21.6	0.66	5	9.92	15.5	0.0132	0.001

Porcentaje que pasa fino 5 um (Norma 4221)	16%
--	------------

% DISPERSIÓN **57.14** Dispersivo



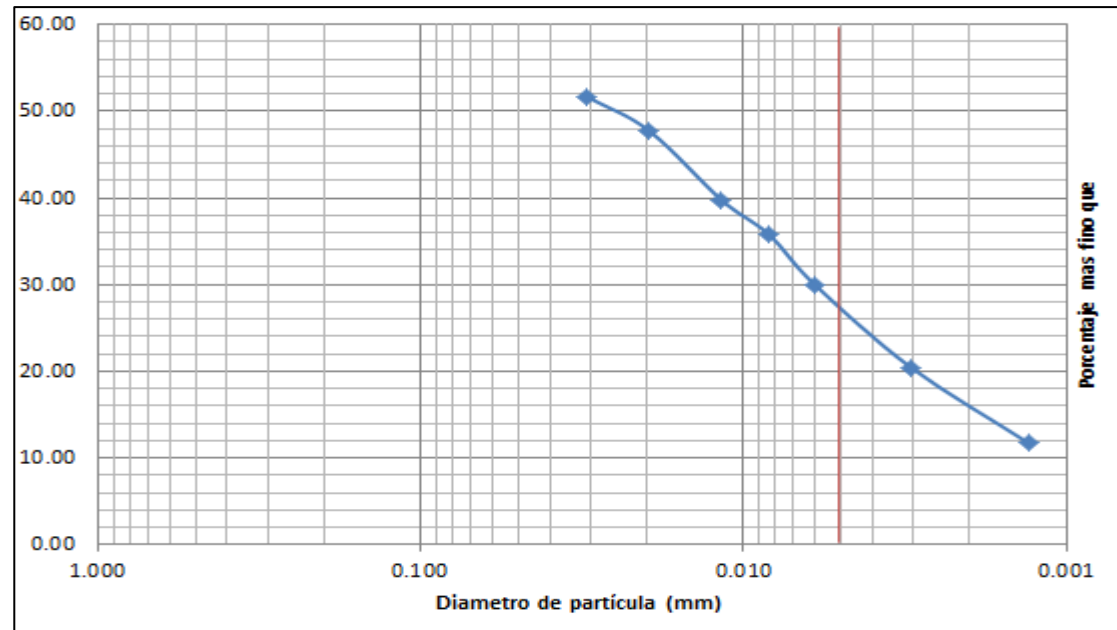
AFLORAMIENTO 8

NORMA ASTM 422-63

Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	P	Rcl=R	L (cm)	K	D (mm)
2	30	21.9	2.26	26.36	51.67	31	11.2	0.0130	0.031
5	28	21.9	2.26	24.36	47.75	29	11.5	0.0130	0.020
15	24	21.7	2.18	20.28	39.75	25	12.2	0.0130	0.012
30	22	21.7	2.18	18.28	35.83	23	12.5	0.0130	0.008
60	19	21.8	2.22	15.32	30.03	20	13.0	0.0130	0.006
250	14	22.1	2.34	10.44	20.46	15	13.8	0.0129	0.003
1440	10	21	1.9	6	11.76	11	14.5	0.0131	0.001

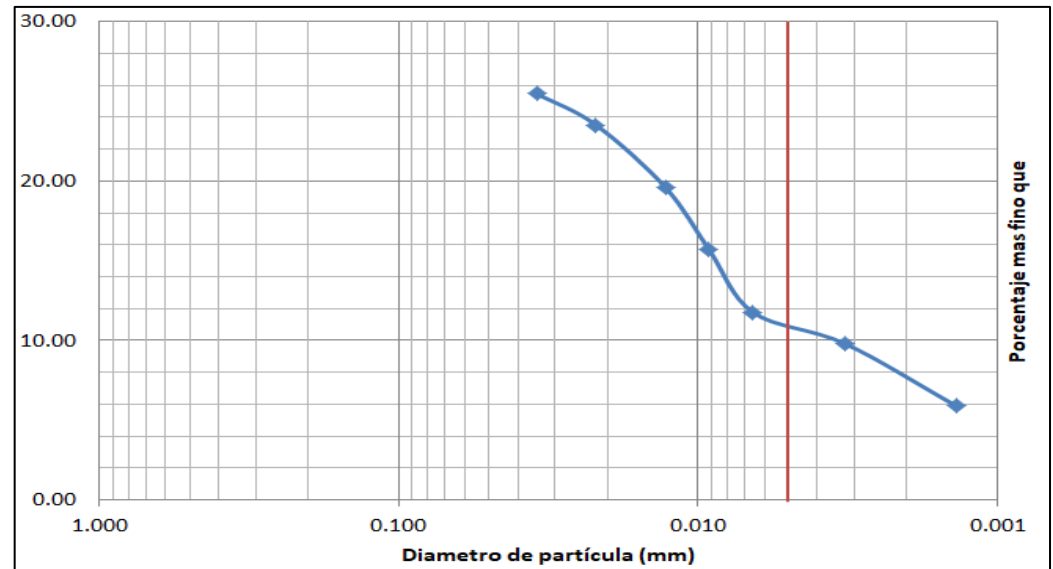
Porcentaje que pasa 5 μ m

28%



NORMA ASTM 4221-99								
Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	P	L (cm)	K	D (mm)
2	12	21.8	0.68	13	25.48	14.2	0.0130	0.035
5	11	21.8	0.68	12	23.52	14.3	0.0130	0.022
15	9	21.8	0.68	10	19.60	14.7	0.0130	0.013
30	7	21.8	0.68	8	15.68	15.0	0.0130	0.009
60	5	21.9	0.69	6	11.76	15.3	0.0130	0.007
250	4	21.9	0.69	5	9.80	15.5	0.0130	0.003
1440	2	21.3	0.63	3	5.88	15.8	0.0130	0.001
Porcentaje que pasa fino 5 um (Norma 4221)		11%						

