



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Ciencias en Ingeniería Geotécnica

**VALIDACIÓN DEL PROCESO PARA ESTABLECER EL LÍMITE LÍQUIDO DE SUELO
ARCILLOSO CAOLINITA POR MEDIOS ELÉCTRICOS**

Ing. Armando Hilario Hernández Gómez
Asesorado por la Msc. Ing. Maria Fernanda Rivas

Guatemala, enero de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**VALIDACIÓN DEL PROCESO PARA ESTABLECER EL LÍMITE LÍQUIDO DE SUELO
ARCILLOSO CAOLINITA POR MEDIOS ELÉCTRICOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. ARMANDO HILARIO HERNÁNDEZ GÓMEZ
ASESORADO POR LA MSC. INGA. MARIA FERNANDA RIVAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA GEOTÉCNIA

GUATEMALA, ENERO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
DIRECTOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Alvarez Cotí
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Armando Fuentes Roca
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Luis Felipe López Aguilar
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

VALIDACIÓN DEL PROCESO PARA ESTABLECER EL LÍMITE LÍQUIDO DE SUELO ARCILLOSO CAOLINITA POR MEDIOS ELÉCTRICOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 09 de Febrero de 2019.

Ing. Armando Hilario Hernández Gómez

Facultad de Ingeniería

Decanato
24189101-
24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.018.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **VALIDACION DEL PROCESO PARA ESTABLECER EL LÍMITE LÍQUIDO DE SUELO ARCILLOSO CAOLINITA POR MEDIOS ELÉCTRICOS**, presentado por: **Armando Hilario Hernandez Gomez**, que pertenece al programa de Maestría en ciencias en Ingeniería geotécnica, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada ★

Decana

Guatemala, enero de 2022

AACE/gaoc



Guatemala, enero de 2022

LNG.EEP.OI.018.2022

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

“VALIDACIÓN DEL PROCESO PARA ESTABLECER EL LÍMITE LÍQUIDO DE SUELO ARCILLOSO CAOLINITA POR MEDIOS ELÉCTRICOS”

presentado por **Armando Hilario Hernandez Gomez** correspondiente al programa de **Maestría en ciencias en Ingeniería geotécnica** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”



Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Coñ
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



Guatemala, 12 de octubre de 2019.

M.A. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Presente

M.A. Ingeniero Álvarez Cotí:

Por este medio informo que he revisado y aprobado el informe final titulado **“VALIDACIÓN DEL PROCESO PARA ESTABLECER EL LIMITE LIQUIDO DE SUELO ARCILLOSO CAOLINITA POR MEDIOS ELÉCTRICOS”** del estudiante **Armando Hilario Hernández Gómez**, quien se identifica con número de carné: **200130360** del Programa de Maestría en **Geotécnica**.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el *Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014*. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

Atentamente,

“Id y enseñad a todos”



MSc. Ing. Armando Fuentes Roca
Coordinador Área de
Infraestructura
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, 25 de septiembre de 2019

A:
M.A. Ing. Edgar Dario Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrados
Faculta de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Estimado M.A. Ing. Álvarez Cotí:

Por este medio informo a usted, que yo María Fernanda Rivas, Ingeniero Civil con Maestría en Ingeniería de Campo para el Ambiente, Colegiado Activo No. 12,898, he aceptado ser ASESORA de tesis del estudiante Ingeniero Civil **Armando Hilario Hernández Gómez** del programa de **Maestría en Ingeniería Geotécnica**, identificado con número de carné **200130360**, del cual he revisado y aprobado el trabajo de graduación titulado: **“VALIDACIÓN DEL PROCESO PARA ESTABLECER EL LÍMITE LÍQUIDO DE SUELO ARCILLOSO CAOLINITA POR MEDIOS ELÉCTRICOS”**.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

Atentamente,


MEng. María Fernanda Rivas
Colegiado 12,898

MARIA FERNANDA RIVAS
INGENIERO CIVIL
COLEGIADO No. 12898

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.
Mis padres	Su amor será siempre mi inspiración.
Mi esposa	Samara Elías de Hernández. Por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.
Mis hijos	Armando, Daniel y Misael. Por ser tres ángeles en mi vida.
Señor	Jorge Cayax e Inés Xúm. Por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala Por ser el *alma mater* y fuente de inspiración.

Mi familia Por su apoyo incondicional.

Mis catedráticos y asesor Por los conocimientos compartidos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XV
OBJETIVOS	XVII
HIPÓTESIS	XIX
RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. ORIGEN Y COMPORTAMIENTO DEL SUELO ARCILLOSO.....	1
1.1. Desintegración del macizo rocoso	1
1.2. Tipo de rocas.....	1
1.3. El suelo.....	2
1.3.1. Física del suelo	3
1.3.2. Química del suelo	3
1.3.3. Tipos de suelo.....	3
1.3.3.1. Gravoso	3
1.3.3.2. Arenoso.....	4
1.3.3.3. Limoso	4
1.3.3.4. Arcilloso	4
1.3.3.4.1. Comportamiento de la arcilla bajo la influencia del agua.....	5

1.3.3.4.2.	Conductividad eléctrica de la arcilla	6
1.3.3.4.3.	Comportamiento de la arcilla bajo la influencia de la temperatura ambiente.....	7
2.	GENERALIDADES SOBRE LÍMITE LÍQUIDO DEL SUELO ARCILLOSO	9
2.1.	Estructura del suelo.....	9
2.2.	Textura del suelo.....	11
2.3.	Componentes químicos del suelo	13
2.4.	Consistencia del suelo	15
2.5.	Relación de la estructura del suelo y el agua.....	16
2.5.1.	Límite líquido del suelo	18
3.	DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DEL SUELO POR MEDIO DE SU RESISTENCIA ELÉCTRICA Y TEMPERATURA.....	23
3.1.	Extracción y preparación de la muestra	23
3.2.	Medición de la muestra	24
3.3.	Método según norma ASTM D-4318 para límite líquido.....	24
3.4.	Aplicación del límite líquido	25
3.5.	Modelo matemático en función a la resistencia eléctrica y temperatura para cálculo de límite líquido.....	26
3.6.	Interpretación de resultados.....	30
3.7.	Comparación de resultado	36
3.8.	Discusión de resultados	56

CONCLUSIONES.....	65
RECOMENDACIONES.....	67
REFERENCIAS	69
APÉNDICES.....	73
ANEXOS.....	83

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Estructura del suelo.....	10
2.	Caolinita al microscopio electrónico	11
3.	Pirámide	12
4.	Caolinita $Al_2Si_2O_5(OH)_4$	14
5.	Consistencia.....	15
6.	Flujo vertical descendente.....	17
7.	Flujo vertical ascendente.....	18
8.	Copa de casa grande	19
9.	Medición de resistencia eléctrica del agua.....	27
10.	Medición resistencia eléctrica el suelo arcilloso caolinita.....	31
11.	Muestra de suelo arcilloso caolinita	32
12.	Medición de la resistencia eléctrica.....	34
13.	Medición de la temperatura suelo arcilloso caolinita	35
14.	Dispersión límite líquido	37
15.	Dispersión límite plástico.....	39
16.	Dispersión índice plástico.....	40
17.	Ventana programa SPSS estadística	41
18.	Ventana programa SPSS estadística	42
19.	Normal ASTM límite líquido.....	45
20.	Normal validación límite líquido.....	46
21.	Normal ASTM límite plástico	50
22.	Normal validación límite plástico	51
23.	Normal ASTM índice plástico	54

24.	Normal validación índice plástico.....	55
-----	--	----

TABLAS

I.	Clasificación de suelos	13
II.	Valores de factor de corrección	20
III.	Rango de plasticidad	21
IV.	Expansividad en arcillas	26
V.	Correlación Pearson para límite líquido	36
VI.	Correlación de Pearson para límite plástico	38
VII.	Correlación de Pearson para Índice de plasticidad.....	39
VIII.	Casos límite líquido.....	43
IX.	Estadística límite líquido	43
X.	Grado de significancia límite líquido	44
XI.	Desviación estándar límite líquido	47
XII.	Significancia bilateral límite líquido	47
XIII.	Casos límite plástico	48
XIV.	Estadística límite plástico.....	48
XV.	Grado de significancia límite plástico.....	49
XVI.	Desviación estándar límite plástico.....	52
XVII.	Grado de significancia bilateral límite plástico	52
XVIII.	Casos índices de plasticidad	52
XIX.	Estadística índice de plasticidad	53
XX.	Grado de significancia índice de plasticidad	54
XXI.	Desviación estándar índice de plasticidad	55
XXII.	Grado de significancia bilateral índice plasticidad.....	56
XXIII.	Diferencias de resultados de ensayos	56
XXIV.	Expansividad en función a límite líquido	58
XXV.	Plasticidad en los resultados	59
XXVI.	Correlación de Pearson para límites.....	60

XXVII.	Grado de significancia Shapiro Wilk.....	61
XXVIII.	Grado de significancia prueba Levene.....	62
XXIX.	Nivel de significancia prueba t.....	63

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Sxy	Covarianza
Rxy	Coeficiente de Pearson
Al₂Si₂O₅ (OH)₄	Disilicato aluminico dihidratado o caolinita
DT	Desviación típica
H	Humedad
L.L	Límite líquido
L.P	Límite plástico
M	Media
SiO₂	Óxido de silicio o sílice
Al₂O₃	Óxido de aluminio o alúmina
ρi	Resistividad del agua potable
ρlec.M.	Resistividad de la muestra según lectura
Rlec. M.	Resistencia eléctrica según lectura
Rp1	Resistencia eléctrica del agua potable y temperatura
R.m.e	Resultado método estándar
R.v.e	Resultado validación por medios eléctricos
T	Temperatura

GLOSARIO

Arcilla	Tierra constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados.
Caolinita	Es un tipo de arcilla de color blanco.
Conductividad eléctrica	Es la capacidad del suelo en transportar el flujo de electrones.
Correlación de Pearson	Es una medida de correspondencia entre dos variables aleatorias.
Índice de plasticidad	Es un rango de humedad del suelo entre los límites.
Límite líquido	Es un punto donde el suelo hidratado cambia de estado sólido a líquido.
Límite plástico	Es un punto donde el suelo deshidratado cambia de estado sólido a plástico.
Resistencia eléctrica	Es la oposición del suelo al paso del flujo de electrones.
Suelo expansivo	Puede presentar cambio en su volumen al hidratarse o deshidratarse.

RESUMEN

Esta investigación, procedió a extraer muestras de material tipo caolinita en las montañas de la parte norte del centro del municipio de Olintepeque, del departamento de Quetzaltenango, con el objetivo de establecer el límite líquido de este suelo por medios eléctricos.

Se tomaron 20 muestras en diferentes puntos del banco de materiales, destinando 10 muestras para realizar el ensayo de límite líquido según la norma ASTM 4318 y 10 muestras para el ensayo de validación por medios eléctricos, afín de realizar una comparación de los valores obtenidos.

A estos resultados se le aplicó la correlación de Pearson y prueba t estadística, tanto para el límite líquido, como para el límite plástico y el índice de plasticidad, demostrando mala correlación lineal de Pearson y dicha correlación es rechazada por la prueba t de dos variables independientes, según datos plasmados en el capítulo 3.

La hipótesis es rechazada porque no se cumplió con una correlación lineal de 0.95 entre las variables de resistencia eléctrica del suelo y la temperatura del suelo con respecto al límite líquido. A un nivel de confianza del 95 % y 5 % de error.

Es posible en la práctica de la ingeniería geotécnica, con solo obtener la resistencia eléctrica del suelo y la temperatura, poder determinar si el suelo tiene ex pasividad: bajo, medió y alto a través de la determinación del límite líquido en campo como una idea preliminar para estudios de prefactibilidad de proyectos.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El tiempo que tarda la realización del ensayo de límite líquido en un suelo arcilloso tipo caolinita, es largo, lo cual limita la toma de decisiones a corto plazo.

Existe correlación entre la humedad del suelo, la resistencia eléctrica y la temperatura la cual tiene incidencia en el resultado en la determinación del límite líquido para suelos arcillosos caolinita.

El contraste entre estas variables de resistencia eléctrica y temperatura, causarán efectos sobre los resultados. La retención de agua entre moléculas del suelo arcilloso caolinita, mejora la conductividad y disminuye la resistencia eléctrica; he ahí una correlación. El límite líquido de un suelo arcilloso caolinita varía en un clima frío con relación a un clima caliente.

A través de correlación de variables ya mencionadas e integradas en un modelo matemático, se busca disminuir el tiempo de un ensayo de límite líquido de dicho suelo para una mejor efectividad y toma de decisiones en su aplicación.

Como técnica alternativa, haciendo uso de la tecnología actual en la toma de datos en campo, para un chequeo inmediato del suelo en análisis.

- Pregunta principal

¿Cómo relacionar las variables: la temperatura, la resistencia eléctrica para reducir el tiempo en un ensayo, cuando se determina el límite líquido de una muestra de suelo arcilloso caolinita, por medios eléctricos?

- Preguntas auxiliares
 - ¿Existe correlación lineal entre el límite líquido, la temperatura y la resistencia eléctrica de suelo arcilla caolinita?
 - ¿El resultado del límite líquido de arcilla caolinita es preciso por medio de correlación lineal entre la temperatura y la resistencia eléctrica, integrado en un modelo matemático?

OBJETIVOS

General

Verificar si existe correlación lineal entre el límite líquido, la resistencia eléctrica y la temperatura, chequeando la precisión del resultado del límite líquido en función de la temperatura y la resistencia eléctrica, para suelos arcillosos caolinitas, a fin de reducir el tiempo de realización del ensayo.

Específicos

1. Comparar resultados del límite líquido de las muestras de suelo arcilloso caolinita, mediante el método tradicional normando versus la técnica alternativa para el cálculo del límite líquido por resistencia eléctrica y temperatura.
2. Comprobar que el agua en la muestra de suelo caolinita disminuye la resistividad del suelo, variando el límite líquido.
3. Comprobar que la temperatura de la muestra de suelo caolinita afecta el límite líquido, para valores mayores a cero grados centígrados.
4. Proponer una técnica alternativa que mantenga la calidad del diagnóstico del límite líquido de suelo arcilloso caolinita.

HIPÓTESIS

Existe correlación lineal entre el límite líquido, la temperatura y la resistencia eléctrica de suelo arcilloso caolinita, a través de la relación de la resistividad eléctrica del agua y la resistividad eléctrica del suelo.

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

El presente estudio se enfoca en la mecánica de suelos, tiene características cuantitativas basándose en un diseño experimental que busca demostrar que hay correlación lineal entre las variables cuantitativas y resultado de límite líquido con más precisión. Se desarrollo en tres fases las cuales se describen a continuación.

- Fase1

Revisión de literatura, que aportan conocimientos para conseguir los resultados de la investigación, cómo identificar un suelo arcilloso tipo caolinita, características físicas, químicas, comportamiento de la arcilla ante esfuerzos cortantes, temperatura y carga eléctrica, capacidad de absorción de agua.

- Fase 2

Recolección de muestras de suelo caolinita, se realizará en la región de Olintepeque, se extraerán 10 muestras de 1500 gramos en diferentes pozos y ubicación; tamaño de pozo 1p³.; duración de la extracción de la muestra, 3 semanas; equipo necesario para la extracción: piocha, pala, azadón, bolsa plástica; transporte de muestra, vehículo propio.

- Fase 3

Preparación de la muestra para el respectivo ensayo: Mezcla o relación agua y arcilla caolinita en la en la caja pequeña de suelo MC Miller, método de 2 electrodos estándar AASHTO T 288-91.

- Se toman 1,300 g de suelo caolinita.
- Pasar por el tamiz No. 8.
- Secar el suelo en un horno a temperatura 60 grados centígrados
- Pesar la muestra de suelo caolinita a temperatura ambiente.
- Agregar agua al suelo caolinita y mezclar hasta tomar la forma pastosa homogénea.
- Se deposita un poco de la mezcla homogénea de suelo en la caja pequeña Mc Miller, procurando que esté llena la caja.
- Se mide en ambos extremos de la caja Mc Miller con un multímetro digital, con una fuente de 9 voltios corriente directa cuyos extremos de electrodo se conectarán a la muestra, midiendo la resistencia y la temperatura de la muestra.
- Características de la caja pequeña de Mc Miller norma AASHTO T 288-91, con un factor de resistividad de 0.67 cm. Con sus dimensiones espacio útil 3*2.4*10.80 cm con dos electrodos de acero inoxidable ubicados los extremos de la caja de 3*2.4 cm.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación demuestra mala correlación lineal entre límite líquido versus resistencia eléctrica y temperatura de suelo caolinita, que integran un modelo matemático que representa el fenómeno.

Uno de los problemas identificados en el ámbito de trabajo, es que el tiempo para realizar el límite líquido es largo, por lo cual esta investigación busca reducir este tiempo en suelos arcilla caolinita, logrando así eficientemente las labores de campo.

Los resultados de la presente investigación demuestran que efectivamente no existe buena correlación entre las variables resistencia eléctrica de suelo, temperatura y el límite líquido, esto significa que no se obtendrán mejores resultados en la determinación del límite líquido y más rápido. Para la obtención de dichos resultados se utilizaron métodos estadísticos: prueba de Levene, prueba t para dos muestras y correlación de Pearson.

Finalmente, no es posible obtener el límite líquido por medios eléctricos si se tiene correlación lineal de Pearson de -0.12 , lo cual indica que está lejos de 1 con pendiente negativa. Sabiendo que 1 es la imagen de sí misma de los resultados obtenidos en los ensayos de las muestras ASTM 4318. Donde es rechazada la correlación lineal en la prueba t estadística. Al 95 % de efectividad y sólo 5 % de error. En igualdad de medias.