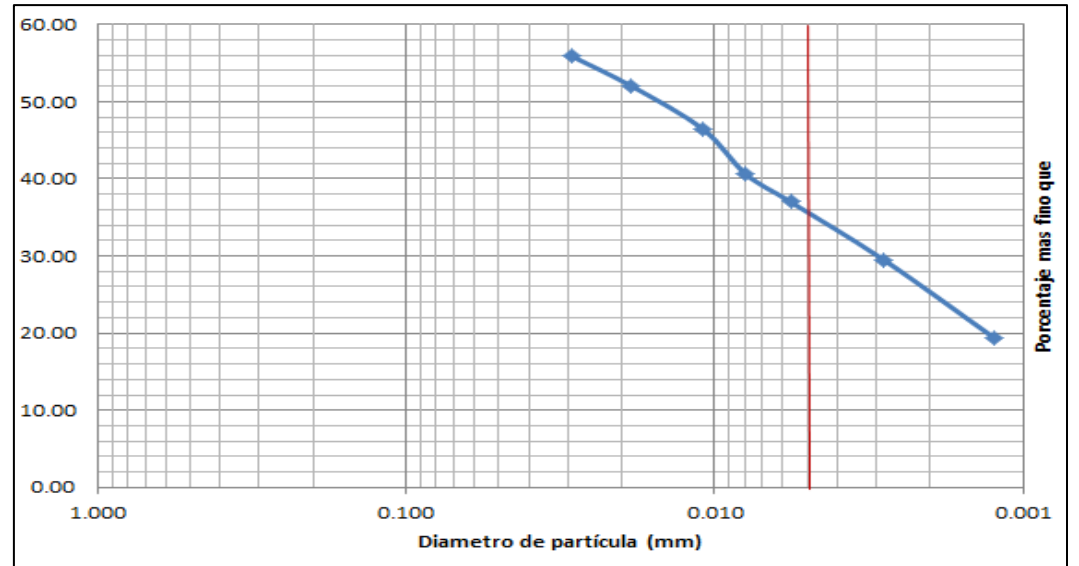
% DISPERSIÓN	36.67	Intermedio
---------------------	--------------	------------



AFLORAMIENTO 9

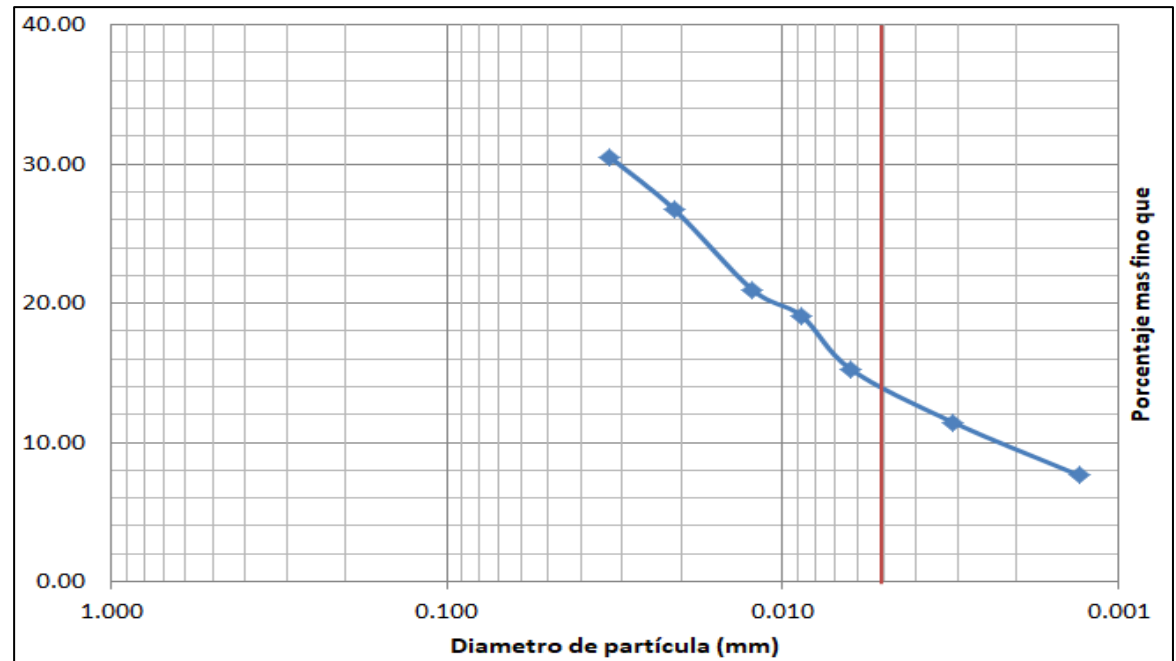
NORMA ASTM 422-63

Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	P	Rcl=R	L (cm)	K	D (mm)
2	33	21.7	2.18	29.28	55.87	34	10.7	0.0125	0.029
5	31	21.7	2.18	27.28	52.05	32	11.1	0.0125	0.019
15	28	21.9	2.26	24.36	46.48	29	11.5	0.0125	0.011
30	25	21.7	2.18	21.28	40.60	26	12.0	0.0125	0.008
60	23	22	2.3	19.4	37.02	24	12.4	0.0125	0.006
250	19	22.2	2.38	15.48	29.54	20	13.0	0.0124	0.003
1440	14	21.3	2.02	10.12	19.31	15	13.8	0.0126	0.001
Porcentaje que pasa 5 um		36%							



NORMA ASTM 4221-99								
Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	P	L (cm)	K	D (mm)
2	15	21.7	0.67	16	30.53	13.7	0.0125	0.033
5	13	21.7	0.67	14	26.71	14.0	0.0125	0.021
15	10	21.7	0.67	11	20.99	14.5	0.0125	0.012
30	9	21.7	0.67	10	19.08	14.7	0.0125	0.009
60	7	21.7	0.67	8	15.26	15.0	0.0125	0.006
250	5	21.6	0.66	6	11.45	15.3	0.0125	0.003
1440	3	21.7	0.67	4	7.63	15.6	0.0125	0.001
Porcentaje que pasa fino 5 um (Norma 4221)		14%						

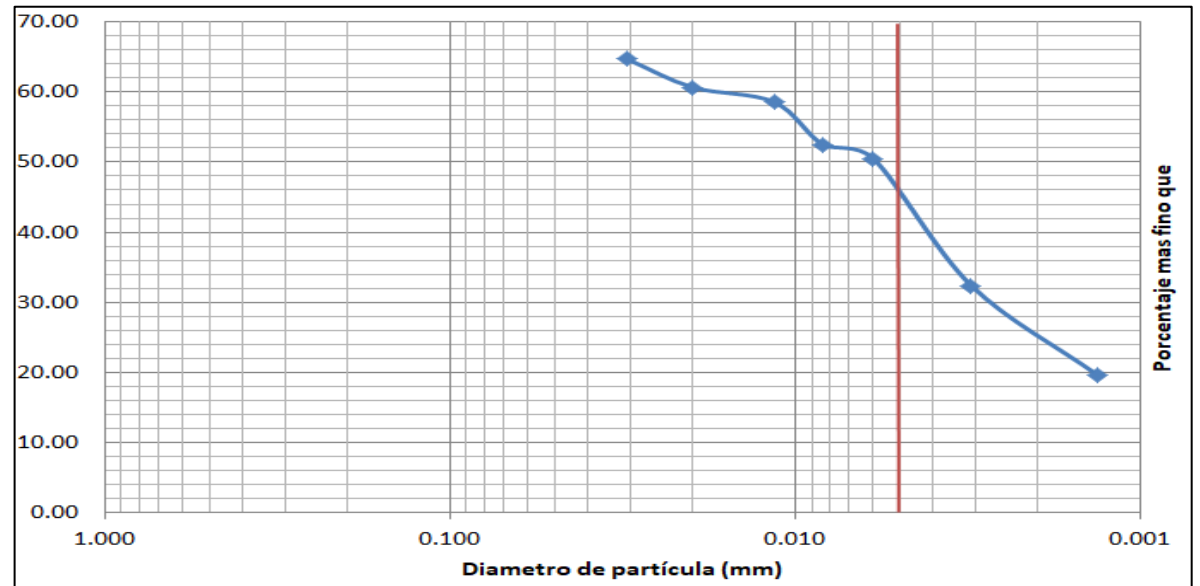
% DISPERSIÓN	37.84	Intermedio
---------------------	--------------	------------



AFLORAMIENTO 10

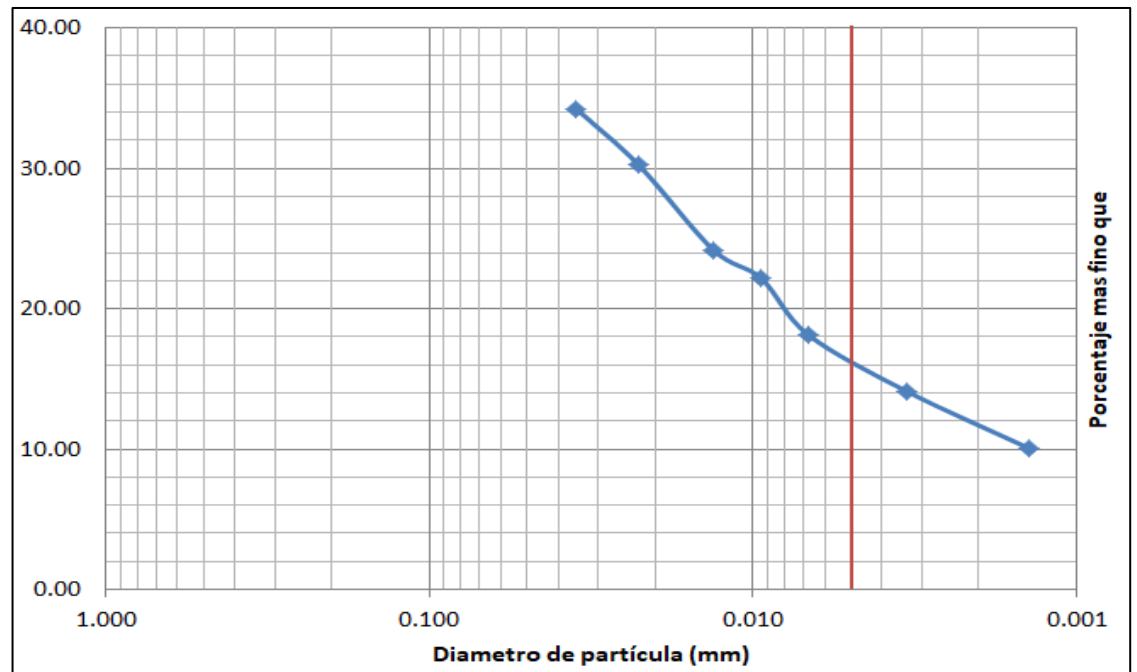
NORMA ASTM 422-63									
Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	P	Rcl=R	L (cm)	K	D (mm)
2	36	21.1	1.94	32.04	64.72	37	10.2	0.0137	0.031
5	34	21.1	1.94	30.04	60.68	35	10.6	0.0137	0.020
15	33	21	1.9	29	58.58	34	10.7	0.0137	0.012
30	30	21	1.9	26	52.52	31	11.2	0.0137	0.008
60	29	21	1.9	25	50.50	30	11.4	0.0137	0.006
250	20	21.1	1.94	16.04	32.40	21	12.9	0.0137	0.003
1440	14	20.3	1.62	9.72	19.63	15	13.8	0.0137	0.001

Porcentaje que pasa 5 μ m	45%
-------------------------------	------------



NORMA ASTM 4221-99								
Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	P	L (cm)	K	D (mm)
2	16	21.5	0.65	17	34.27	13.5	0.0136	0.035
5	14	21.5	0.65	15	30.24	13.8	0.0136	0.023
15	11	21.5	0.65	12	24.19	14.3	0.0136	0.013
30	10	21.5	0.65	11	22.18	14.5	0.0136	0.009
60	8	21.5	0.65	9	18.14	14.8	0.0136	0.007
250	6	21.7	0.67	7	14.11	15.2	0.0135	0.003
1440	4	21.6	0.66	5	10.08	15.5	0.0136	0.001
Porcentaje que pasa fino 5 um (Norma 4221)		16%						