El informe final está compuesto de 3 capítulos:

El primero trata sobre el origen y comportamiento del suelo arcilloso, la desintegración del macizo rocoso, los tipos de rocas y el suelo.

El segundo capítulo expone sobre las generalidades del límite líquido del suelo arcilloso, la estructura del suelo, su textura, los componentes químicos, la consistencia y, la relación de la estructura del suelo con el agua.

Finalizando con el tercer capítulo donde se trata de determinar el límite líquido de un suelo por medio de su resistencia eléctrica y temperatura, la extracción y preparación de la muestra, su medición, hasta la interpretación, comparación, discusión y presentación de resultados.

1. ORIGEN Y COMPORTAMIENTO DEL SUELO ARCILLOSO

Desde el punto de vista de la mecánica de suelo, se considera suelo arcilloso aquel suelo que pasa el tamiz número 200 y queda retenido en el tamiz número 100 en el proceso granulométrico de ese material. La arcilla al entrar en contacto con el agua se expande su volumen y al entrar en contacto con los rayos del sol o calor se contrae su volumen, variando su comportamiento físico.

1.1. Desintegración del macizo rocoso

Cuando se forma la roca o conjunto de rocas y en el transcurso del tiempo la intemperie y otros agentes ejerce desgaste sobre el macizo rocoso, la roca madre pierde su calidad, desintegrándose en partículas de diferente tamaño, en ese proceso de descomposición surge el suelo arcilloso.

1.2. Tipo de rocas

La roca es un cuerpo sólido de diferentes formas, compuesto por minerales. Y se clasifica según su origen:

- Metamórficas
- Sedimentarias
- Ígnea

El metamorfismo es la transformación o cambio de un tipo de roca en otro. Las rocas metamórficas se forman a partir de rocas ígneas, sedimentarias

o incluso de otras rocas metamórficas. Por tanto, todas las rocas metamórficas tienen una roca madre: la roca a partir de la cual se formaron. (Lutgens, 2004, p. 228)

Los productos de la meteorización mecánica y química constituyen la materia prima para las rocas sedimentarias. La palabra sedimentaria indica la naturaleza de esas rocas, pues deriva de la palabra latina sedimentum, que hace referencia al material sólido que se deposita a partir de un fluido (agua o aire). La mayor parte del sedimento, pero no todo, se deposita de esta manera. (Lutgens, 2004, p. 202)

A su vez Lutgens (2004) señalan que “las rocas ígneas forman la mayor parte de la corteza terrestre. Con la excepción del núcleo exterior líquido, la porción sólida restante de nuestro planeta es básicamente una enorme roca ígnea parcialmente cubierta por una delgada capa de rocas sedimentarias” (Lutgens, 2004, p. 108). Las rocas ígneas (ignis = fuego) se forman conforme se enfría y solidifica una roca fundida. Las rocas ígneas que se forman cuando se solidifica la roca fundida en la superficie terrestre se clasifican como extrusivas (ex = fuera; tradere = empujar) o volcánicas (de volcano, el dios del fuego).

1.3. El suelo

Crespo (2004) describe al suelo como “una delgada capa sobre la corteza terrestre de material que proviene de la desintegración o alteración física y química de las rocas y de los residuos de la actividad de los seres vivos que sobre ella se asientan” (p. 18).

1.3.1. Física del suelo

En la mecánica de suelos es importante conocer las características físicas del suelo tales como: color, textura, peso volumétrico, densidad, absorción, granulometría y estructura. Interpretando estas características físicas se puede predecir el comportamiento del suelo para una futura aplicación del suelo en el campo de la ingeniería geotecnia. Por ejemplo si el suelo es de color rojo esto quiere decir que tiene grandes concentraciones de amatita, en cuanto a la textura, si la muestra presenta una textura fina predomina la arcilla.

1.3.2. Química del suelo

Las rocas están compuestas de minerales, y donde abunda en la naturaleza la arcilla de silicatos de aluminio hidratado procedente de la desintegración de la roca. La arcilla contiene o se mezcla de forma natural con el hidrógeno dando como resultado el pH de la muestra (protones), puede también mezclarse de forma natural con sales. Mejorando la conductividad eléctrica de la arcilla.

1.3.3. Tipos de suelo

“Los suelos se dividen en dos grandes grupos: suelos cuyo origen se debe a las descomposición física y/o química de las rocas, o sea los suelos inorgánicos y el suelo cuyo origen es principalmente orgánico” (Crespo, 2004, p. 21).

1.3.3.1. Gravoso

Crespo (2004) Dice que “las gravas son acumulaciones sueltas de fragmentos de rocas y que tienen más de 2 milímetros de diámetro. Dado el

origen, cuando son acarreadas por las aguas las gravas sufren desgaste en sus aristas y son, por lo tanto, redondeadas” (Crespo, 2004, p. 21).

1.3.3.2. Arenoso

Crespo (2004) señala que “la arena es el nombre que se le da a los materiales de granos finos procedentes de la denudación de las rocas o de su trituración artificial, y cuyas partículas varían entre 2 y 0.05 mm de diámetro” (Crespo, 2004, p. 22).

1.3.3.3. Limoso

Son suelos de granos finos con poca o ninguna plasticidad, pudiendo ser limo inorgánico como el producido en canteras, o limo orgánico como el que suele encontrarse en los ríos, siendo en este último caso de características plásticas. El diámetro de las partículas de los limos está comprendido entre 0,05 y 0,005 mm. (Crespo, 2004, p. 22)

1.3.3.4. Arcilloso

Crespo (2004) señala que “se da el nombre de arcilla a las partículas sólidas con diámetro menor de 0,005 mm y cuya masa tiene la propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua” (Crespo, 2004, p. 22).

Existe varios tipos de arcilla para los fines de la presente investigación se resaltan los siguientes:

- Las caolinitas

Son arcillas con una baja adherencia de moléculas de agua porque hay muy poco espacio entre la escamación de una partícula de arcilla.

- Las ilitas

Son arcillas que tienen una media capacidad de alojamiento de molécula de agua entre partículas de arcilla.

- Las montmorillonitas

Son arcillas que tienen una alta capacidad de retener agua entre moléculas de suelo arcilloso. Tiene otra característica este suelo montmorillonitas una vez en contacto con el agua incrementa su volumen.

1.3.3.4.1. Comportamiento de la arcilla bajo la influencia del agua

Los suelos arcillosos de alta plasticidad CH y de baja plasticidad CL compactados con humedades menores a la humedad óptima (rama seca de la curva de compactación) presentaron mayor expansión que los suelos arcillosos de alta plasticidad CH y de baja plasticidad CL compactados con humedades mayores a la humedad óptima (rama húmeda de la curva de compactación), porque el suelo con humedad menor a la óptima presenta mayor volumen de fase gaseosa y por ende mayor porcentaje de porosidad. (Llique , 2014, p. 20)

“La expansión de los suelos arcillosos de alta plasticidad CH y de baja plasticidad CL compactados, se incrementa en el tiempo debido que la infiltración del agua depende de la relación de vacíos, esta disminuye en el proceso de compactación” (Llique , 2014, p. 20).

1.3.3.4.2. Conductividad eléctrica de la arcilla

Dharmawidjaja (2008) dice que cuando se da el movimiento de electrones en una superficie del terreno (muestra de arcilla), se forma una interacción entre moléculas que da origen al campo físico más conocido como campo eléctrico.

Sabiendo que la Conductividad es inversamente proporcional a la resistividad de un material en este caso el suelo. Desde un punto A un punto B de la superficie contraria de un cubo de 1m³ de terreno, el campo físico perpendicular al flujo de electrones en donde se puede decir que la resistividad es igual a la resistencia.

En este párrafo es interesante porque el autor afirma que la resistividad eléctrica y la resistencia eléctrica es lo mismo en un 1m³ de suelo. Sin embargo, para los fines de la presente investigación, se considera esta relación: la resistividad del suelo es igual al factor de resistividad del suelo por la resistencia eléctrica del suelo.

1.3.3.4.3. Comportamiento de la arcilla bajo la influencia de la temperatura ambiente

Crespo (2004) Dice que uno de los aspectos que debe tenerse en cuenta al estudiar los suelos, especialmente para el caso de los pavimentos en calles, caminos y aeropuertos. Cuando se tiene un exceso de líquido en el suelo y esta se congela, entonces se torna sólida y aumenta su volumen. En un ambiente congelado y se toma una muestra de tierra, el agua contenida entre moléculas está congelada. Esto hace que también varíe la conductividad. Como consecuencia, es muy importante que se conozcan los suelos que son o no aptos a las heladas, aunque en verdad los fenómenos de la acción de las heladas son muy complejos. También un suelo congelado aumenta su volumen.

Un suelo congelado depende completamente del tiempo que permanezca a temperatura bajo cero, y es muy común que temperatura y tiempo se expresa en grados días, entendiéndose por discrepancia en relación con la temperatura 1/2 diaria y la temperatura de helamiento de la humedad expresando la temperatura de congelación del agua como 0 grados centígrados.

El concepto de índice de helamiento no es más que un promedio de índice helamiento de un lugar específico en una década.

En lugares o superficies en donde la temperatura es muy baja y se esté trabajando carreteras el suelo natural tiene que llevar una buena capa de base para aislarlo del frío y agua, y lograr el que volumen sea constante.

2. GENERALIDADES SOBRE LÍMITE LÍQUIDO DEL SUELO ARCILLOSO

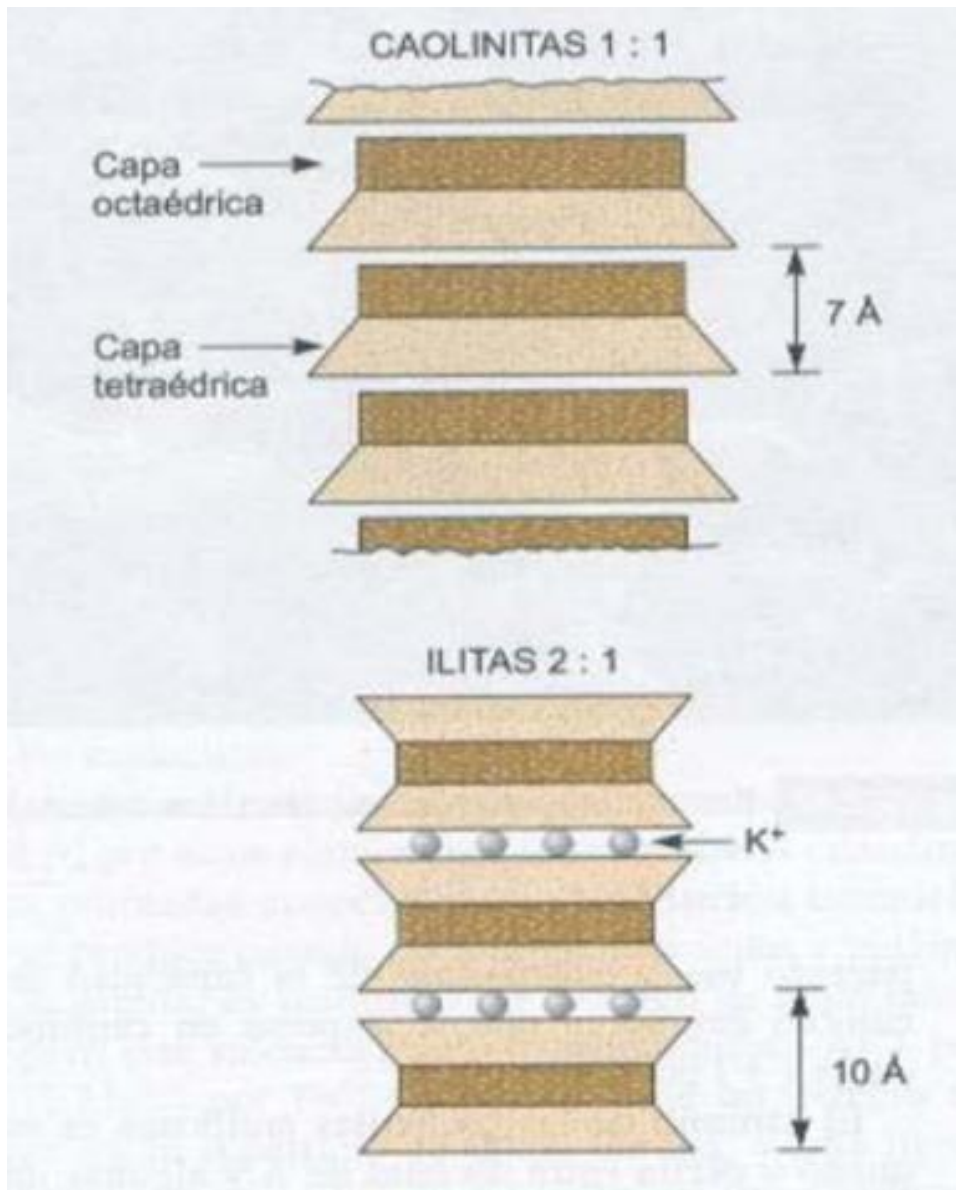
Límite líquido de un suelo cohesivo, es una prueba de laboratorio que se da en la mecánica de suelos, donde se calcula la cantidad de agua que puede absorber la muestra de suelo antes de cambiar su estado estructural de plástico a líquido.

2.1. Estructura del suelo

Cruz (2014) menciona que la estructura de un suelo es la distribución y ordenamiento geométrico de las partículas o granos minerales, el aire y el agua presentes, en un material, como consecuencias de las características propias de este e influenciados por las fuerzas que actúan sobre la partícula.

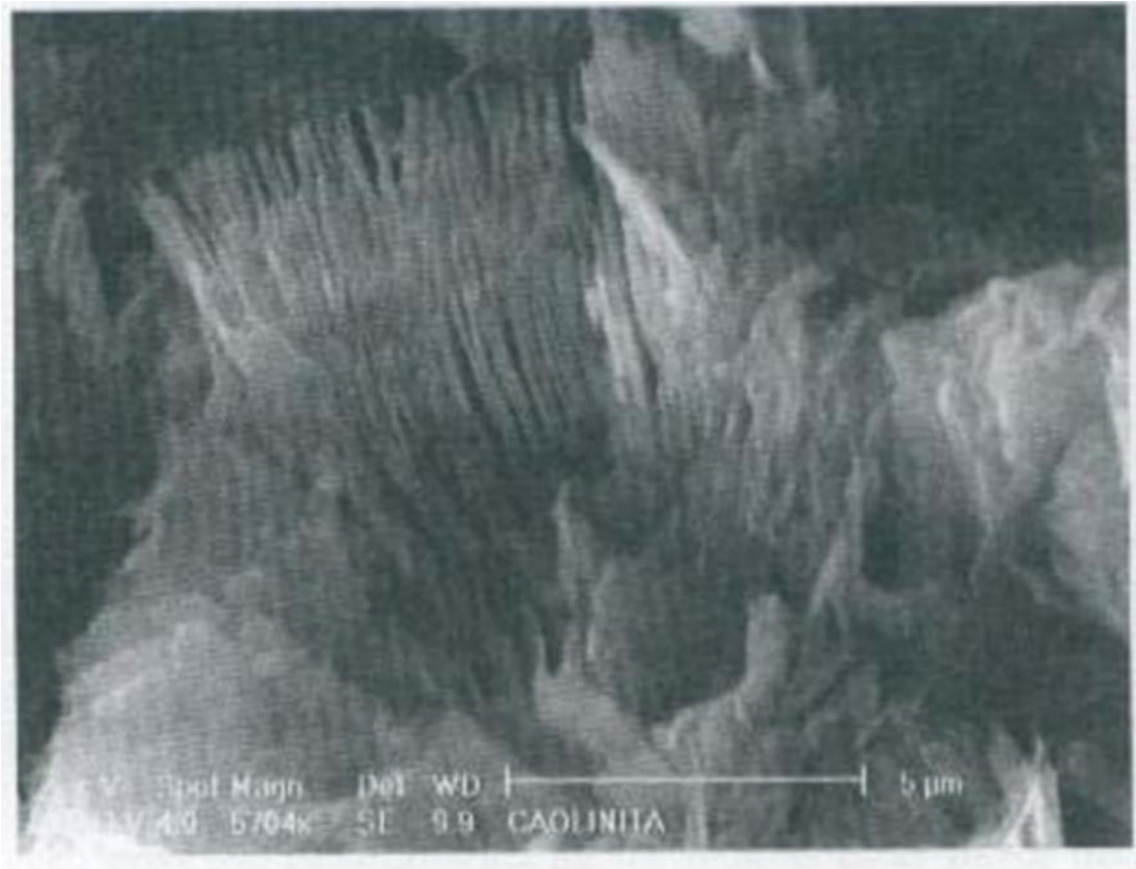
La estructura de un suelo es producto de su historia geológica y su tipo de formación.

Figura 1. Estructura del suelo



Fuente: Cruz (2014). *Mecánica de suelos*.