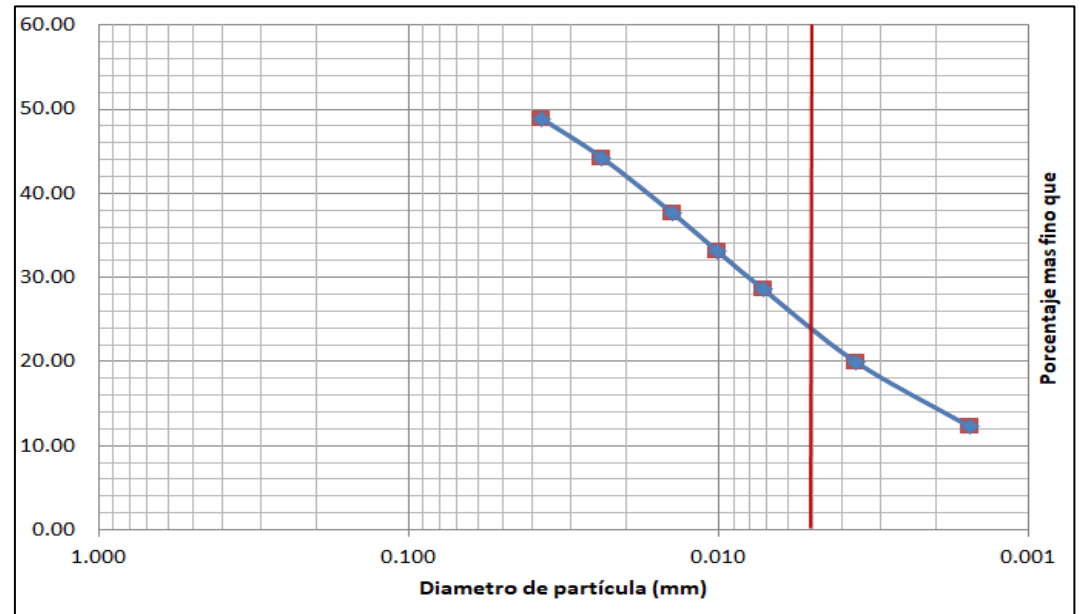
% DISPERSIÓN **34.78** Intermedio



AFLORAMIENTO 11

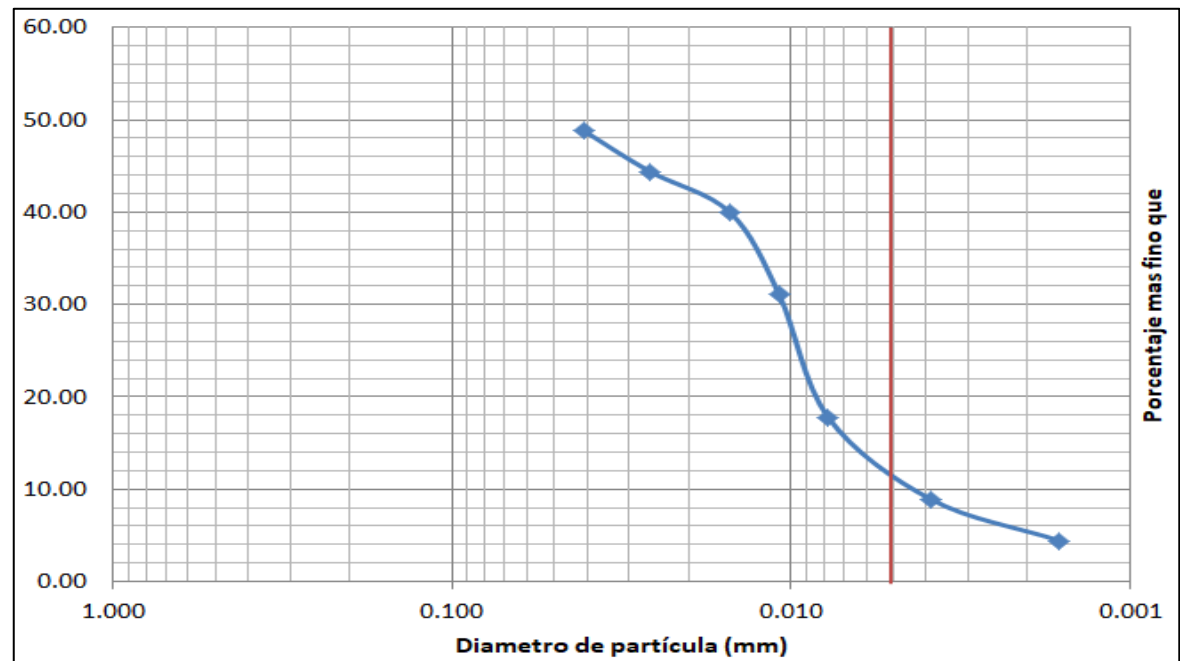
NORMA ASTM 422-63									
Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	P	Rcl=R	L (cm)	K	D (mm)
2	26	21.1	1.94	22.04	48.86	27	11.9	0.0153	0.037
5	24	20.9	1.86	19.96	44.25	25	12.2	0.0153	0.024
15	21	20.9	1.86	16.96	37.60	22	12.7	0.0153	0.014
30	19	20.8	1.82	14.92	33.08	20	13.0	0.0154	0.010
60	17	20.8	1.82	12.92	28.64	18	13.3	0.0154	0.007
250	13	21	1.9	9	19.95	14	14.0	0.0153	0.004
1440	10	19.9	1.45	5.55	12.30	11	14.5	0.0156	0.002

Porcentaje que pasa 5 um	24%
---------------------------------	------------



NORMA ASTM 4221-99								
Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	P	L (cm)	K	D (mm)
2	10	21.7	0.67	11	48.84	14.5	0.0152	0.041
5	9	21.7	0.67	10	44.40	14.7	0.0152	0.026
15	8	21.7	0.67	9	39.96	14.8	0.0152	0.015
30	6	21.7	0.67	7	31.08	15.2	0.0152	0.011
60	3	21.7	0.67	4	17.76	15.6	0.0152	0.008
250	1	21.7	0.67	2	8.88	16.0	0.0152	0.004
1440	0	21.4	0.64	1	4.44	16.1	0.0153	0.002
Porcentaje que pasa fino 5 um (Norma 4221)		11%						

% DISPERSIÓN **45.83** Intermedio



ANEXO VI: FICHAS DE AFLORAMIENTO

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA				
TITULACIÓN DE GEOLOGIA Y MINAS				
CARACTERIZACIÓN DEL GRADO DE DISPERSIÓN EN ARCILLAS DE LA ZONA SUR-ESTE DE LA CUENCA SEDIMENTARIA DE LOJA, PARA DETERMINAR POTENCIAL DE GENERACIÓN DE PROCESOS DE PIPING				
Tesisista: Cristian V. Abad Guarnizo			Tutora: Msc. Tamara C. Briceño Sarmiento	
AFLORAMIENTO 1	Coordenadas UTM WGS84	X: 700433	Y: 9552043	Z: 2224

EDAD	POTENCIA (m)	TAMAÑO DE PARTICULAS				ESTRUCTURAS	DESCRIPCION
		ARCILLA	LIMO	ARENA	GRAVA		
Formación Quillollaco (Mioceno Tardío)	4)C	Conglomerado grano decreciente, matriz soportada, con clastos entre 3-20 centímetros subredondeados, son clastos metamórficos (filitas y esquistos) posiblemente correspondientes a la Unidad Chiguinda, la matriz limo arcillosa, posee un tono ocre.
	2						Arcilla limosa con un tono grisáceo, se aprecia estructuras de piping en el talud debido a la presencia de agua, los pipes tiene un espesor de 30 centímetros con 10 centímetros de separación entre cada uno
	1						Microconglomerado con clasto de 1-2 centímetros en matriz limo-arenosa, matriz soportada, los clastos son redondeados metamórficos (filitas, esquistos) posiblemente de la Unidad Chiguinda, posee una tonalidad crema y se aprecia bastante presencia de agua.

Foto Esquematisada

Información

Es un afloramiento de origen antropico originado por una apertura de via secundaria con una direccion NE-SO, se encuentra a 300 metros de la fabrica de horchatas "La Sureñita", cercano al afloramiento no se encuentran viviendas.

Se encuentra agua en cantidades relativamente importantes, presenta piping en el estrato arcillo-limoso y corresponde a la Formación Quillollaco.

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

TITULACIÓN DE GEOLOGIA Y MINAS

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

Tesista: Cristian V. Abad Guarnizo

Tutora: Msc.Tamara C. Briceño Sarmiento

AFLORAMIENTO 2

Coordenadas
UTM WGS84

X: 700514

Y: 9553783

Z: 2315

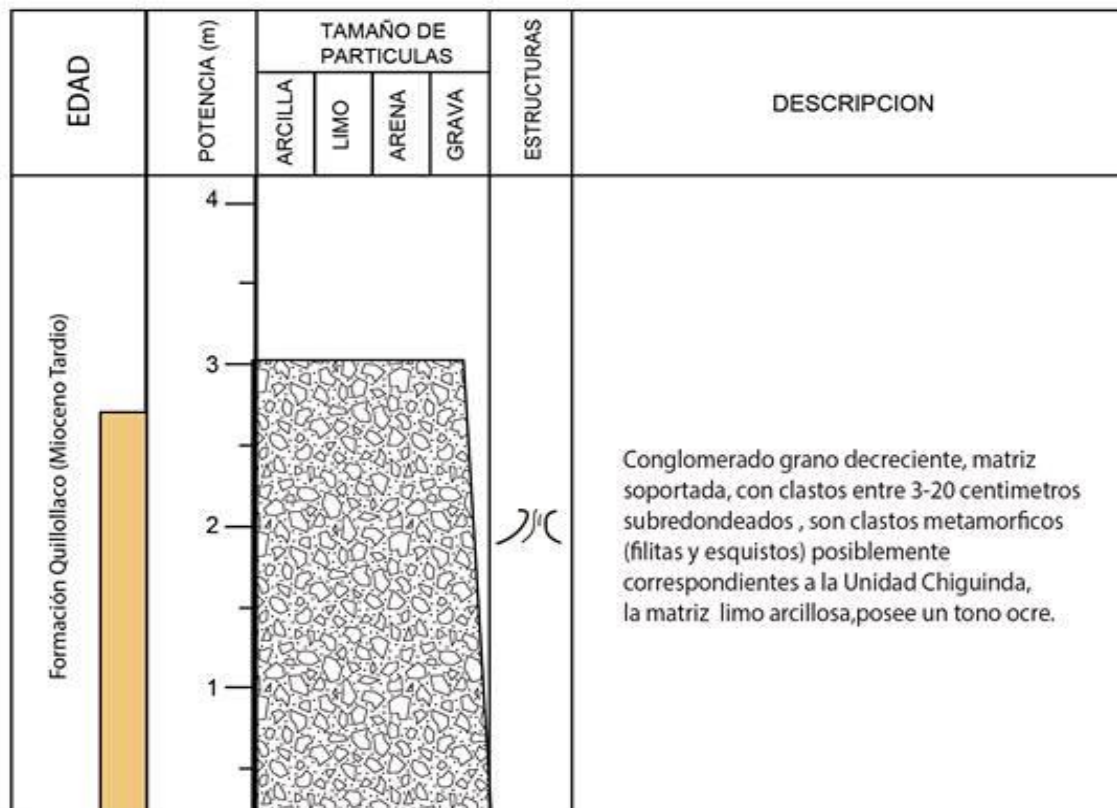


Foto Esquematzada



Información
 Es un afloramiento de origen antropico originado por una apertura de via secundaria con una direccion NE-SO, se encuentra a 300 metros de la fabrica de horchatas "La Sureñita", cercano al afloramiento no se encuentran viviendas.
 Se encuentra agua en cantidades relativamente importantes, presenta piping en el estrato arcillo-limoso y corresponde a la Formación Quillolaco.