Figura 2. **Caolinita al microscopio electrónico**



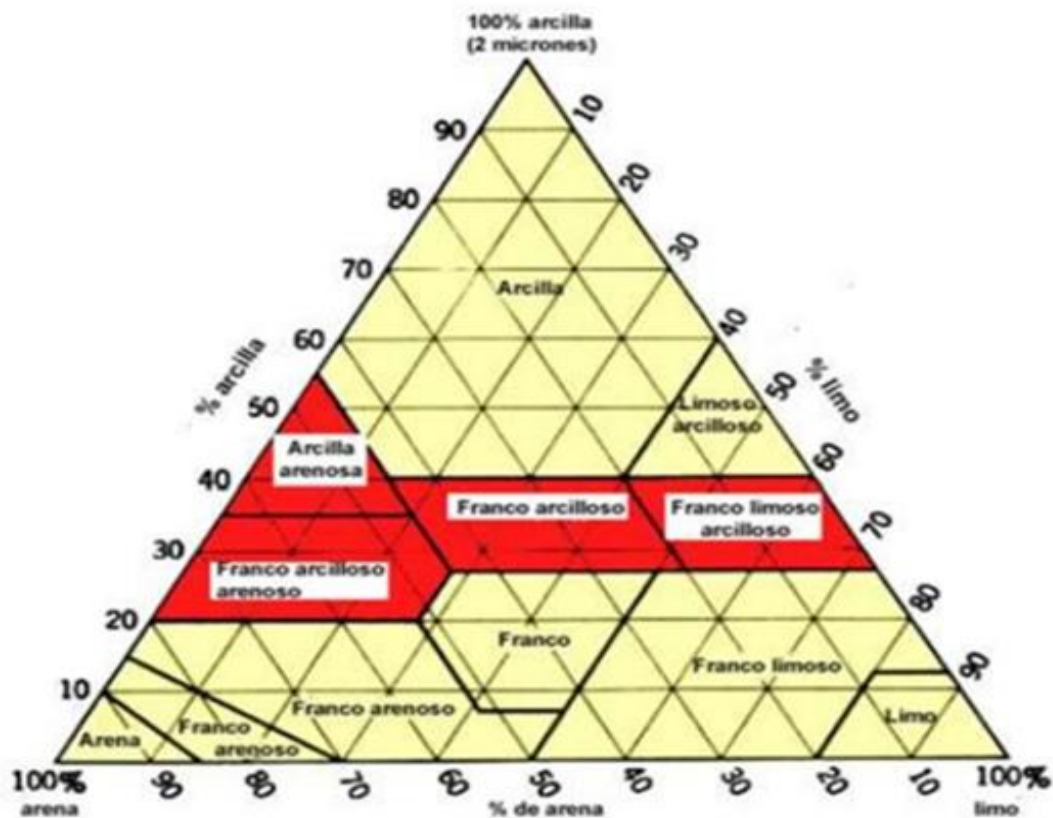
Fuente González (2002). *Ingeniería Geológica*.

2.2. Textura del suelo

Dias (2005) hace referencia a que la composición mineral de una muestra de suelo se define por los tamaños de las partículas que la integran puede ser fina o áspera.

La determinación de la textura consiste simplemente en indicar en una muestra de suelo la cantidad o proporción de cada mineral que lo integra. Hay varios métodos, pero el más común es realizar un análisis granulométrico o por medio de los diagramas triangulares.

Figura 3. Pirámide



Fuente: Universidad Nacional de Toribio (2000). *Edafología*.

Tabla I. **Clasificación de suelos**

CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS SEGÚN SU TEXTURA					
Textura	Arena en (%)	Limo en (%)	Arcilla en (%)	Clase textural	
Textura gruesa	86-100	0-14	0-10	Arenoso	Suelos arenosos
	70-86	0-30	0-15	Arenoso franco	
Textura moderadamente gruesa	50-70	0-50	0-20	Franco arenoso	
Textura media	23-52	28-50	7-27	Franco	
	20-50	74-88	0-27	Franco limoso	
	0-20	88-100	0-12	Limoso	
Textura moderadamente fina	20-45	15-52	27-40	Franco arcilloso	
	45-80	0-28	20-35	Franco arenoso arcilloso	
Textura fina	0-20	40-73	27-40	Franco limoso arcilloso	
	45-65	0-20	35-55	Arcilloso arenoso	
	0-20	40-60	40-60	Arcilloso limoso	
	0-45	0-40	40-100	Arcilloso	

Fuente: Universidad Nacional de Toribio (2000). *Edafología*.

2.3. Componentes químicos del suelo

El suelo es un sistema complejo formado por partículas sólidas orgánicas e inorgánicas, aire, agua y microorganismos. Estos elementos conocidos como fases gozan de gran interacción, debido a la enorme cantidad de reacciones químicas que sufren, por ejemplo: aire y agua intemperiza las partículas sólidas, y los microorganismos se encargan de catalizar estas reacciones.

La ciencia que estudia las propiedades químicas del suelo y de sus componentes orgánicos e inorgánicos, así como los fenómenos a que da lugar la mezcla de éstos, se define como química del suelo; es de primordial importancia mencionar que dicha ciencia se encuentra estrechamente

relacionada con algunas disciplinas de la ciencia del suelo, tales como la química de los coloides, la fertilidad, la mineralogía y la microbiología del suelo.

En el caso de la caolinita es aluminosilicatos laminar dioctaédrico (1:1), cada lámina está compuesto por dos capas: Una capa tetraédrica (Formado por átomos de silicio coordinados tetraédricamente a átomos de oxígeno) y otra capa octaédrica (consiste en átomos de aluminio coordinados octaédricamente a los átomos de oxígeno y grupos hidroxilo).

Los componentes químicos que integra la caolinita son 46.56 % de SiO_2 , 39.49 % de Al_2O_3 y el 13.95 % de H_2O .

Figura 4. **Caolinita $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$**



Fuente: Cepeda (1991). *Química de los Suelos*.

2.4. Consistencia del suelo

Gisbert (2001) menciona que la consistencia es el grado y el tipo de cohesión y adhesión entre las partículas del suelo, así como la resistencia del suelo a la deformación o ruptura después de aplicarle una cierta presión. Varía según el estado de humedad del suelo, por lo que interesa determinarla en seco, húmedo y mojado.

Figura 5. **Consistencia**



Fuente: Valencia (2008). *Caolinitas*.

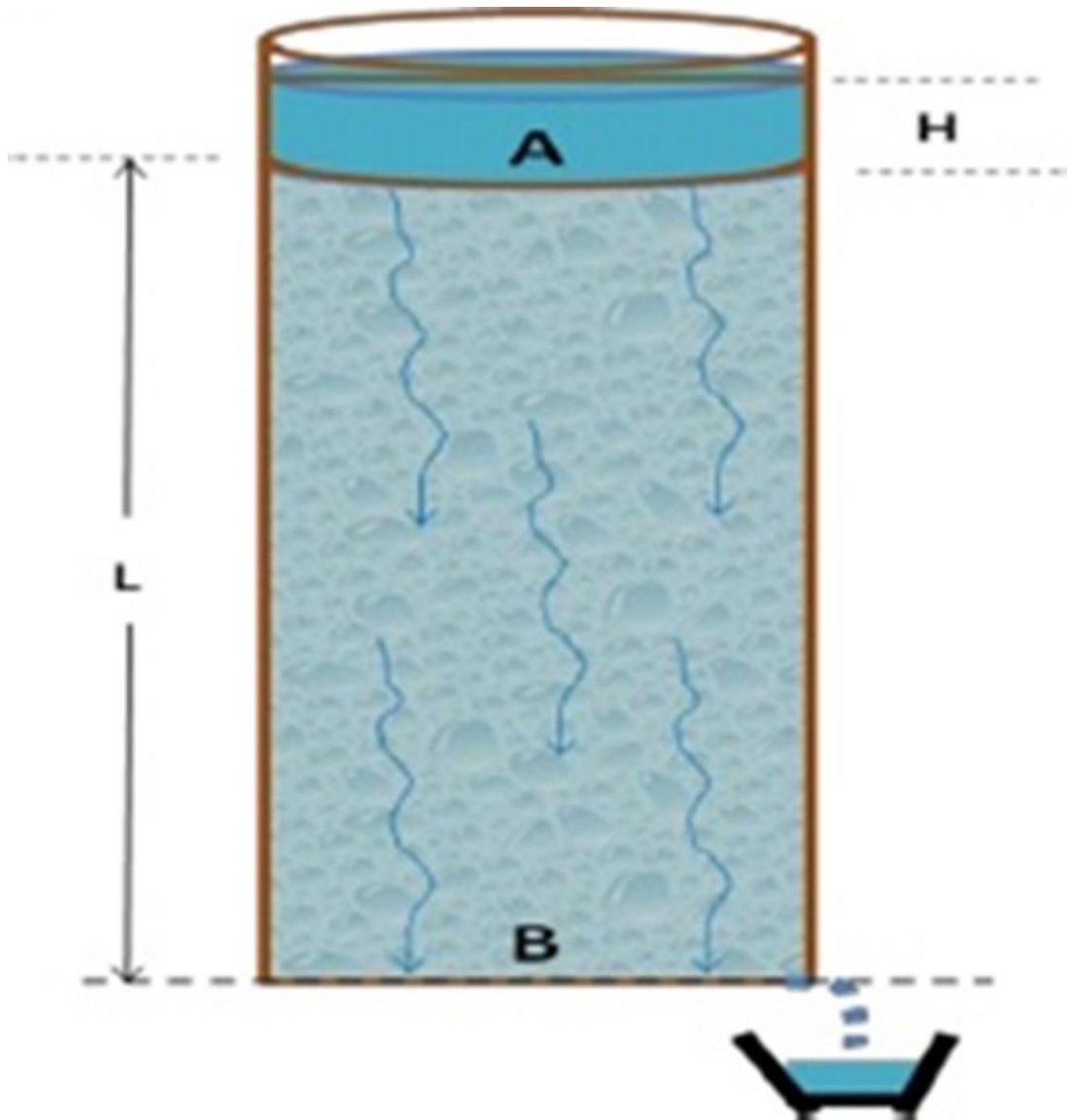
2.5. Relación de la estructura del suelo y el agua

Las partículas de los suelos se aglutinan o integran formando agregados, debido a la fuerza de cargas eléctricas y la influencia de agentes externos como la materia orgánica. Esto genera la estructura del suelo, que se describe por la forma, el tamaño o la fuerza de la unión de los agregados. (Sierra, 2011, p. 10)

Un suelo con una buena estructura tiene tanto macro como microporos que permiten que el aire, el agua circule por medio de la presión gravitatoria.

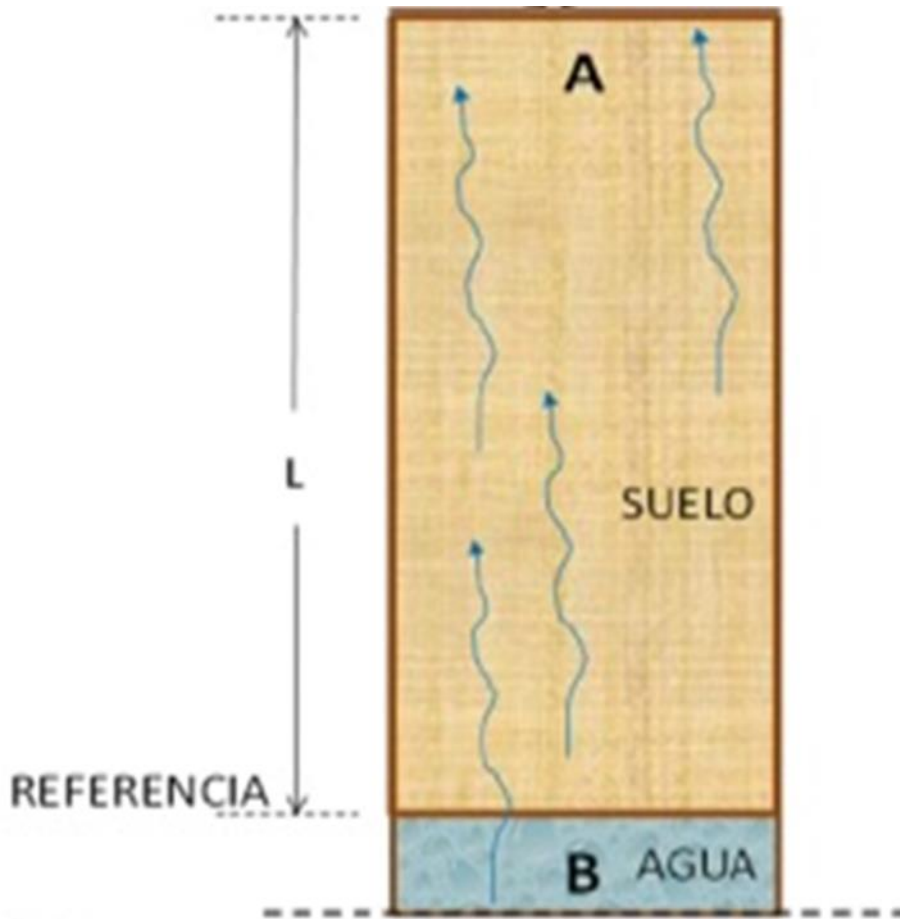
El agua a través del suelo se altera por las capas que tienen diferente textura que las demás. Si un estrato o perfil tiene una cantidad apreciable de arcilla, éste impedirá el movimiento del agua y la acumulará encima de él. Un suelo permanece saturado si al agua no se le permite drenar.

Figura 6. Flujo vertical descendente



Fuente: Sierra (2000). *Relación agua suelo en la agricultura*.

Figura 7. **Flujo vertical ascendente**



Fuente: Sierra (2000). *Relación agua suelo en la agricultura*.

2.5.1. Límite líquido del suelo

El límite líquido se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia al estado plástico a líquido, los suelos plásticos tienen el límite líquido una resistencia muy pequeña al esfuerzo de corte, pero definida según Atterberg es

de 25 gramos/cm², la cohesión de un suelo en el límite líquido es prácticamente nula.

Figura 8. **Copa de casa grande**



Fuente: Crespo (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*.

Ecuación de la curva de fluidez

$$W = I_f * \log N + c \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

W = Porcentaje en peso de la humedad

If = Índice de fluencia

N= Número de golpes

C= Valor que representa la ordenada de las abscisas de un golpe.

Ecuación de límite líquido simplificado

$$ll = Wf \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

LL = Límite líquido

W = Porcentaje en peso de la humedad

f = Factor de corrección

$$f = \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121} \quad (\text{Ec. 3})$$

Tabla II. **Valores de factor de corrección**

N	F
20	0.9734
21	0.9792
22	0.9847
23	0.9900
24	0.9951

Continuación tabla II.

25	1
26	1.0048
27	1.0094
28	1.0138
29	1.0182
30	1.0223

Fuente: Crespo (2004). *Mecanica de Suelos y Cimentaciones*.

Plasticidad, es la propiedad que presenta un suelo de poder deformarse hasta cierto límite sin romperse.

- Índice plástico: Indica el rango de humedad, es la diferencia entre el límite líquido y límite plástico.

Tabla III. **Rango de plasticidad**

Parámetros	
Plasticidad	Índice plástico
Baja plasticidad	< 7
Medianamente plástico	$7 \leq L.p \leq 17$
Altamente plástico	>17

Fuente: Crespo (2004). *Mecanica de Suelos y Cimentaciones*.

Otra forma de calcular el límite líquido en laboratorio

$$L.L = \frac{P_W}{P_S} * 100 \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

L.P = límite líquido

Pw = peso del agua contenido en la muestra en gramos

Ps = peso de la muestra seca en gramos

- Límite plástico: Contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra secada.

$$L.P = \frac{P_w}{P_s} * 100 \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

L.P = Límite plástico

Pw = peso del agua contenido en los cilindros ya fragmentado en gramos

Ps = peso de los trocitos de la muestra en seco en gramos

3. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DEL SUELO POR MEDIO DE SU RESISTENCIA ELÉCTRICA Y TEMPERATURA

3.1. Extracción y preparación de la muestra

Identificar el banco de materiales, con características de suelo arcilloso caolinita, pudiendo ser de color blanco cuando es pura, pero puede ser de otro color, textura suave al tacto humano, sin sabor, no tóxico al ser humano.

Realizar una perforación de 1 pie³, para poder extraer la muestra con facilidad, identificando la muestra en bolsa plástica y transportarla al laboratorio correspondiente.

Extraer muestra de suelo aproximadamente 1,500 gramos, la muestra debe estar limpia de agentes contaminantes.

El suelo arcilloso caolinita en estado puro, al ser extraído, tiene forma de terrones, por lo que es necesario triturar los mismos para obtener partículas de menor diámetro y pasar por el tamiz No. 8.

Tomar 1,300 gramos de dicha muestra después de haberla triturado, remojar y amasar la muestra hasta que se forme una pasta uniforme, a simple vista se debe notar que la muestra está aproximadamente gelatinosa.

Tomar y depositar esa pasta, en la caja pequeña MC Miller en los extremos están instalados dos electrodos de acero inoxidable. Esto con el fin de que la muestra tome forma rectangular como semiconductor.

Procurar que la pasta esté bien compactada en la caja MC Miller para evitar vacíos y aproximar las partículas moleculares entre sí, mejorando la conductividad eléctrica. La cajita rectangular tiene que ser plástico para aislar eléctricamente la muestra con el exterior. De 3 cm*2.4 cm*10.80 cm de espacio interior.

3.2. Medición de la muestra

Introducir los electrodos en cada extremo de la caja Mc Miller, con electrodos de un multímetro digital o análogo, luego con el selector se ubica la opción de resistencia en ohmios y temperatura en grados Celsius y tomar lectura de resistencia eléctrica y temperatura.

Ingresar resultados de lecturas, al modelo matemático que representa la correlación de las variables de resistencia eléctrica y temperatura.

3.3. Método según norma ASTM D-4318 para límite líquido

- Tomar 100 gramos de muestra de suelo arcilloso caolinita.
- Pasar los 100 gramos en el tamiz #40.
- Mezclar la muestra de suelo arcilloso caolinita que pasó el tamiz #40 con agua hasta que se cierre la ranura hecha en la pasta de suelo en la copa de Casagrande. La pasta de suelo en la copa se divide en dos partes quedando una separación de 12.7 mm. Se tiene que cerrar la ranura a 25

golpes. A partir de ese momento el suelo, cambia de estado plástico a líquido.