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

TITULACIÓN DE GEOLOGIA Y MINAS

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

Tesista: Cristian V. Abad Guarnizo

Tutora: Msc.Tamara C. Briceño Sarmiento

AFLORAMIENTO 3

Coordenadas
UTM WGS84

X: 700966

Y: 9554644

Z:2370

EDAD	POTENCIA (m)	TAMAÑO DE PARTICULAS				ESTRUCTURAS	DESCRIPCION
		ARCILLA	LIMO	ARENA	GRAVA		
Formación Quillollaco (Mioceno Tardío)	19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1						<p>Conglomerado grano decreciente, matriz soportada, con clastos entre 3-30 centímetros subredondeados, son clastos metamórficos (filitas y esquistos) posiblemente correspondientes a la Unidad Chiguinda, la matriz limo arcillosa, posee un tono ocre.</p>

Foto Esquematzada



Información

Es un afloramiento natural, debido al deslizamiento del flanco norte de la pendiente, se encuentra ubicado a 2 horas del Jardín Botánico, siguiendo el sendero por el sector del parque Pucará, es un afloramiento de grandes dimensiones incluso puede ser observado desde la ciudad de Loja, es una zona que presenta grandes deslizamientos pero se desconoce si la presencia de arcilla dispersiva sea el factor condicionante de estos. Pertenece a Formación Quillollaco.

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

TITULACIÓN DE GEOLOGIA Y MINAS

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

Tesista: Cristian V. Abad Guarnizo

Tutora: Msc. Tamara C. Briceño Sarmiento

AFLORAMIENTO 4

Coordenadas
UTM WGS84

X: 700313

Y: 9555103

Z: 2179

EDAD	POTENCIA (m)	TAMAÑO DE PARTICULAS				ESTRUCTURAS	DESCRIPCION
		ARCILLA	LIMO	ARENA	GRAVA		
Formación Quillollaco (Mioceno Tardío)	4 3 2 1						<p>Conglomerado grano decreciente, matriz soportada, con clastos entre 3-30 centímetros subredondeados, son clastos metamórficos (filitas y esquistos), posiblemente correspondientes a la Unidad Chiguinda, la matriz es limo arcilloso con una tonalidad gris. Posee procesos de piping con pipes de 30 cm de ancho y 20 cm de separación.</p>

Foto Esquematzada



Información

Es un afloramiento de origen antropico ocasionado por la apertura de un sendero, se encuentra en el barrio en el Norte del barrio El Rosal recorriendo el sendero por 20 minutos, Pertenece a la Formación Quillollaco de edad Mioceno Tardío.

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

TITULACIÓN DE GEOLOGIA Y MINAS

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

Tesista: Cristian V. Abad Guarnizo

Tutora: Msc.Tamara C. Briceño Sarmiento

AFLORAMIENTO 5

Coordenadas
UTM WGS84

X: 699906

Y: 9554680

Z:2179

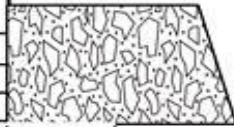

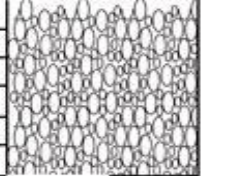

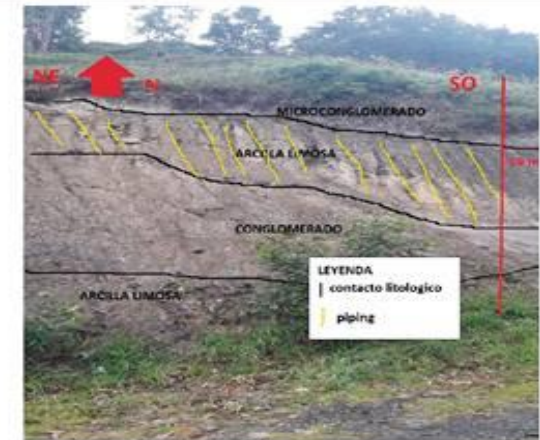
EDAD	POTENCIA (m)	TAMAÑO DE PARTICULAS				ESTRUCTURAS	DESCRIPCION
		ARCILLA	LIMO	ARENA	GRAVA		
Formación Quillollaco (Mioceno Tardío)	9					MC	Conglomerado grano decreciente, matriz soportada, con clastos entre 3-20 centímetros subredondeados, son clastos metamorficos (filitas y esquistos) posiblemente correspondientes a la Unidad Chiguinda, la matriz limo arcillosa, posee un tono ocre.
	8						Arcilla limosa con un tono grisáceo, se aprecia estructuras de piping en el talud debido a la presencia de agua, los pipes tienen un espesor de 30 centímetros con 10 centímetros de separación entre cada uno
	5						Microconglomerado con clasto de 1-2 centímetros en matriz limo-arenosa, matriz soportada, los clastos son redondeados metamorficos (filitas, esquistos) posiblemente de la Unidad Chiguinda, posee una tonalidad crema y se aprecia bastante presencia de agua.
	1						Arcilla limosa alto contenido de agua de un tono ocre.

Foto Esquematzada



Información

Es un afloramiento de origen antropico originado por la construcción de una vivienda frente a un local llama Lubramatic, a 500 metros del redondel que conecta la via a Malacatos con la Argelia. Existe gran presencia de agua en cantidades relativamente importantes, presenta piping en el estrato arcillo-limoso de tono gris y corresponde a la Formación Quillollaco.

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA				
TITULACIÓN DE GEOLOGIA Y MINAS				
CARACTERIZACIÓN DEL GRADO DE DISPERSIÓN EN ARCILLAS DE LA ZONA SUR-ESTE DE LA CUENCA SEDIMENTARIA DE LOJA, PARA DETERMINAR POTENCIAL DE GENERACIÓN DE PROCESOS DE PIPING				
Tesisista: Cristian V. Abad Guarnizo			Tutora: Msc. Tamara C. Briceño Sarmiento	
AFLORAMIENTO 6	Coordenadas UTM WGS84	X: 700232	Y: 9555928	Z: 2162

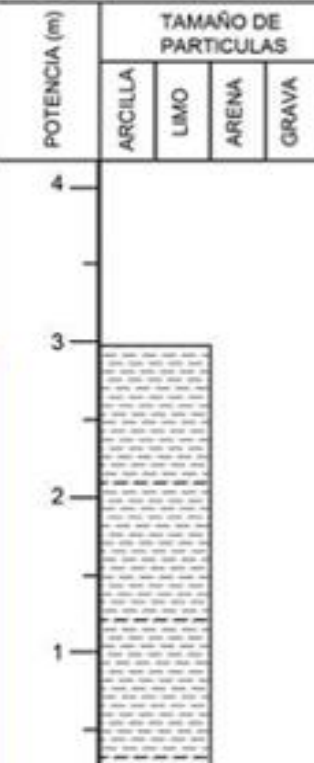


EDAD	POTENCIA (m)	TAMAÑO DE PARTICULAS				ESTRUCTURAS	DESCRIPCION
		ARCILLA	LIMO	ARENA	GRAVA		
Formación Quillollaco (Mioceno Tardío)	4 3 2 1						<p>Arcilla limosa con un tono grisáceo, con bastante presencia de oxidaciones se aprecia estructuras de piping debido a la presencia de agua, los pipes tiene un espesor de 50 centímetros con 15 cm de separación entre cada uno.</p>

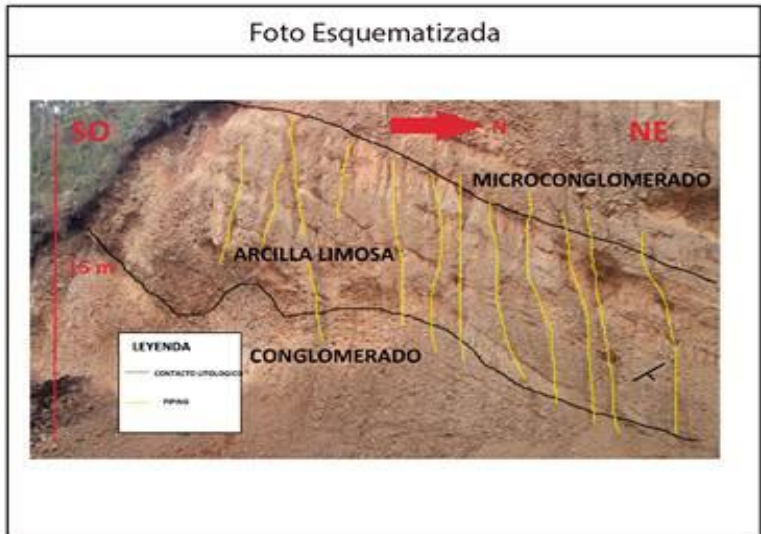
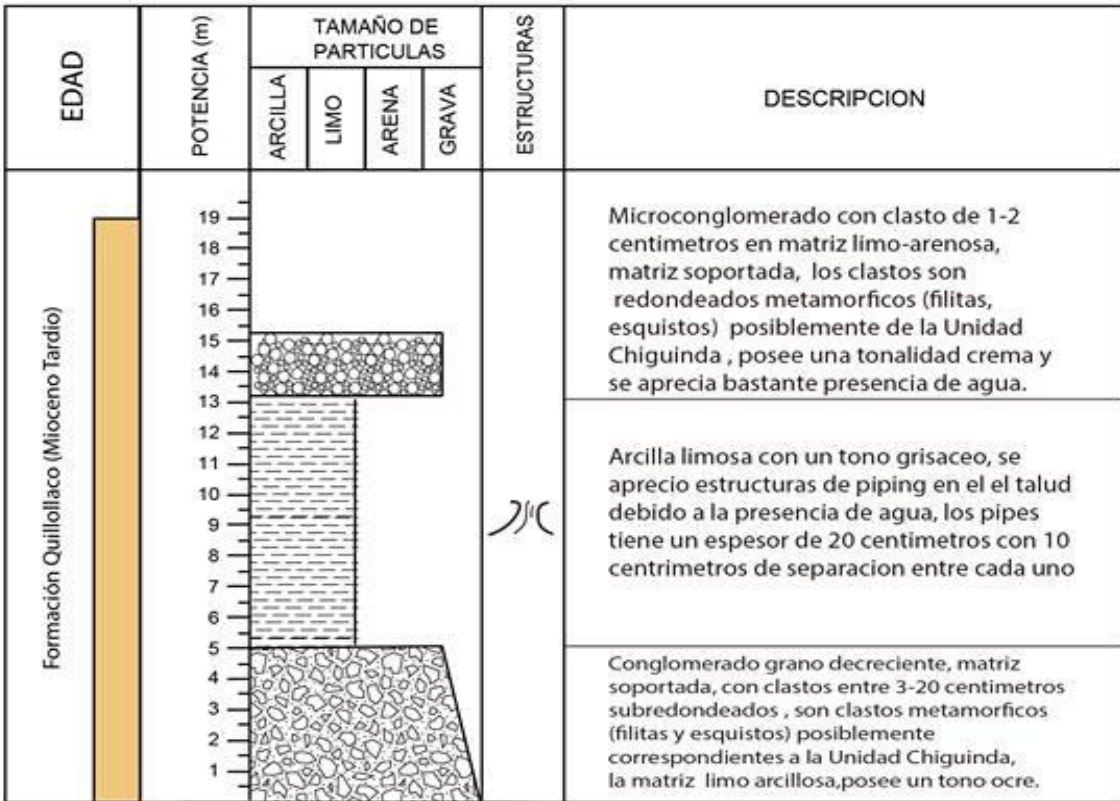
Foto Esquematzada



Información

Es un afloramiento de origen antropico ocasionado por una apertura de un via ubicado en el barrio Yaguarcuna cerca de la casa comunal, en la parte superior se encuentra una vivienda que tiene problemas debido a la erosion rapida del suelo Pertenece a Formación Quillollaco.

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA				
TITULACIÓN DE GEOLOGIA Y MINAS				
CARACTERIZACIÓN DEL GRADO DE DISPERSIÓN EN ARCILLAS DE LA ZONA SUR-ESTE DE LA CUENCA SEDIMENTARIA DE LOJA, PARA DETERMINAR POTENCIAL DE GENERACIÓN DE PROCESOS DE PIPING				
Tesis: Cristian V. Abad Guarnizo			Tutora: Msc. Tamara C. Briceño Sarmiento	
AFLORAMIENTO 7	Coordenadas UTM WGS84	X: 701302	Y: 9555582	Z: 2136



Información

Es un afloramiento de origen antropico originado por una via que conecta Pucara con Zamora Huayco Alto . Existe gran presencia de agua en cantidades relativamente importantes, presenta piping en el estrato arcillo-limoso de tono gris y corresponde a la Formación Quillollaco.