- Se pesa la muestra mojada + tarita.
- Se seca la muestra + tarita en horno a 105 grados Celsius.
- Se pesa la muestra seca + tarita.
- Se resta peso seco al peso mojado.
- El resultado de la resta que es el peso del agua se divide entre el peso seco de la muestra. y se multiplica por 100, para dejar el resultado de límite líquido en porcentaje.

3.4. Aplicación del límite líquido

El límite líquido tiene aplicaciones en el campo de la ingeniería, podemos citar algunos ejemplos: en construcción de carreteras o calles, en cimentaciones para edificios, puentes y toda cimentación en general, verificando la expansión en general a través del límite líquido.

Al realizar una prueba de límite líquido al suelo que va a soportar el peso de alguna obra de ingeniería, ayuda a tomar decisiones si el límite líquido por ejemplo es menor que 35, indica que hay hinchamiento bajo, a medida que el resultado aumente sobre 35 el suelo tiende a tener expansión, conforme el resultado sea más alto, se puede llegar a hinchamientos extremadamente altos. En estos casos cuando el resultado del límite líquido sea mayor que 65.

Tabla IV. **Expansividad en arcillas**

Parámetros		
Grado	Expansividad	Límite Líquido
1	Baja	< 35
2	Baja a media	35-50
3	Media a alta	50-65
4	Muy alta	>65

Fuente: González (2002). *Ingeniería Geológica*.

A partir de los resultados obtenidos, se pueden tomar criterios para reemplazar el suelo o cambiar la estructura del suelo, cuando el límite líquido sea alto, de esta forma se puede garantizar la calidad constructiva de la obra. Obviamente dicha calidad va acompañada de otros estudios de suelos.

3.5. Modelo matemático en función a la resistencia eléctrica y temperatura para cálculo de límite líquido

Ecuación general, relación de resistividad o resistencia de agua y suelo, donde se dice que si se conoce dos resistividades se puede encontrar una tercera resistividad.

$$\rho = \frac{\rho_1}{\rho_2} \quad (\text{Ec. 6})$$

$$RC = \frac{R_1C}{R_2C} \quad (\text{Ec. 7})$$

Cálculo de ρ_1 = resistividad del agua potable que se usa como constante en el numerador de la ecuación general. Donde C=0.67 Coeficiente de resistividad

obtenida $A/L = (3 \text{ cm} * 2.4 \text{ cm}) / 10.80 \text{ cm}$, en la caja de tierra pequeña MC Miller. La caja se usa para calcular la resistividad del agua y el suelo caolinita. La resistividad del agua y el suelo tienen el mismo coeficiente de resistividad porque es el mismo molde. Al simplificar la ecuación se elimina la constante de resistividad en la fórmula general.

Resistencia para variación de temperatura:

$$\rho_1 = \rho_{lec.M}(1 + 0.003T) \quad (\text{Ec. 8})$$

$$\rho_{lec.M} = R_{lec.M} * C \quad (\text{Ec. 9})$$

Figura 9. **Medición de resistencia eléctrica del agua**



Fuente: [Fotografía de Armando Hernández Gómez]. (Sansare, El Progreso. 2021). Colección particular. Guatemala.

$$\rho_{lec.M} = 4000 \text{ k}\Omega * C$$

La resistencia del agua potable a utilizar que da el multímetro en laboratorio
Sustituir en ecuación 8, y simplificando.

$$R\rho_1 * C = R_{lec.M} * C(1 + 0.003T) \quad (\text{Ec. 10})$$

$$R\rho_1 = 4000\text{k}\Omega(1 + 0.003 * 25\text{c})$$

$$R\rho_1 = 4300\text{k}\Omega\text{c}$$

Es una constante resistividad del agua a 25 grados centígrados, agua pura que se va a mezclar con el suelo.

Si $\rho_2 = R_2 * C$ entonces:

$$R_2 * C = (1 + 0.73 * H^2) * (1 + 0.003T) \quad (\text{Ec. 11})$$

Sustituir en ecuación general esta expresión queda en términos de la humedad y la temperatura.

$$RC = \frac{R_1 C}{R_2 C}$$

$$RC = \frac{4300}{1/C(1 + 0.73 * H^2) * (1 + 0.003T)}$$

$$R = \frac{4300}{(1+0.73*H^2)*(1+0.003T)} \quad (\text{Ec. 12})$$

Nota: Humedad = contenido de agua, después de la mezcla de agua y suelo en la caja Mc Miller. Por lo tanto, Humedad= límite líquido.

Del cálculo del límite líquido:

$$ll = H * \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121} \quad (\text{Ec. 13})$$

Si $f = \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121} = 1$ factor de corrección, y N=25 número de golpes.

Entonces $ll = Hf$, Por lo tanto $ll = H$ el límite líquido es lo mismo que la humedad. Sustituir en la ecuación 12

$$R = \frac{4300}{(1 + 0.73 * ll^2) * (1 + 0.003T)}$$

Despejar para LL, para obtener (Ec. 14)

$$LL = \sqrt{\frac{1}{0.73} \left[\frac{4,300k\Omega c}{R*(1+0.003T)} - 1 \right]} \quad (\text{Ec. 12})$$

Es el modelo matemático que representa el cálculo del límite líquido en función de la resistencia específica y temperatura.

Donde:

ll = límite líquido de la muestra de suelo

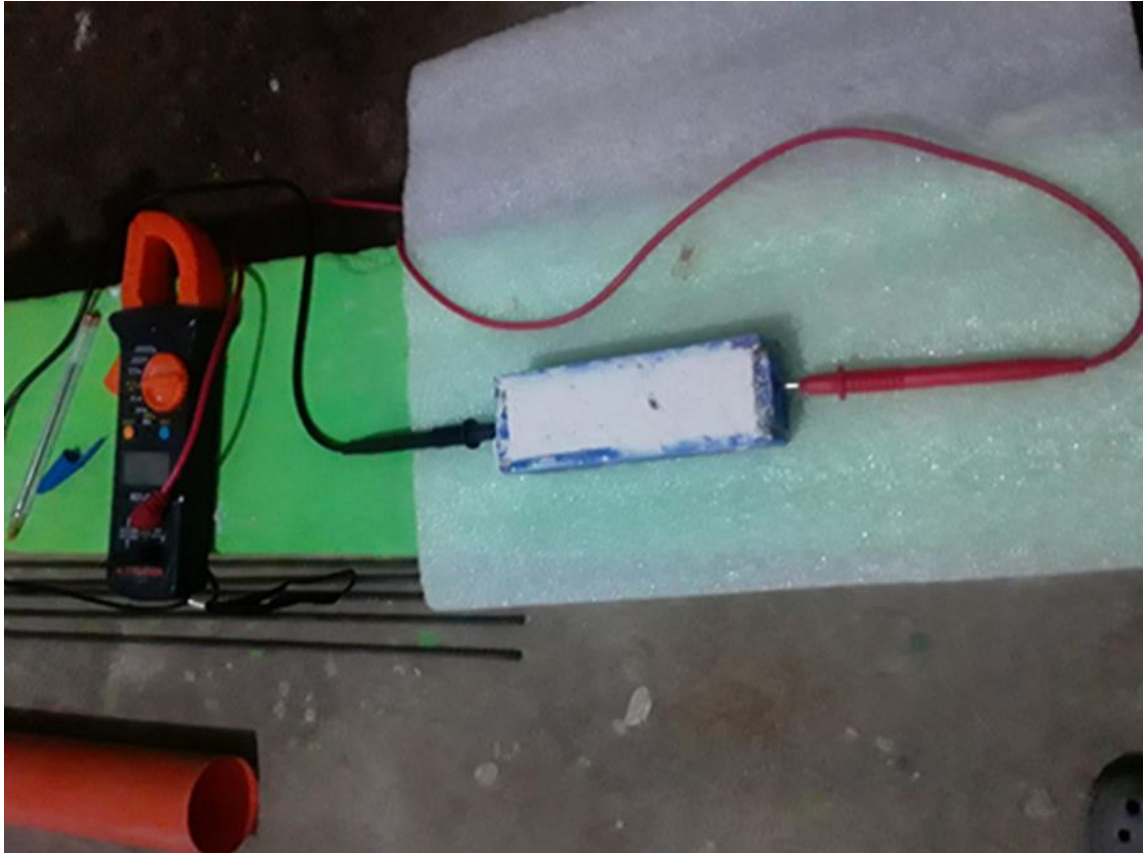
R = Resistencia eléctrica de la muestra de suelo en porcentaje.

T = Temperatura de la muestra de suelo ya mezclado con agua

3.6. Interpretación de resultados

Cuando se procedió a tomar lectura de la resistencia eléctrica a la muestra de relación agua suelo, por medio de multímetro digital, se observa lo siguiente: en la pantalla del multímetro comienza la lectura con una resistencia eléctrica inicial muy alto mientras el tiempo transcurre la resistencia en la pantalla va decrecentando hasta disminuirse lentamente la resistencia eléctrica en la pantalla.

Figura 10. **Medición resistencia eléctrica el suelo arcilloso caolinita**



Fuente: [Fotografía de Armando Hernández Gómez]. (Sansare, El Progreso. 2021). Colección particular. Guatemala.

Comienza nuevamente la lectura y se incrementa, así sucesivamente hasta detenerse, lleva un promedio de 15 minutos en dar una lectura. Al cambiar de posición de los electrodos del multímetro en los extremos de la muestra relación agua-suelo, el proceso de lectura para la resistencia eléctrica en la pantalla del multímetro se da a la inversa.

Figura 11. **Muestra de suelo arcilloso caolinita**



Fuente: [Fotografía de Armando Hernández Gómez]. (Sansare, El Progreso. 2021). Colección particular. Guatemala.

Se da este fenómeno de resistividad eléctrica, porque en un circuito eléctrico, en un sistema cerrado, la corriente eléctrica fluye a través de los elementos que componen el circuito. Tales elementos son: Batería, cable, relación agua-suelo. En donde se aplica la ley de Ohm. El flujo de electrones que se desprende de la placa negativa de la batería se transporta a través del conductor de cobre atravesando el suelo para llegar a la placa positiva de la batería.

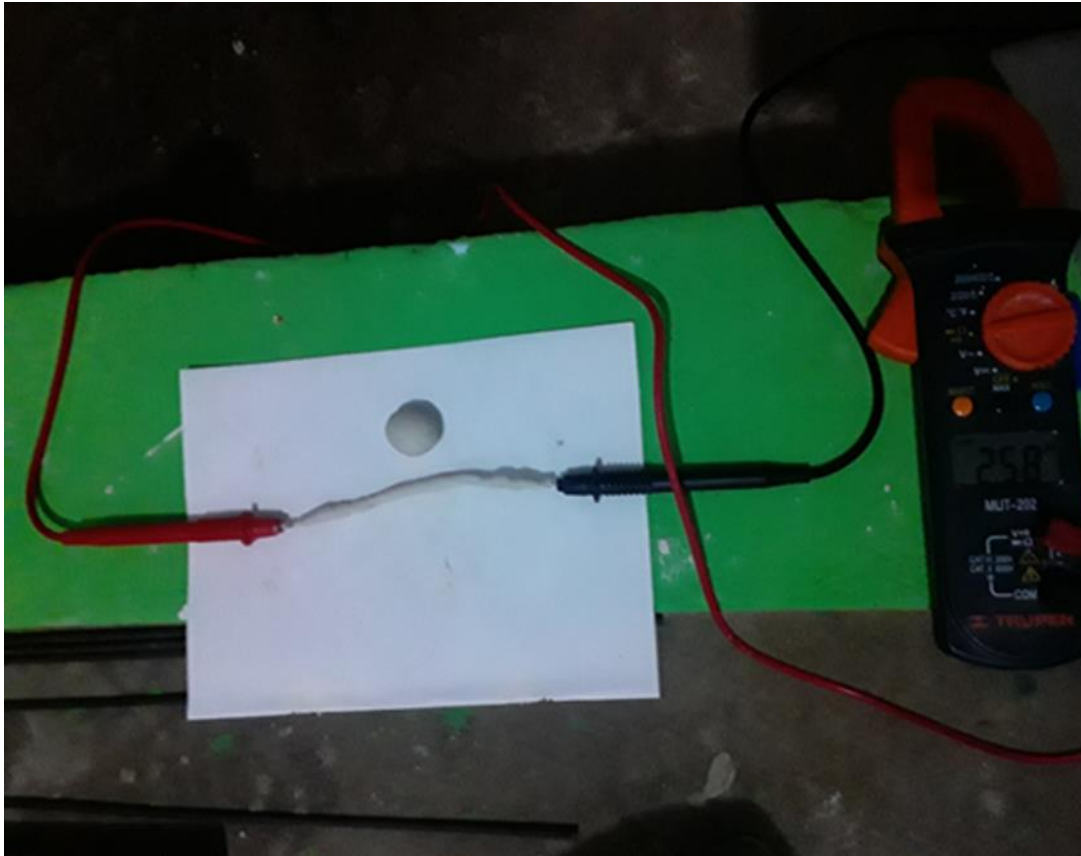
En ese proceso la relación agua-suelo ofrece resistencia al paso de electrones, por lo que se observa al comienzo, la resistencia es variable, porque la lectura no se detiene en el multímetro. Esta resistencia eléctrica se debe a que la mezcla agua suelo tiende a polarizarse en los extremos, es decir sufre una alineación de las capas laminares que componen el suelo arcilloso caolinita mojado.

La mayor parte de ese tipo de suelo arcilloso está compuesto por silicatos, como se da la ionización, los protones se mantienen estáticos mientras los electrones se movilizan. El tiempo que tarda la alineación laminar, la resistencia es variable. Hasta que la lectura del multímetro de una lectura fija.

Durante las pruebas realizadas algunas muestras no se detenían la lectura, aunque seguía marcando muy lentamente, en este caso se tomó la lectura para la resistencia eléctrica cuando marcaba muy lentamente. Que quiere decir entonces, que no se ha alineado completamente la estructura atómica tetravalente que en conjunto forma una placa laminar de suelo arcilloso caolinita y la resistencia sigue variando.

La muestra de suelo en estado natural tiene una resistencia eléctrica mayor a la misma muestra en estado mojado. Es decir, al mezclar la resistencia eléctrica del agua más resistencia eléctrica suelo se obtiene otra resistencia eléctrica del compuesto. El suelo y el agua son considerados semiconductores y el resultado de la mezcla sigue siendo un semiconductor, con cierta capacidad de conducción eléctrica.

Figura 12. **Medición de la resistencia eléctrica**



Fuente: [Fotografía de Armando Hernández Gómez]. (Sansare, El Progreso. 2021). Colección particular. Guatemala.

La resistencia eléctrica de un suelo en estado límite líquido es menor a la resistencia eléctrica del mismo suelo en estado límite plástico, porque la presencia de agua en la muestra disminuye la resistencia eléctrica, sucede a la inversa cuando se elimina el agua de la muestra, este caso para obtener la resistencia eléctrica en el límite plástico hay que deshidratar el cilindro compuesto de suelo hasta el punto de falla.

Figura 13. **Medición de la temperatura suelo arcilloso caolinita**



Fuente: [Fotografía de Armando Hernández Gómez]. (Sansare, El Progreso. 2021). Colección particular. Guatemala.

En cuanto a la medición de la temperatura en la muestra de suelo caolinita aumenta la resistencia eléctrica del suelo cuando aumenta la temperatura y viceversa. Pero no es significativo el rango que se manifestó durante el ensayo de las muestras es de 26 a 31 grados centígrados. Se puede tomar como una constante de 20 grados centígrados la temperatura en este caso particular. Pero en climas extremos si influye significativamente la temperatura sobre la resistencia eléctrica del suelo por lo tanto afecta la correlación del límite líquido.

3.7. Comparación de resultado

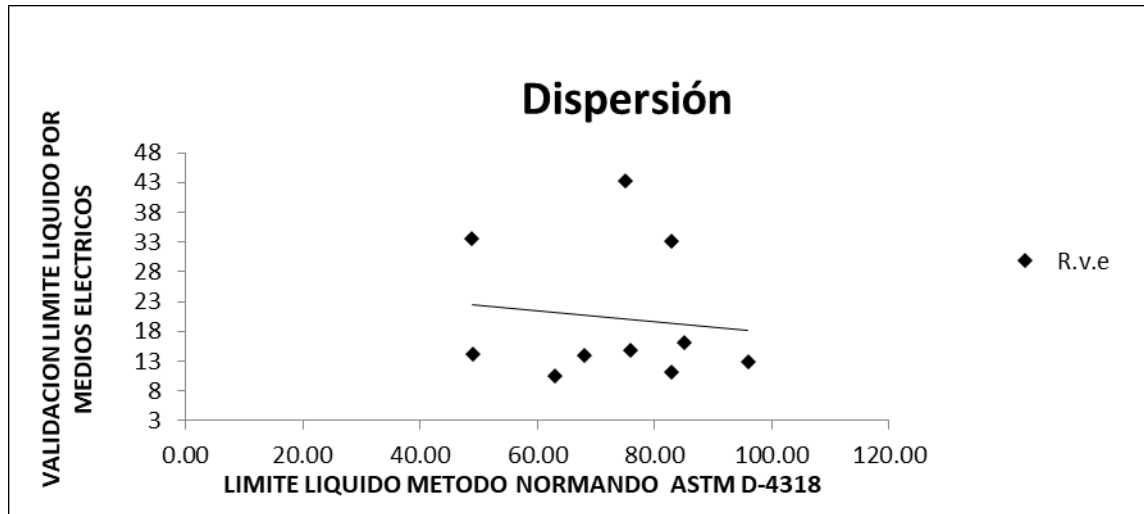
Los resultados obtenidos en ambas pruebas o enayos, de límite líquido, para determinar el coeficiente de correlación de Pearson, se observan en la tabla V.