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

TITULACIÓN DE GEOLOGIA Y MINAS

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

Tesista: Cristian V. Abad Guarnizo

Tutora: Msc.Tamara C. Briceño Sarmiento

AFLORAMIENTO 8

Coordenadas
UTM WGS84

X: 701177

Y: 9556284

Z:2125

EDAD	POTENCIA (m)	TAMAÑO DE PARTICULAS				ESTRUCTURAS	DESCRIPCION
		ARCILLA	LIMO	ARENA	GRAVA		
Formación Quillollaco (Mioceno Tardío)	9						Arcilla compactada tono gris.
	8						Microconglomerado con clasto de 1-2 centímetros en matriz limo-arenosa, matriz soportada, los clastos son redondeados metamorficos (filitas, esquistos) posiblemente de la Unidad Chiguinda .
	7						Arcilla limosa con un tono grisáceo, se aprecia estructuras de piping en el talud debido a la presencia de agua, los pipes tiene un espesor de 20 centímetros con 10 centímetros de separación entre cada uno
	6						Conglomerado grano , matriz soportada, con clastos entre 3-10centímetros subredondeados , son clastos metamorficos (filitas y esquistos) posiblemente correspondientes a la Unidad Chiguinda, la matriz limo arcillosa, posee un tono gris.
	5						Arcilla limosa con un tono grisáceo, se aprecia estructuras de piping son pipes de pequeño espesor
	4						
	3						
	2						
	1						

Foto Esquematisada



Información

Es un afloramiento de origen antropico originado por una via que conecta Pucara con Zamora Huayco Alto . Presenta piping en el estrato arcillo-limoso de tono gris y corresponde a la Formación Quillollaco.

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

TITULACIÓN DE GEOLOGIA Y MINAS

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

Tesista: Cristian V. Abad Guarnizo

Tutora: Msc.Tamara C. Briceño Sarmiento

AFLORAMIENTO 9

Coordenadas
UTM WGS84

X: 700751

Y: 9556724

Z: 2123

EDAD	POTENCIA (m)	TAMAÑO DE PARTICULAS				ESTRUCTURAS	DESCRIPCION
		ARCILLA	LIMO	ARENA	GRAVA		
Formación Quillollaco (Mioceno Tardío)	4	[Diagrama de estratos con patrones de líneas horizontales para arcilla y limo]				[Diagrama de estructuras de piping]	Arcilla limosa con un tono grisáceo, se aprecia estructuras de piping en el talud debido a la presencia de agua, los pipes tiene un espesor de 20 centímetros con 10 centímetros de separación entre cada uno
	3						
	2	[Diagrama de estratos con patrones de círculos para conglomerado]					Conglomerado grano decreciente, matriz soportada, con clastos entre 3-10 centímetros subredondeados, son clastos metamórficos (filitas y esquistos) posiblemente correspondientes a la Unidad Chiguinda, la matriz limo arcillosa, posee un tono gris.
	1	[Diagrama de estratos con patrones de círculos para conglomerado]					

Foto Esquematzada



Información

Es un afloramiento de origen antropico originado por una via que conecta Pucara con Zamora Huayco Alto. Presenta piping en el estrato arcillo-limoso de tono gris y corresponde a la Formación Quillollaco.

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

TITULACIÓN DE GEOLOGIA Y MINAS

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

Tesista: Cristian V. Abad Guarnizo

Tutora: Msc.Tamara C. Briceño Sarmiento

AFLORAMIENTO 10

Coordenadas
UTM WGS84

X: 700671

Y: 9557685

Z:2101


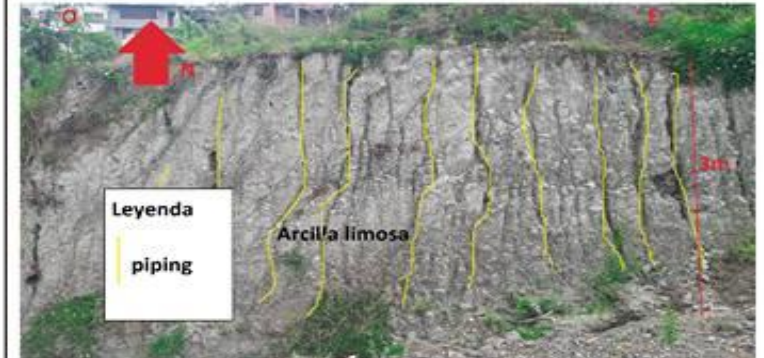
EDAD	POTENCIA (m)	TAMAÑO DE PARTICULAS				ESTRUCTURAS	DESCRIPCION
		ARCILLA	LIMO	ARENA	GRAVA		
Formación Quillollaco (Mioceno Tardío)	4 3 2 1						<p>Arcilla limosa con un tono grisáceo, se aprecia estructuras de piping en el talud, los pipes tiene un espesor de 10 centímetros con 5 centímetros de separación entre cada uno.</p>

Foto Esquemematizada



Información

Es un afloramiento natural a la construcción de una vía que conecta la ciudadela Rodríguez Witt con San Cayetano, se encuentra por el sector Los Faiques y pertenece a la Formación Quillollaco.

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

TITULACIÓN DE GEOLOGIA Y MINAS

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

Tesista: Cristian V. Abad Guarnizo

Tutora: Msc. Tamara C. Briceño Sarmiento

AFLORAMIENTO 11

Coordenadas
UTM WGS84

X: 701325

Y: 9556481

Z: 2106

EDAD	POTENCIA (m)	TAMAÑO DE PARTICULAS				ESTRUCTURAS	DESCRIPCION
		ARCILLA	LIMO	ARENA	GRAVA		
Formación Quillolaco (Mioceno Tardío)	4						Conglomerado grano , matriz soportada, con clastos entre 3-8 centímetros subredondeados , son clastos metamorficos (filitas y esquistos) posiblemente correspondientes a la Unidad Chiguinda, la matriz es arcilla limosa con un tono grisáceo, se aprecia estructuras de piping en el talud , los pipes tiene un espesor de 10 centímetros con 5 centímetros de separacion entre cada uno.
	2						
	1						

Foto Esquematisada



Información

Es un afloramiento natural a la construcción de un sendero en Zamora Huayco.

ANEXO VII: MAPA DE RESULTADOS