Tabla V. **Correlación Pearson para límite líquido**

Correlación de Pearson					
Comprobación si hay correlación entre resultados (R.m.e. Y R.v.e.)					
No.	R.m.e.	R.v.e	x	y	xy
m1	48.90	33.66	-23.79	13.29	-316.26
m2	49.00	14.19	-23.69	-6.18	146.31
m3	83.00	11.05	10.31	-9.32	-96.05
m4	83.00	33.16	10.31	12.79	131.91
m5	75.00	43.18	2.31	22.81	52.70
m6	85.00	16.07	12.31	-4.30	-52.88
m7	76.00	14.85	3.31	-5.52	-18.26
m8	68.00	13.99	-4.69	-6.38	29.90
m9	63.00	10.53	-9.69	-9.84	95.31
m10	96.00	12.98	23.31	-7.39	-172.17
M=	72.69	20.37		$\Sigma=$	-199.49
DT=	14.72	11.08			
r=-1 Buena correlación con pendiente negativa					
r=0 No hay correlación					
r=1 Buena correlación con pendiente positiva					
M= Media					
DT= Desviación típica					
R.m.e.= Resultado método estándar					
R.v.e.=Resultado validación por medios eléctricos					

Fuente: elaboración propia.

Figura 14 . **Dispersión límite líquido**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

El resultado de coeficiente de correlación de Pearson tiene un valor negativo y se aproxima a -1, lo cual indica que la pendiente de la recta que atraviesa los puntos en análisis en forma dispersa, en dirección negativa. Tentativamente se considera correlación porque está en el rango (1,-1), falta que comprobar la hipótesis a través de la prueba t de dos muestras independientes, para comprobar si la correlación calculada es buena o mala para los fines de la presente investigación.

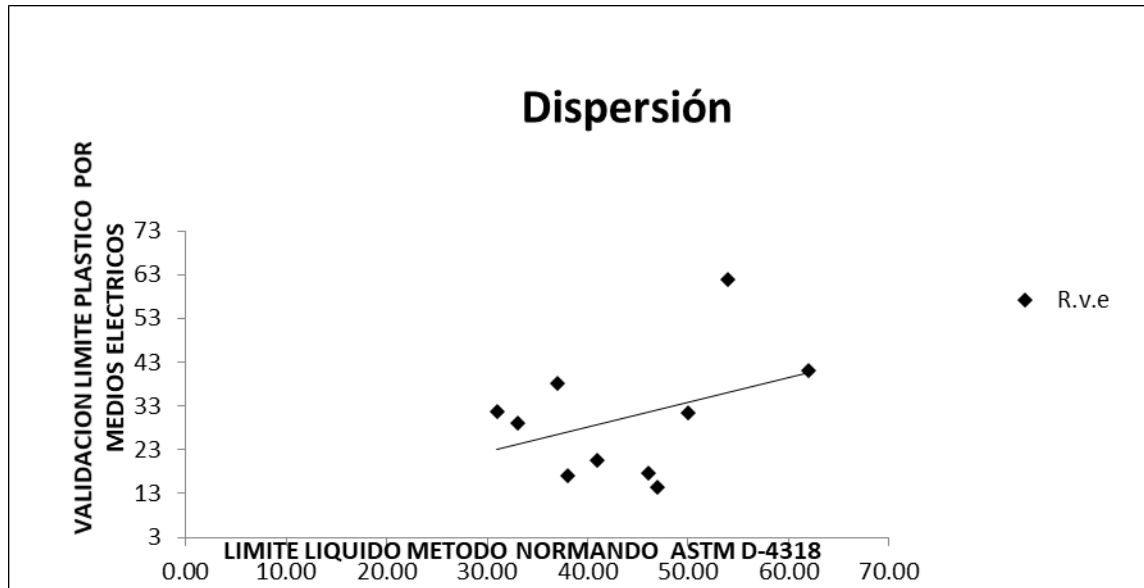
Para límite plástico la pendiente es positiva 0.39, lo cual indica que hay posible correlación, mejoró comparado con la del límite líquido. Por qué se va acercado al parámetro 1 y 1 es la imagen perfecta de las muestras ensayadas en ASTM 4318. También se someterá a la prueba t en donde se acepta o rechaza el coeficiente de correlación de Pearson calculada.

Tabla VI. Correlación de Pearson para límite plástico

Correlación de Pearson						
Comprobación si hay correlación entre resultados (R.m.e. Y R.v.e.)						
No.	R.m.e.	R.v.e	x	y	xy	
m1	31.00	31.66	-12.90	1.31	-16.85	
m2	37.00	38.23	-6.90	7.88	-54.34	Sxy= 49.05 Covarianza
m3	62.00	41.06	18.10	10.71	193.78	
m4	54.00	61.83	10.10	31.48	317.91	r_{xy}= 0.39 Coeficiente
m5	47.00	14.46	3.10	-15.89	-49.27	
m6	46.00	17.72	2.10	-12.63	-26.53	Correlación no significativa
m7	50.00	31.56	6.10	1.21	7.36	
m8	33.00	29.19	-10.90	-1.16	12.69	
m9	38.00	17.23	-5.90	-13.12	77.43	
m10	41.00	20.60	-2.90	-9.75	28.29	
M=	43.90	30.35		Σ=	490.45	
DT=	9.26	13.61				
r=-1 Buena correlación con pendiente negativa						
r=0 No hay correlación						
r=1 Buena correlación con pendiente positiva						
M= Media						
DT= Desviación típica						
R.m.e.= Resultado método estándar						
R.v.e.=Resultado validación por medios eléctricos						

Fuente: elaboración propia.

Figura 15. Dispersión límite plástico



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Respecto al índice plástico, que es la diferencia entre los límites líquidos y plásticos, si tiene un coeficiente de Pearson de -0.24 con pendiente negativa.

Tabla VII. Correlación de Pearson para Índice de plasticidad

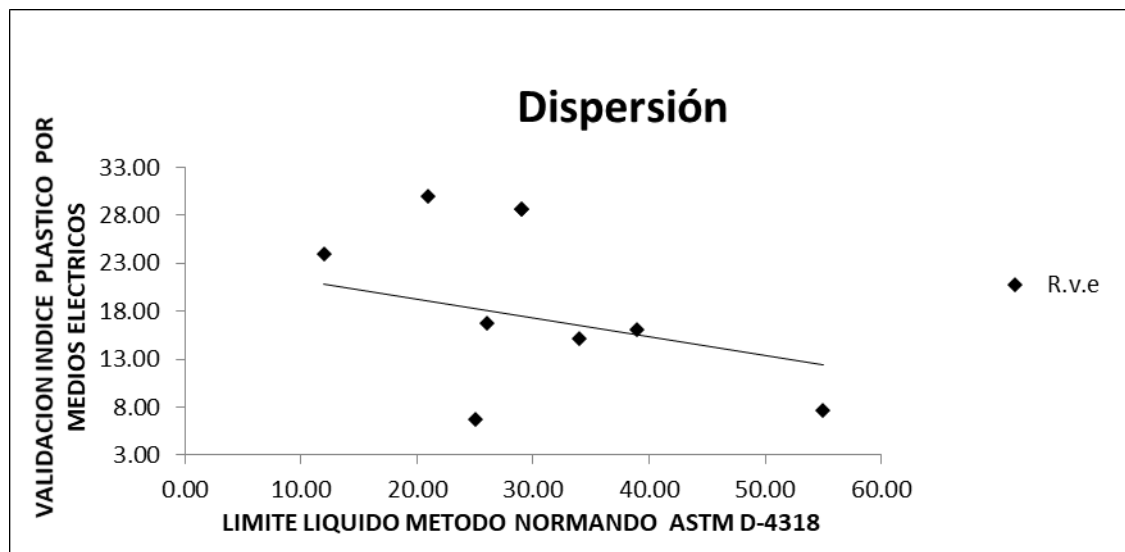
Correlación de Pearson						
Comprobación si hay correlación entre resultados (R.m.e. Y R.v.e.)						
No.	R.m.e.	R.v.e	x	Y	xy	
m1	17.00	1.98	-11.70	-15.59	182.40	
m2	12.00	24.04	-16.70	6.47	-108.05	Sxy= -26.19 Covarianza
m3	21.00	30.01	-7.70	12.44	-95.79	
m4	29.00	28.66	0.30	11.09	3.33	r_{xy} = -0.24 Coeficiente
m5	29.00	28.72	0.30	11.15	3.35	
m6	39.00	16.07	10.30	-1.50	-15.45	Correlación no significativa
m7	26.00	16.70	-2.70	-0.87	2.35	
m8	34.00	15.20	5.30	-2.37	-12.56	
m9	25.00	6.70	-3.70	-10.87	40.22	

Continuación tabla VII.

m10	55.00	7.62	26.30	-9.95	-261.69
M=	28.70	17.57		$\Sigma=$	-261.89
DT=	11.50	9.55			
	r=-1 Buena correlación con pendiente negativa				
	r=0 No hay correlación				
	r=1 Buena correlación con pendiente positiva				
	M= Media				
	DT= Desviación típica				
	R.m.e.= Resultado método estándar				
	R.v.e.=Resultado validación por medios eléctricos				

Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Dispersión índice plástico**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Aplicación de la prueba t para la aceptación o rechazo de la hipótesis para límite líquido:

Se utilizó el programa SPSS estadístico en donde se usó la opción de normalidad y prueba t para dos muestras independientes. Para tal fin se procedió lo siguiente:

Figura 17. **Ventana programa SPSS estadística**

IBM SPSS Statistic Editor de Datos					
Archivo	Editar	Ver	Datos	Transformar	Analizar
	Nombre	Tipo	Anchura	Decimales	Etiqueta
1	Cantidad	Cadena	6	0	Correlativo
2	Muestra	Cadena	1	0	Muestra
3	resultados	Numérico	8	2	Resultados

Marketing	Gráficos	Utilidades	Ventana	Ayuda	
Valor	Periodos	Columnas	Alineación	Medidas	Rol
Ninguna	Ninguna	8	Izquierda	Normal	Entrada
(1, ASTM...)	Ninguna	8	Izquierda	Nominal	Entrada
Ninguna	Ninguna	8	Derecho	Escala	Entrada

Fuente: elaboración propia, realizado con SPSS estadística.

Figura 18. Ventana programa SPSS estadística

IBM SPSS Statistic Editor de Datos			
10			
	Cantidad	Muestra	Resultado
1	1	ASTM D-4318	48.6
2	2	ASTM D-4318	49.00
3	3	ASTM D-4318	83.00
4	4	ASTM D-4318	83.00
5	5	ASTM D-4318	75.00
6	6	ASTM D-4318	85.00
7	7	ASTM D-4318	76.00
8	8	ASTM D-4318	68.00
9	9	ASTM D-4318	63.00
10	10	ASTM D-4318	96.00
11	11	VALIDACIÓN	33.66
12	12	VALIDACIÓN	14.99
13	13	VALIDACIÓN	11.05
14	14	VALIDACIÓN	33.16
15	15	VALIDACION	43.18
16	16	VALIDACION	16.07
17	17	VALIDACION	14.85
18	18	VALIDACION	13.99
19	19	VALIDACION	10.53
20	20	VALIDACION	12.98

Fuente: elaboración propia, realizado con SPSS estadística.

- Prueba de normalidad

Si $P > 0.05$ el comportamiento de los elementos en el conjunto es normal, con un nivel de confianza de 95 %.

Si $P < 0.05$ el comportamiento de los elementos en el conjunto no es normal con un nivel de confianza de 95 %.

Tabla VIII. **Casos límite líquido**

Muestra	Casos					
	Válido		Pedido		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Resultado de Laboratorio	10.00	100.00 %	0.00	0.00 %	10.00	100.00 %
	10.00	100.00 %	0.00	0.00 %	10.00	100.00 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Estadística límite líquido**

Muestra	Estadístico	Error estándar
1 Media	71.86600	5.39
95 % de intervalo de confianza límite inferior	59.64	
Límite superior	84.07	
Media recortada al 5%	72.25	
Mediana	75.50	
Varianza	291.52	
Desviación estándar	17.07	
Mínimo	40.60	
Máximo	96.00	
Rango	55.40	
Resultados de laboratorio	Rango intercuartil	24.00
	Asimetría	-0.67
	Curtosis	-0.14
	2 Media	20.36
	95 % de intervalo de confianza límite inferior	12.01
	Límite superior	28.71
	Media recortada al 5%	19.64
	Mediana	14.52
	Varianza	136.29
	Desviación estándar	11.67
	Mínimo	10.5
	Máximo	43.18
	Rango	32.65

Continuación tabla IX.

Rango intercuartil	20.79	
Asimetría	1.17	0.68
Curtosis	-0.19	1.33

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Grado de significancia límite líquido**

	Muestra	Kolmogorov-Sminov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Resultado de Laboratorio	1	0.17	10.00	0.20	0.94	10.00	0.61
	2	0.34	10.00	0.20	0.77	10.00	0.00

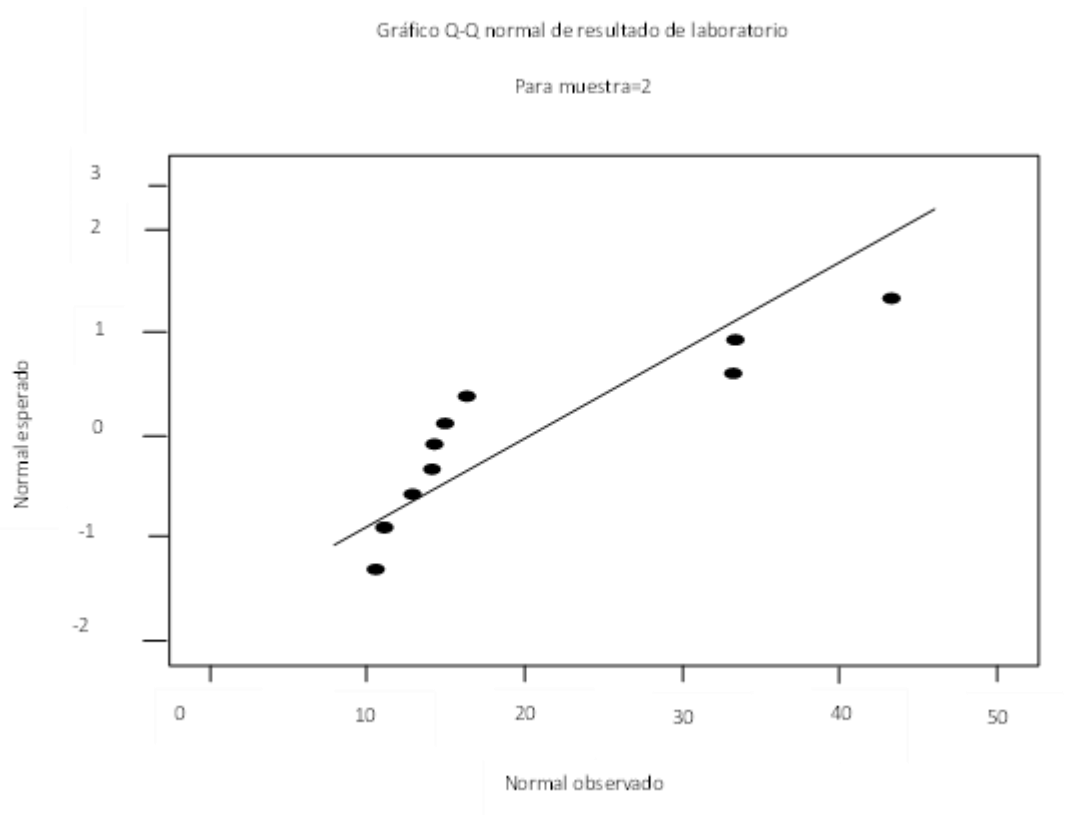
Fuente: elaboración propia.

Interpretación de resultado: para conjuntos menores de 30 elementos se toma el cuadro que encabeza Shapio Wilk $P=0.007$ y $0.007 < 0.05$ la distribución se comporta de manera no normal. Se no cumple con la prueba de normalidad para el conjunto 2 y el conjunto 1 si cumple.

Si $P > 0.05$ el comportamiento de los elementos en el conjunto es normal, con un nivel de confianza de 95 %.

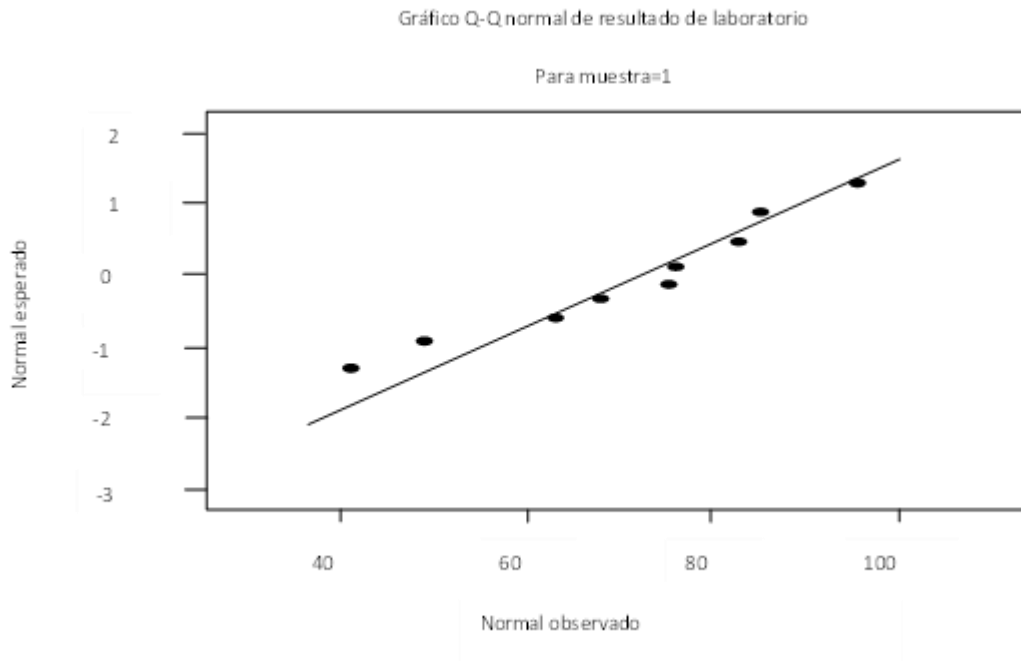
Si $P < 0.05$ el comportamiento de los elementos en el conjunto no es normal con un nivel de confianza de 95 %.

Figura 19. Normal ASTM límite líquido



Fuente: elaboración propia, realizado con SPSS Estadística.

Figura 20. Normal validación límite líquido



Fuente: elaboración propia, realizado con SPSS Estadística.

- Prueba t

En la prueba t es donde se comprueba la Hipótesis para igualdad de medias, la hipótesis es la siguiente: Existe correlación lineal entre el límite líquido, la temperatura y la resistencia eléctrica de suelo arcilloso caolinita.

Si en la prueba de t de dos variables independientes para igualdad de medias $P > 0.05$ ($P = \text{sig. bilateral}$) hay correlación lineal y se acepta la hipótesis, con un nivel de confianza de 95 %.

Si $P < 0.05$ no hay correlación y se rechaza la hipótesis, con un nivel de confianza de 95 %

- Prueba t para dos variables independientes

Tabla XI. **Desviación estándar límite líquido**

Muestra	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Resultado de Laboratorio	10.00	71.86	17.07	5.39
	10.00	20.36	11.67	3.69

Fuente: elaboración propia.

- Resultado prueba t

La prueba t de dos muestras independientes para igualdad de medias, en un nivel de significancia bilateral es de 0.00, lo cual indica que se rechaza la hipótesis. Porque se asumió igualdad de varianzas con valor de significancia 0.328 a través de la prueba de Levene y $0.00 < 0.05$ es resultado y menos que p, con un nivel de confianza de 95 % por lo tanto no se acepta la hipótesis.

Tabla XII. **Significancia bilateral límite líquido**

Resultados	Levene		Prueba t para la igualdad de medias						
	F	Sig.	t	Gl	Sig.(bilateral)	Diferencia media	Estándar	95% de intervalos	
								Inferior	Superior
varianzas iguales	1.04	0.32	7.87	18.00	0.00	51.49	6.54	37.75	65.23
No varianzas iguales			7.87	15.90	0.00	51.49	6.54	37.62	65.36

Fuente: elaboración propia.

- Prueba de normalidad y t para límite plástico:

Tabla XIII. **Casos límite plástico**

Muestra	Casos					
	Válido		Pedido		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Resultado de 1 Laboratorio	10.00	100.00 %	0.00	0.00 %	10.00	100.00 %
2	10.00	100.00 %	0.00	0.00 %	10.00	100.00 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Estadística límite plástico**

Muestra	Estadístico	Error estándar
1 Media	43.90	3.08
95% de intervalo de confianza límite inferior	36.91	
Límite superior	50.88	
Media recortada al 5%	43.61	
Mediana	43.50	
Varianza	95.21	
Desviación estándar	9.75	
Resultado de laboratorio	Mínimo	31.00
	Máximo	62.00
	Rango	31.00
	Rango intercuartil	15.00
	Asimetría	0.48
	Curtosis	-0.37
	2 Media	30.35
	95 % de intervalo de confianza límite inferior	20.09
	Límite superior	40.61
	Media recortada al 5 %	29.48
	Mediana	30.37

Continuación tabla XIV.

Varianza	205.72	
Desviación estándar	14.34	
Mínimo	14.46	
Máximo	61.83	
Rango	47.37	
Rango intercuartil	21.34	
Asimetría	1.11	0.68
Curtosis	1.47	1.33

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Grado de significancia límite plástico**

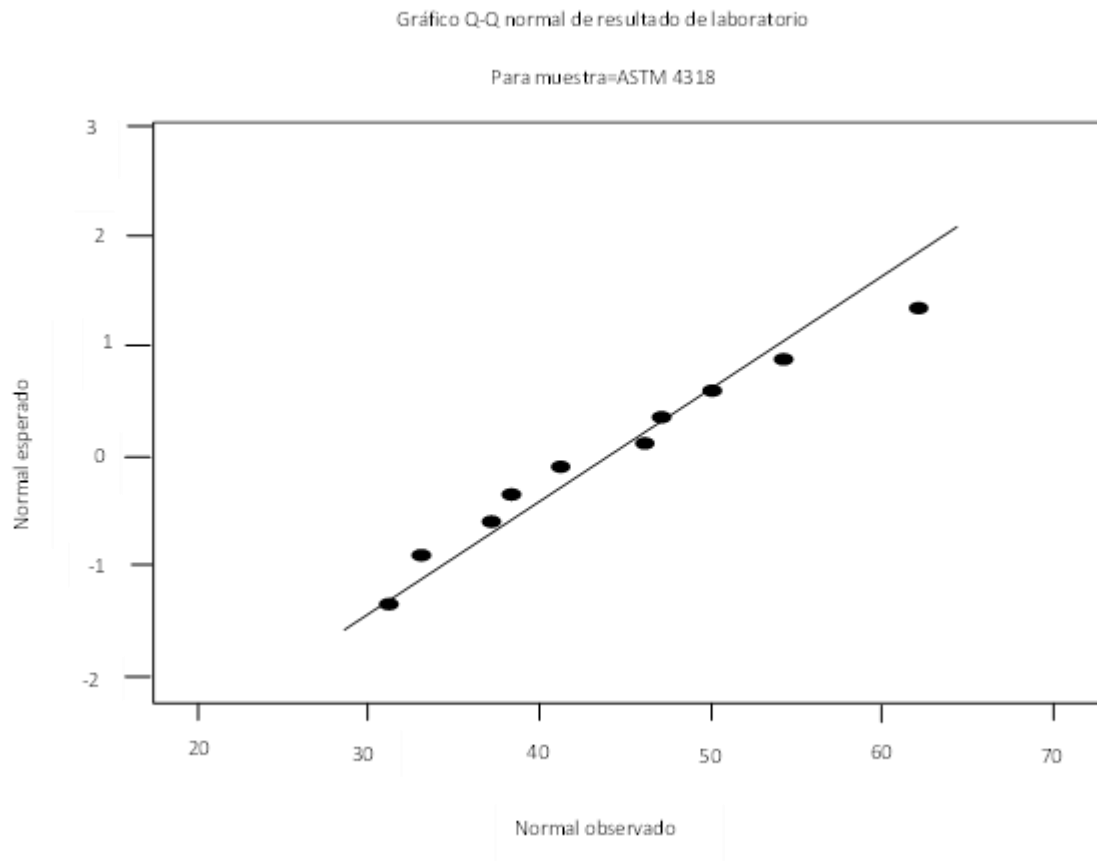
Muestra	Kolmogorov-Sminov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Resultado de 1	0.12	10.00	0.20	0.96	10.00	0.86
Laboratorio 2	0.16	10.00	0.20	0.90	10.00	0.23

Fuente: elaboración propia.

La muestra de elementos del grupo validación actúa con normalidad porque 0.230 es mayor que 0.05.

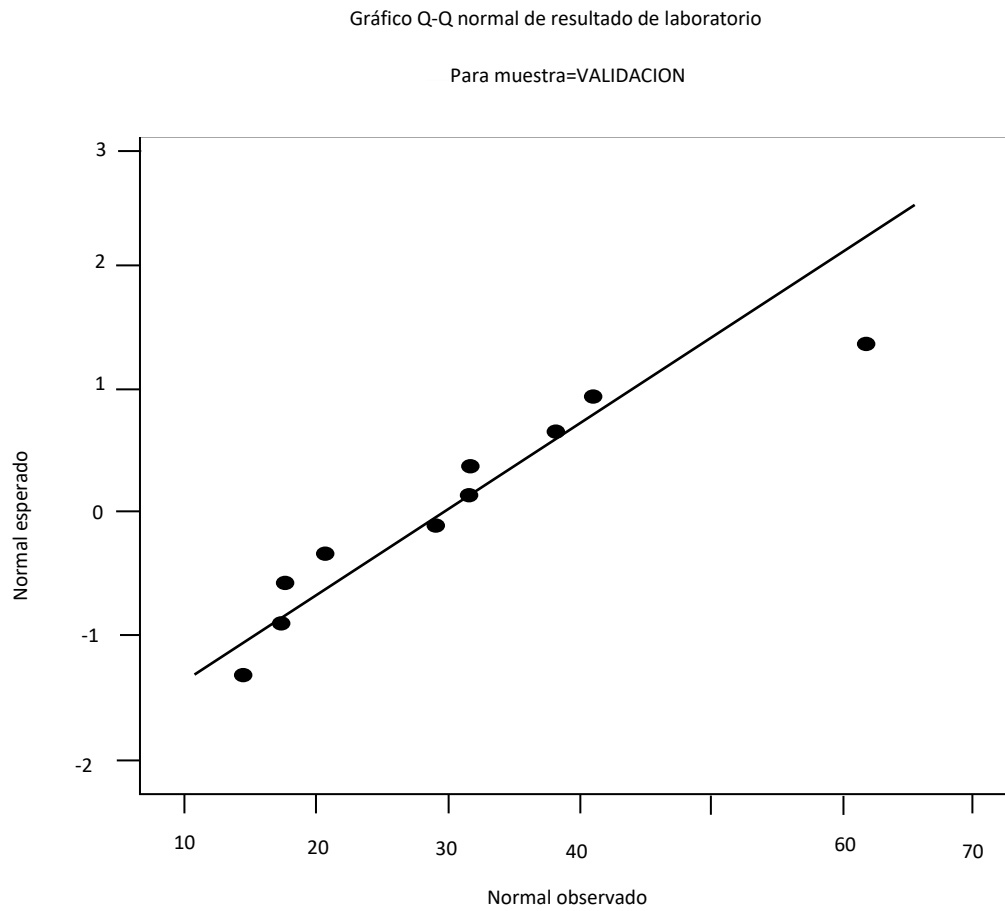
- Gráficos Q-Q normales

Figura 21. Normal ASTM límite plástico



Fuente: elaboración propia, realizado con SPSS Estadística.

Figura 22. Normal validación límite plástico



Fuente: elaboración propia, realizado con SPSS Estadística.

- Prueba t

Tabla XVI. **Desviación estándar límite plástico**

Muestra	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Resultado de Laboratorio	10.00	43.90	9.75	3.08
Laboratorio	10.00	30.35	14.34	4.53

Fuente: elaboración propia.

- Prueba de muestras independientes

Tabla XVII. **Grado de significancia bilateral límite plástico**

Resultados	Levene		Prueba t para la igualdad de medias						
	F	Sig.	t	Gl	Sig.(bilateral)	Diferencia media	Estándar	95% de intervalos	
								Inferior	Superior
varianzas iguales	0.62	0.43	2.46	18.00	0.02	13.54	5.48	2.02	25.07
No varianzas iguales			2.46	15.86	0.02	13.54	5.48	1.90	25.18

Fuente: elaboración propia.

- Prueba de normalidad y t para Índice de plasticidad

Tabla XVIII. **Casos índices de plasticidad**

Muestra		Casos					
		Válido		Pedido		Total	
		N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Resultado de Laboratorio	1	10.00	100.00 %	0.00	0.00 %	10.00	100.00 %
Laboratorio	2	10.00	100.00 %	0.00	0.00 %	10.00	100.00 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. Estadística índice de plasticidad

	Muestra	Estadístico	Error estándar
Resultado de laboratorio	1 Media	28.70	3.83
	95 % de intervalo de confianza límite inferior	20.02	
	Límite superior	37.37	
	Media recortada al 5 %	28.16	
	Mediana	27.50	
	Varianza	146.90	
	Desviación estándar	12.12	
	Mínimo	12.00	
	Máximo	55.00	
	Rango	43.00	
	Rango intercuartil	15.25	
	Asimetría	0.98	0.68
	Curtosis	1.63	1.33
	2 Media	17.57	3.18
	95 % de intervalo de confianza límite inferior	10.36	
	Límite superior	24.77	
	Media recortada al 5 %	17.74	
	Mediana	16.38	
	Varianza	101.41	
	Desviación estándar	10.07	
	Mínimo	1.98	
	Máximo	30.01	
	Rango	28.03	
	Rango intercuartil	21.29	
	Asimetría	-0.15	0.68
	Curtosis	-1.38	1.33

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Grado de significancia índice de plasticidad**

Muestra	Kolmogorov-Sminov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Resultado de 1	0.19	10.00	0.20	0.94	10.00	0.58
Laboratorio 2	0.16	10.00	0.20	0.91	10.00	0.34

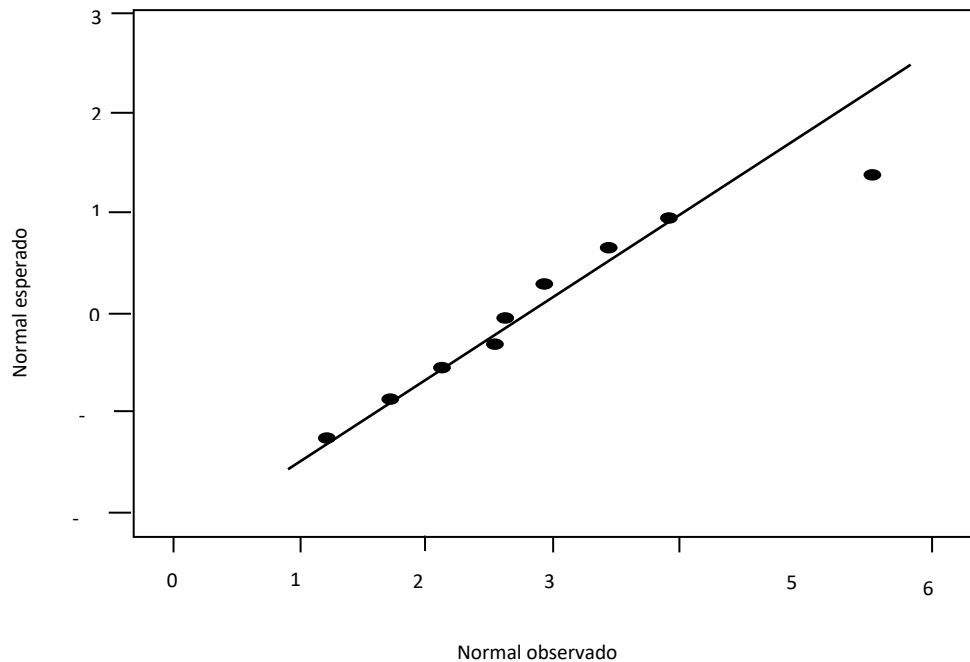
Fuente: elaboración propia.

Los elementos actúan con normalidad. Porque el nivel de significancia es mayor que 0.05.

Figura 23. **Normal ASTM índice plástico**

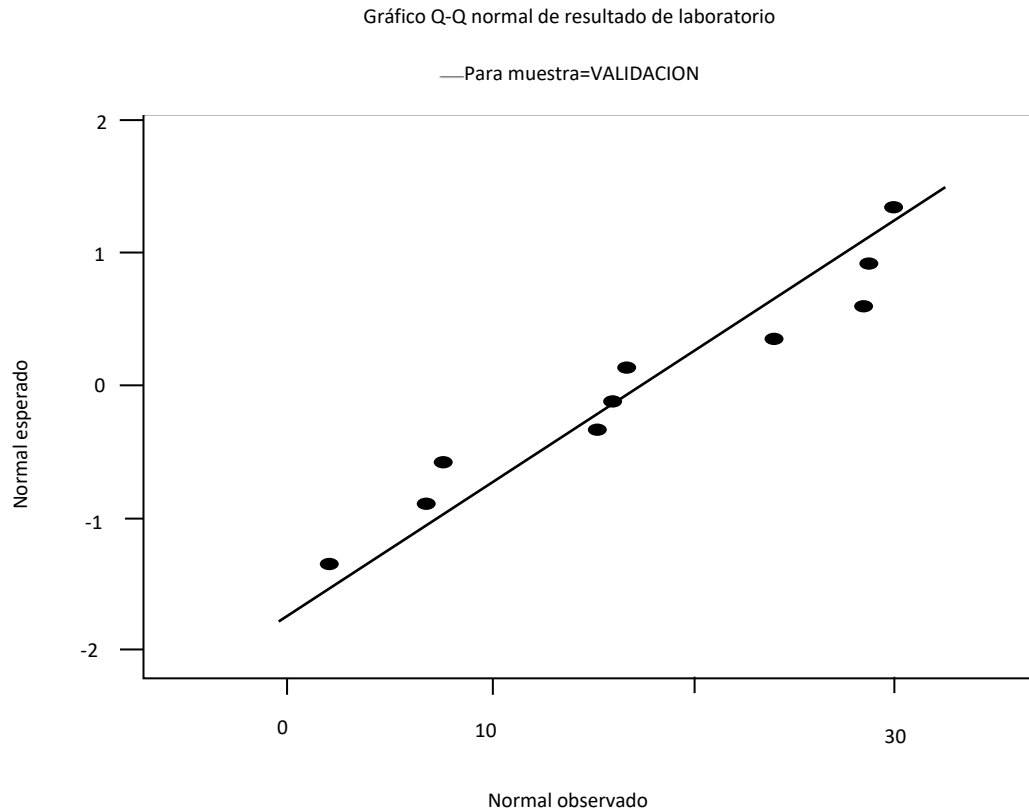
Gráfico Q-Q normal de resultado de laboratorio

Para muestra=ASTM 4318



Fuente: elaboración propia, realizado con SPSS Estadística.

Figura 24. Normal validación índice plástico



Fuente: elaboración propia, realizado con SPSS Estadística.

- Prueba t

Tabla XXI. Desviación estándar índice de plasticidad

Muestra	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Resultado de Laboratorio	10.00	28.70	12.12	3.83
Laboratorio	10.00	17.57	10.07	3.18

Fuente: elaboración propia.

- Prueba de muestras independientes

Tabla XXII. **Grado de significancia bilateral índice plasticidad**

Resultados	Levene		Prueba t para la igualdad de medias						
	F	Sig.	t	gl	Sig.(bilatera l)	Diferencia media	estándar	95% de intervalos	
								Inferior	Superior
varianzas iguales	0	0.93	2.23	18.00	0.03	11.13	4.98	0.66	21.59
No varianzas iguales			2.23	17.41	0.03	11.13	4.98	0.63	21.62

Fuente: elaboración propia.

3.8. Discusión de resultados

Exponer las diferencias de los resultados según el tema de investigación. Al parecer el 100 % de los resultados de la muestra para cálculo de límite líquido para el método normado ASTM 4318 es mayor que el resultado por validación por medios eléctricos, mientras la diferencia entre los resultados numéricos; el máximo es de 83.02 y el mínimo es de 14.94. Lo cual indica que no hay similitud matemática en los resultados. Ni un resultado coincidió.

Tabla XXIII. **Diferencias de resultados de ensayos**

RESUMEN DE RESULTADOS									
Prueba de laboratorio									
	Límite líquido			Límite Plástico			Índice Plástico		
No.	ASTM 4318	Validación	Diferencia	ASTM 4318	Validación	Diferencia	ASTM 4318	Validación	Diferencia
1	48.60	33.66	14.94	31.00	31.66	-0.66	17.00	1.98	15.02
2	49.00	14.99	34.01	37.00	38.23	-1.23	12.00	24.04	-12.04
3	83.00	11.05	71.95	62.00	41.06	20.94	21.00	30.01	-9.01
4	83.00	33.16	49.84	54.00	61.83	-7.83	29.00	28.66	0.34
5	75.00	43.18	31.82	47.00	14.46	32.54	29.00	28.72	0.28
6	85.00	16.07	68.93	46.00	17.72	28.28	39.00	16.07	22.93

Continuación tabla XXIII.

7	76.00	14.85	61.15	50.00	31.56	18.44	26.00	16.70	9.30
8	68.00	13.99	54.01	33.00	29.19	3.81	34.00	15.20	18.80
9	63.00	10.53	52.47	38.00	17.23	20.77	25.00	6.70	18.30
10	96.00	12.98	83.02	41.00	20.60	20.40	55.00	7.62	47.38

Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo de límite e índice plásticos, algunos resultados coincidieron en aproximaciones.

Qué tan expansivo es el suelo arcilloso caolinita en función al límite líquido, la muestra 5 es de grado 2 y el resto es de grado 1. Comparados ASTM D-4318 con Validación por ejemplo la muestra 10 expansividad muy alta en ASTM D-4318 y expansividad baja Validación. Los resultados se contradicen.

Porque cuando la resistividad eléctrica del suelo disminuye, aumenta el límite líquido (humedad) y por ende aumenta la expansividad o viceversa. En la columna de expansividad, en este caso se nota lo siguiente: dieron resultados de resistencia eléctrica del suelo muy altos y resultados límite líquido bajos comparados con las otras muestras ASTM D-4318.

Tabla XXIV. **Expansividad en función a límite líquido**

RESUMEN DE RESULTADOS							
Prueba de laboratorio + Hinchamiento							
Límite líquido							
Aplicación			Expansividad		Parámetros		
No.	ASTM	Validación	ASTM 4318	Validación	Grado	Expansividad	límite líquido
1	48.60	33.66	Baja a media	Baja	1	Baja	<35
2	49.00	14.99	Baja a media	Baja	2	Baja a media	35-50
3	83.00	11.05	Muy alta	Baja	3	Media a alta	50-65
4	83.00	33.16	Muy alta	Baja	4	Muy alta	>65
5	75.00	43.18	Muy alta	Baja a media			
6	85.00	16.07	Muy alta	Baja			
7	76.00	14.85	Muy alta	Baja			
8	68.00	13.99	Muy alta	Baja			
9	63.00	10.53	Media a alta	Baja			
10	96.00	12.98	Muy alta	Baja			

Fuente: elaboración propia.

En esta sección se calcula el índice de plasticidad de las muestras para ambos casos, existe semejanza con algunos resultados como también diferencias, cuando más grande es el índice plástico y mayor que 17 más plástico es el suelo. Al aumentar la resistividad eléctrica el suelo disminuye la plasticidad o al disminuir la resistividad eléctrica del suelo aumenta la plasticidad.

Tabla XXV. Plasticidad en los resultados

RESUMEN DE RESULTADOS						
Prueba de laboratorio						
Índice Plástico						
Resultados			Plasticidad		Parámetros	
No.	ASTM	Validación	ASTM 4318	Validación	Plasticidad	Índice Plástico
1	17.00	1.98	Media plástica	Baja plasticidad	Baja plasticidad	<7
2	12.00	24.04	Media plástica	Alta plasticidad	Media plástica	$7 \leq I_p \leq 17$
3	21.00	30.01	Alta plasticidad	Alta plasticidad	Alta plasticidad	>17
4	29.00	28.66	Alta plasticidad	Alta plasticidad		
5	29.00	28.72	Alta plasticidad	Alta plasticidad		
6	39.00	16.07	Alta plasticidad	Media plástica		
7	26.00	16.70	Alta plasticidad	Media plástica		
8	34.00	15.20	Alta plasticidad	Media plástica		
9	25.00	6.70	Alta plasticidad	Baja plasticidad		
10	55.00	7.62	Alta plasticidad	Media plástica		

Fuente: elaboración propia.

En este apartado se trata de ver si el resultado de ambas pruebas combinadas, para límite líquido, límite plástico e Índice de plasticidad, tiene algún coeficiente de correlación entre resultados.

Efectivamente los resultados de ambas pruebas para límite líquido tienen un 12 % coeficiente de correlación solo que, con pendiente negativa, lo cual no es representativo.

Para límite plástico tiene 39 % de coeficiente de correlación con pendiente positiva e índice de plasticidad de 24 % también con pendientes negativas. Son datos de coeficiente de correlación que serán aceptadas o rechazadas con la prueba t de dos muestras independientes. A simple vista se observa que estamos lejos de una correlación de 95 %.

En la hipótesis de la presente investigación se trata de ver si hay correlación entre las variables de resistencia eléctrica del suelo arcilloso caolinita y temperatura con respecto a límite líquido. Los resultados de coeficiente de correlación de Pearson demuestran que hay algo de correlación entre ambos resultados. Pero eso se determinará más adelante. Lo ideal sería que esos resultados de la tabla 11 estuvieran lo más cerca de 1. Sin embargo, los resultados están entre el rango de -1 a 1.

Tabla XXVI. **Correlación de Pearson para límites**

Resultados de correlación de Pearson				
No.	Límite líquido	Límite Plástico	Índice de plasticidad	Observaciones
1	-0.12			Pendiente negativa
2		0.39		Pendiente positivo
3			-0.24	Pendiente negativa

Fuente: elaboración propia.

Aquí se realiza este chequeo para ver si los elementos dentro del conjunto se comportan normalmente para ASTM 4318 Y Validación. Para límite líquido por lo menos uno de los dos ensayos se comporta normalmente, y es la de ASTM 4318 y el conjunto de validación no se comporta normalmente, con este resultado ya podemos predecir de manera preliminar que no hay correlación entre los

resultados. Para límite plástico Ambos conjuntos se comporta normalmente y para índice de plasticidad en ambos lados se comporta normalmente.

Los resultados pueden comportarse normalmente o no normalmente dentro del conjunto de dispersión alrededor de la recta con pendiente negativa o positiva.

Tabla XXVII. **Grado de significancia Shapiro Wilk**

Prueba de normalidad						
Shapiro Wilk menor de 30 elementos						
Grado de significancia al 95 % de confianza						
No.	Ensayo	Límite líquido	Límite plástico	Índice plasticidad	Comportamiento	Parámetro 5 % error
1	ASTM 4318	0.61			Normal	>0.05 normal
2	VALIDACION	0.01			No normal	<0.05 no normal
3	ASTM 4318		0.86		Normal	
4	VALIDACION		0.23		Normal	
5	ASTM 4318			0.58	Normal	
6	VALIDACION			0.34	Normal	

Fuente: elaboración propia.

En este párrafo, la prueba de Levene asumiendo igualdad de varianzas es de 0.32 y no asumen igualdad de varianzas es 0.

El grado de significancia es de 0.32 es mayor que 0.05 el error aceptado y 0.95 es la confianza en el cálculo, por lo tanto, queda comprobada que las muestras de ASTM 4318 y Validación tienen igualdad de varianzas asumidas. Los demás resultados se observan en la tabla XXVIII.

Tabla XXVIII. **Grado de significancia prueba Levene**

Prueba de Levene comprobación de hipótesis						
Igualdad de varianzas						
Grado de significancia al 95 % de confianza						
No.	Nombre	Límite líquido	Límite plástico	Índice plástico	Comportamiento	Parámetro 5 % error
1	Igual de varianzas	0.32			Acepta	>0.05 acepta
2	No igual de varianzas	0.00				< 0.05 rechaza
3	Igual de varianzas		0.44		Acepta	
4	No igual de varianzas		0.00			
5	Igual de varianzas			0.93	Acepta	
6	No igual de varianzas			0.00		

Fuente: elaboración propia.

La prueba estadística t para variables independientes para comprobar la hipótesis: Existe correlación lineal entre el límite líquido, la temperatura y la resistencia eléctrica de suelo arcilloso caolinita, a través de la relación de la resistividad eléctrica del agua y la resistividad eléctrica del suelo.

Aquí en esta prueba se toma igualdad de medias, para la prueba t con un grado de significancia bilateral de 0.00 que es menor a 0.05, 5 % de error permitido en la prueba t, es decir el 95 % es el nivel de confianza (0.95 de correlación), por lo tanto, queda rechazada la hipótesis, no existe buena correlación entre las variables del tema de investigación. Los dos ensayos restantes también son rechazados ver tabla XXIX.

Tabla XXIX. Nivel de significancia prueba t

Prueba t variable independiente comprobación de hipótesis						
Igualdad de medias						
Grado de significancia al 95 % de confianza						
No	Nombre	Límite líquido	Límite plástico	Índice	Comportamiento	5 % error
1	Igual de medias	0.00			Rechazada	>0.05 aceptada
2	No igual de medias	0.00				<0.05 rechazada
3	Igual de medias		0.02		Rechazada	
4	No igual de medias		0.03			
5	Igualdad de medias			0.04	Rechazada	
6	No igual de medias			0.04		

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. La correlación lineal entre los límites líquidos de ambos ensayos es de -0.12 según correlación lineal Pearson, lo cual demuestra que el resultado está entre el rango permitido de coeficiente de correlación de -1 y 1. La correlación es muy pequeña y está muy lejos de 1, sabiendo que 1 es la imagen perfecta de los resultados de ASTM 4318. En la prueba t estadística no fue aceptada la correlación porque necesitábamos que nos diera un resultado de 0.95 de correlación para poder decir que los resultados de ambos ensayos son similares. El tiempo para la aplicación del ensayo por medios eléctricos es menor, con respecto al método normado STM D 1318.
2. Los resultados del límite líquido de las muestras de suelo arcilloso caolinita, mediante el método tradicional normado ASTM D 4318 versus la técnica alternativa para el cálculo del límite líquido por Resistencia Eléctrica y Temperatura por medios eléctricos ninguno resultado es semejante, porque la prueba t de dos variables independientes comprueba que hay correlación lineal no significativa, donde el error permitido del 5% como máximo, la prueba t de igualdad de medias da un resultado de 0.00 en grado de significancia. Por lo tanto no se acepta la hipótesis.
3. La correlación lineal entre los límites plásticos de las pruebas de laboratorio es de: 0.39 según coeficiente de correlación de Pearson, con pendiente positiva. Lo cual también demuestra que no existe buena

correlación. Porque se encuentra lejos de la unidad. Y en prueba t estadística se rechazó esa mínima correlación.

4. Mientras la correlación de la diferencia entre límite líquido y plástico de ambos ensayos es de -0.24 según correlación lineal de Pearson, con pendiente negativa. Lo cual muestra que hay muy poca correlación en el índice de plasticidad. En la prueba t estadística se rechazó la existencia de la posible correlación.
5. No es posible mediante la técnica alternativa descrita en esta investigación, calcular los límites líquido y plástico por medios eléctricos para los suelos arcillosos: caolinitas, ilitas, montmorillonitas y otros.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar la técnica alternativa por medio eléctrico para cálculo de los límites, solo como una idea inicial en etapas de estudio de prefactibilidad en un proyecto, ya que, si se requiere de mayor precisión, utilizar el método normado por la ASTM.
2. Extraer muestra de suelo aproximadamente 1500 gramos, la muestra debe estar limpia de agentes contaminantes, amasarla y observar que tenga forma gelatinosa después de la mezcla agua suelo. Y proceder a la medición correspondiente.
3. Se debe realizar a la muestra de suelo, como mínimo, 3 mediciones o más de resistencia eléctrica, con lo cual se debe promediar los resultados para mejorar la exactitud de los límites.
4. El promedio de la resistividad eléctrica del suelo en análisis se debe de ingresar al modelo matemático que representa en fenómeno en porcentaje.
5. Medir la resistividad eléctrica del agua a mezclarse con el suelo, en la fórmula aparece como constante, pero puede variar según otros elementos contaminantes del agua.

REFERENCIAS

1. Badillo J. y Rodrigues R. (2000). *Mecánica de Suelos tomo 1*. México: Editorial Limusa.
2. Borfitz, A. (2008). *Trabajo Practico de laboratorio límite líquido*. Argentina: Universidad Nacional del Nordest.
3. Cardenas, V. J. (2011). *Manual de Interpretación de perfil de Resistividad*. Risaralda, Colombia: Universidad Tecnologica de Pereira.
4. Cepeda, D. J. (1991). *Quimica de los Suelos*. México: Editorial Trillas.
5. Crespo, V. C. (2004). *Mecanica de Suelos y Cimentaciones*. Mexico: Editorial Limusa.
6. Cruz, V. L. (2014). *Mecanica de suelos*. Cauca, Colombia: Universidad del Cauca.
7. Cuñez, A. J. (2015). *Comportameinto de la resistencia eléctrica de los suelos ante variación de humedad y grado de compactación. Ecuador* (Tesis de licenciatura). Universidad de Cuenca, Ecuador.
Recuperado de

<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23016/1/Tesis.pdf>

8. Dharmawidjaja, J. (2008). *Medida de Resistividad de Terreno*. Chile: Universidad de Chile. Recuperado de http://eschoform.educarex.es/useruploads/r/c/886/scorm_imported/35345345219314826611/media/nuevos_archivos/Medidas_de_resistividad.pdf
9. Dias, R. J. (2005). *Dinámica de Suelos*. México: Editorial Limusa.
10. Fassbender, B. H. (1987). *Química de Suelos con énfasis en Latinoamérica*. Sann Jose, Costa Rica: Instituto Interamericano de cooperación agrícola.
11. Garcia, G. S. (2013). *Aplicabilidad del método del cono para medir los límites líquidos y plástico del suelo Guatemalteco* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3529_C.pdf
12. Gisbert, J. I. (2001). *Génesis de los Suelos*. España: Universidad politecnica de Valencia.

13. González, L. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid, España: Pearson Educación. Recuperado de https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5540850/mod_resource/content/1/Livro%202.pdf
14. INGECO (2019). *Límites de consistencia*. Guatemala: Autor.
15. Juarez, R. (1979). *Mecánica de Suelo*. México: Editorial Limusa.
16. Lambe, W. (1972). *Mecánica de Suelo*. México: Editorial Limusa.
17. Leguey, S. (2000). Modelo de la reacción alcalina hidrotermal de una bentonita. *Revista de xeoloxía galega e do hercínico peninsular*, 25, 63-66.
18. Llique, M. R. (noviembre, 2014). Influencia de la humedad de compactacion en el comportamiento volumetrico de los suelos arcillosos. *Ciencia y Tecnología*, (14), 9-21.
19. Lui, F. M. (2000). *Ingeniería Geológica*. Madrid, España: Pearson Educación.
20. Lutgens, T. Y. (2004). *Ciencia de la Tierra, introduccion a la Geología física*. Madrid, España: Pearson Educación.

21. Martines, A. C. (agosto, 2016). Correlación entre límite líquido y coeficiente de compresibilidad para arcilla de llanura costera. *Ingenio Magno*, 7(1), 84-100. Recuperado e <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/1168>
22. McCutcheon, M. H. (enero, 2006). Efecto del agua del suelo sobre la conductividad eléctrica del suelo y relación de textura en suelo seco. *Biosistemas en ingeniería*, 94. 19-32.
23. Montalar, E. (2009). *Basics of foundation design*. Canada: Fellenius.
24. Ramirez, M. L. (2004). *Fundamentos e Ingeniería de Taludes, Mecánica de Rocas*. Madrid, España: Red DESIR.
25. Sierra, M. J. (2011). *La relacion agua suelo en la agricultura*. México: Universidad Autónoma de Chihuahua.
26. Terzagui, K. (1967). *Mecánica de suelos en ingeniería práctica*. España: El Ateneo.
27. Universidad Nacional de Toribio (2020). Edafología. Perú: Autor.
28. Valencia, P. (2008). *Caolinitas*. España: Editorial Limusa.

APÉNDICES

- Pruebas de laboratorio según normas ASTM 4318

Apendice 1. Validación medio eléctrico L.L, muestra 1

MAESTRIA EN INGENIERÍA GEOTECNIA											
MUESTRA DE SUELO No. 1											
RESULTADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO											
LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO						
Resistencia		Unidad		Temperatura °C	Resistencia			Unidad		Temperatura °C	
Ri	Unidad	Rf	Unidad		Ri	Unidad	Rf	Unidad			
1	2220.00	KΩ	38.60	KΩ	27	95.30	KΩ	580.00	KΩ	31	
2	470.00	KΩ	1000.00	KΩ		821.00	KΩ	466.00	KΩ		
3	1030.00	KΩ	403.00	KΩ		632.00	KΩ	584.00	KΩ		
Total Rp =			480.53	KΩ	Total Rp =			543.33	KΩ		
Resistencia promedio en %				4.81	KΩ	Resistencia promedio en %				5.43	KΩ
LIMITE LIQUIDO =				33.65	LIMITE PLASTICO =				31.67		

Fuente: elaboración propia.

Apendice 2. **Validación medio eléctrico L.L, muestra 2**

MAESTRIA EN INGENIERÍA GEOTECNIA									
MUESTRA DE SUELO No. 2									
RESULTADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO									
LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO				
Resistencia				Temperatura °C	Resistencia				Temperatura °C
Ri	Unidad	Rf	Unidad		Ri	Unidad	Rf	Unidad	
19710.0		2290.0		28	631.00		476.00		31
11250.0	KΩ	2450.0	KΩ		685.00	KΩ	508.00	KΩ	
19250.0	KΩ	3300.0	KΩ		711.00	KΩ	529.00	KΩ	
Total Rp =			2680.0	KΩ	Total Rp =			504.33	KΩ
Resistencia promedio en %			26.80	KΩ	Resistencia promedio en %			5.04	KΩ
LIMITE LIQUIDO =			14.19		LIMITE PLASTICO =			38.24	

Fuente: elaboración propia.

Apendice 3. Validación medio eléctrico L.L, muestra 3

MAESTRIA EN INGENIERÍA GEOTECNIA										
MUESTRA DE SUELO No. 3										
RESULTADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO										
LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO					
		Resistencia			Temperatura °C	Resistencia			Temperatura °C	
Ri	Unidad	Rf	Unidad	Ri		Unidad	Rf	Unidad		
		4690.0								
1	1220.00	KΩ	0	KΩ		730.00	KΩ	416.00	KΩ	
	11950.0		6820.0		29					22
2	0	KΩ	0	KΩ		1470.00	KΩ	466.00	KΩ	
			1650.0							
3	1570.00	KΩ	0	KΩ		1230.00	KΩ	463.00	KΩ	
Total Rp =		4386.6				Total Rp =		448.33		
		7			KΩ			KΩ		
Resistencia promedio en %		43.87			KΩ	Resistencia promedio en %		4.48		KΩ
LIMITE LIQUIDO =		11.05				LIMITE PLASTICO =		41.07		

Fuente: elaboración propia.

Apendice 4. **Validación medio eléctrico L.L, muestra 4**

MAESTRIA EN INGENIERÍA GEOTECNIA									
MUESTRA DE SUELO No. 4									
RESULTADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO									
LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO				
Resistencia				Temperatura °C	Resistencia				Temperatura °C
Ri	Unidad	Rf	Unidad		Ri	Unidad	Rf	Unidad	
1380.0				28	16700.0		192.0		31
0	KΩ	486.00	KΩ		0	KΩ	0	KΩ	
1580.0					9380.00	KΩ	0	KΩ	
2	0	KΩ	460.00	KΩ	11240.0		193.0		
1610.0					0	KΩ	0	KΩ	
3	0	KΩ	465.00	KΩ					
Total Rp =			470.33	KΩ	Total Rp =			193.00	KΩ
Resistencia promedio en %			4.70	KΩ	Resistencia promedio en %			1.93	KΩ
LIMITE LIQUIDO =			33.17		LIMITE PLASTICO =			61.83	

Fuente: elaboración propia.

Apendice 5. Validación medio eléctrico L.L, muestra 5

MAESTRIA EN INGENIERÍA GEOTECNIA										
MUESTRA DE SUELO No. 5										
RESULTADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO										
LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO					
Resistencia					Temperatura °C	Resistencia				Temperatura °C
No	Ri	Unidad	Rf	Unidad		Ri	Unidad	Rf	Unidad	
1	1250.00	KΩ	330.00	KΩ	28	1000.00	KΩ	1600.00	KΩ	28
2	15600.00	KΩ	292.00	KΩ		12000.00	KΩ	4440.00	KΩ	
3	14200.00	KΩ	231.00	KΩ		11920.00	KΩ	4290.00	KΩ	
Total Rp =				284.33	KΩ	Total Rp =			3443.33	KΩ
Resistencia promedio en %				2.84	KΩ	Resistencia promedio en %			34.43	KΩ
LIMITE LIQUIDO =				43.19		LIMITE PLASTICO =			14.47	

Fuente: elaboración propia.

Apendice 6. **Validación medio eléctrico L.L, muestra 6**

MAESTRIA EN INGENIERÍA GEOTECNIA									
MUESTRA DE SUELO No. 6									
RESULTADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO									
LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO				
Resistencia				Temperatura °C	Resistencia				Temperatura °C
Ri	Unidad	Rf	Unidad		Ri	Unidad	Rf	Unidad	
13140.0		1950.0		28	13950.0		2300.0		28
0	KΩ	0	KΩ		0	KΩ	0	KΩ	
15000.0		2150.0			0	KΩ	2120.0		
18300.0		1880.0		28	14500.0		2320.0		28
0	KΩ	0	KΩ		0	KΩ	0	KΩ	
18300.0		1880.0			0	KΩ	2320.0		
Total Rp =			1993.3	KΩ	Total Rp =			2246.6	KΩ
Resistencia promedio en %			19.93	KΩ	Resistencia promedio en %			22.47	KΩ
LIMITE LIQUIDO =			16.08		LIMITE PLASTICO =			17.72	

Fuente: elaboración propia.

Apendice 7. **Validación medio eléctrico L.L, muestra 7**

MAESTRIA EN INGENIERÍA GEOTECNIA									
MUESTRA DE SUELO No. 7									
RESULTADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO									
LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO				
Resistencia		Temperatura °C	Resistencia		Temperatura °C				
Ri	Unidad		Rf	Unidad					
15190.0		27	2310.0		14700.0		700.0		26
0	kΩ		0	KΩ	0	KΩ	0	KΩ	
18400.0			2210.0		11700.0		710.0		
0	kΩ	0	KΩ	0	KΩ	0	KΩ		
12310.0		26	2500.0		18700.0		735.0		26
0	kΩ		0	KΩ	0	KΩ	0	KΩ	
Total Rp =			2340.0		Total Rp =			715.00	
Resistencia promedio en %			23.40	KΩ	Resistencia promedio en %			7.15	KΩ
LIMITE LIQUIDO =			14.85		LIMITE PLASTICO =			31.56	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. **Validación medio eléctrico L.L, muestra 8**

MAESTRIA EN INGENIERÍA GEOTECNIA									
MUESTRA DE SUELO No. 8									
RESULTADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO									
LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO				
Resistencia		Unidad		Temperatura °C	Resistencia		Unidad		Temperatura °C
Ri	Rf				Ri	Rf			
1	18220.00	2870.00	kΩ	KΩ	31	1230.00	890.00	KΩ	26
2	16200.00	2650.00	kΩ	KΩ		1300.00	790.00	KΩ	
3	18800.00	2300.00	kΩ	KΩ		1230.00	826.00	KΩ	
Total Rp =				2606.67	KΩ	Total Rp =		835.33	KΩ
Resistencia promedio en %				26.07	KΩ	Resistencia promedio en %		8.35	KΩ
LIMITE LIQUIDO =				13.99		LIMITE PLASTICO =		29.20	

Fuente: elaboración propia.

Apendice 9. Validación medio eléctrico L.L, muestra 9

MAESTRIA EN INGENIERÍA GEOTECNIA									
MUESTRA DE SUELO No. 9									
RESULTADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO									
LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO				
Resistencia		Temperatura °C	Resistencia		Temperatura °C				
Ri	Unidad		Rf	Unidad					
10800.0		29	4280.0		1200.0		28		
0	KΩ		0	KΩ	1450.00	KΩ		0	KΩ
16900.0			4580.0		10500.0			2920.0	
0	KΩ	0	KΩ	0	KΩ	0	KΩ		
12760.0		29	4930.0		10690.0		28		
0	KΩ		0	KΩ	0	KΩ		0	KΩ
Total Rp =			4596.6		Total Rp =			2373.3	
			7	KΩ				3	KΩ
Resistencia promedio en %			45.97	KΩ	Resistencia promedio en %			23.73	KΩ
LIMITE LIQUIDO =			10.54		LIMITE PLASTICO =			17.24	

Fuente: elaboración propia.

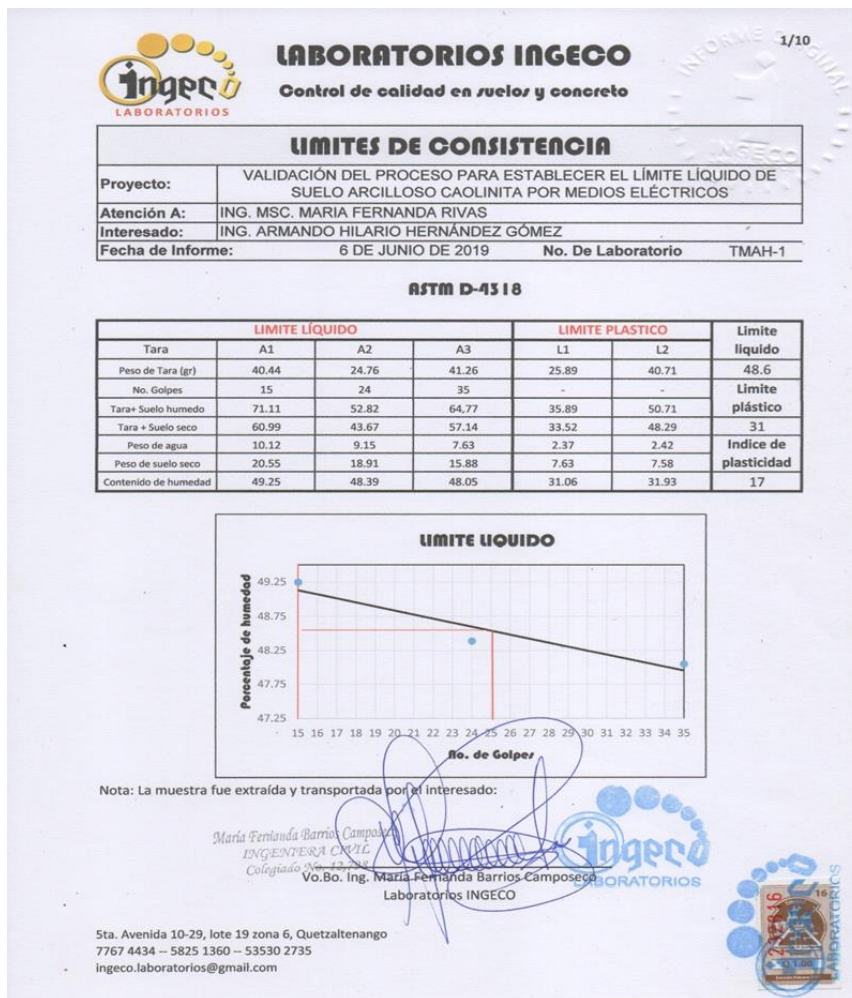
Apendice 10. **Validación medio eléctrico L.L, muestra 10**

MAESTRIA EN INGENIERÍA GEOTECNIA										
MUESTRA DE SUELO No. 10										
RESULTADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO										
LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO					
Resistencia		Temperatura °C	Resistencia		Temperatura °C					
Ri	Unidad		Rf	Unidad						
15720.0		27	1110.0		1170.0		26			
0	KΩ		0	KΩ	1260.00	KΩ		0	KΩ	
12050.0			2980.0		15120.0			2830.0		
0	KΩ	0	KΩ	0	KΩ	0	KΩ			
12790.0		26	5080.0		13120.0		1020.0			
0	KΩ		0	KΩ	0	KΩ	0	KΩ		
Total Rp =			3056.6		Total Rp =			1673.3		
			7	KΩ				3	KΩ	
Resistencia promedio en %				30.57	KΩ	Resistencia promedio en %				
						16.73				
						KΩ				
LIMITE LIQUIDO =				12.98		LIMITE PLASTICO =				20.61

Fuente: elaboración propia.

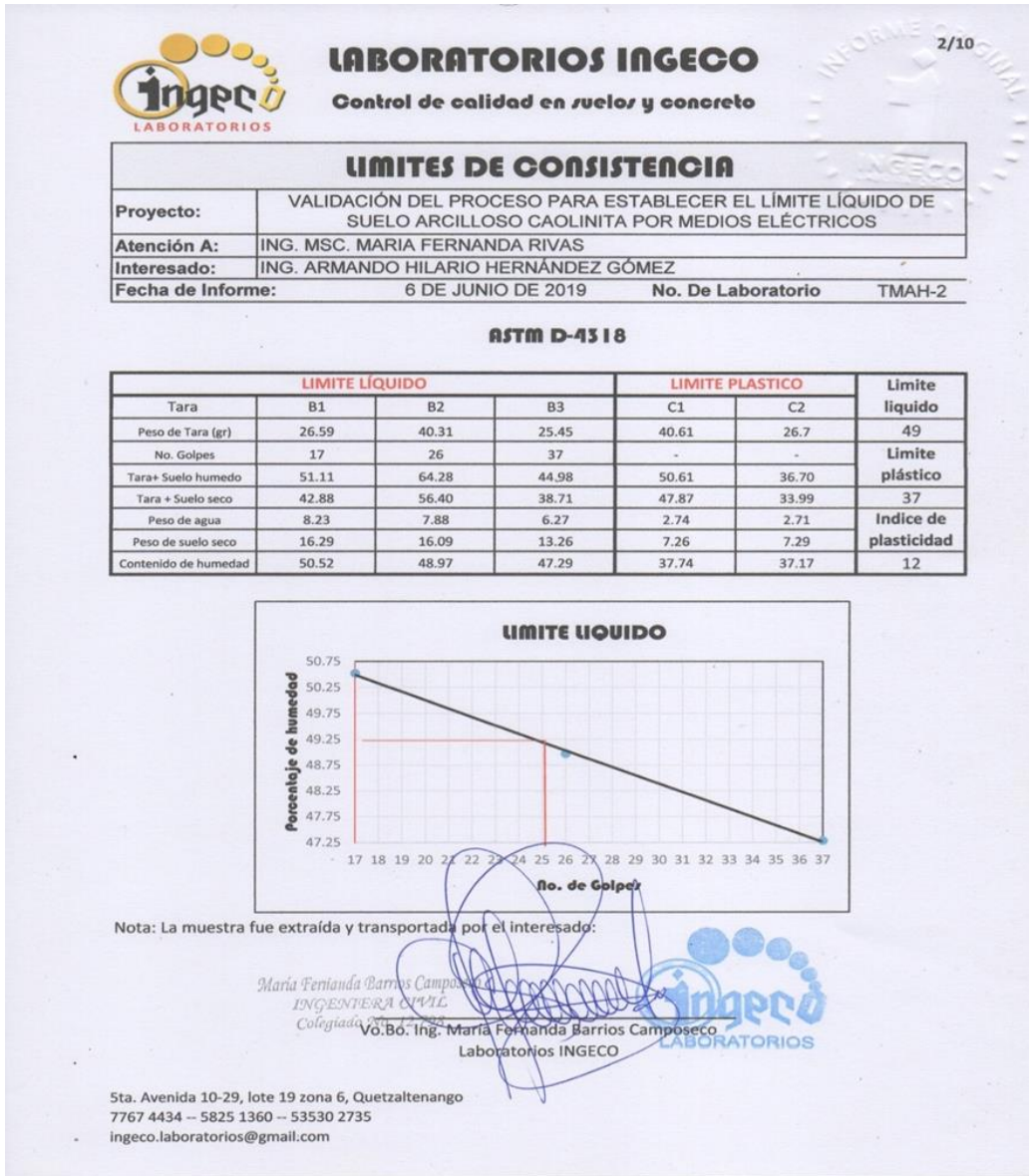
ANEXOS

Anexo 1. Norma ASTM D 4318, muestra 1



Fuente: INGECO (2019). *Límites de consistencia.*

Anexo 2. Norma ASTM D 4318, muestra 2



Fuente: INGECO (2019). Límites de consistencia.

Anexo 3. Norma ASTM D 4318, muestra 3



LABORATORIOS INGECO
Control de calidad en suelos y concreto

3/10

LIMITES DE CONSISTENCIA

Proyecto:	VALIDACIÓN DEL PROCESO PARA ESTABLECER EL LÍMITE LÍQUIDO DE SUELO ARCILLOSO CAOLINITA POR MEDIOS ELÉCTRICOS		
Atención A:	ING. MSC. MARIA FERNANDA RIVAS		
Interesado:	ING. ARMANDO HILARIO HERNÁNDEZ GÓMEZ		
Fecha de Informe:	7 DE JUNIO DE 2019	No. De Laboratorio	TMAH-3

ASTM D-4318

	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		Límite líquido
	B1	B2	B3	C1	C2	
Tara	B1	B2	B3	C1	C2	83
Peso de Tara (gr)	40.71	24.76	40.45	40.01	40.61	
No. Golpes	17	26	37	-	-	Límite plástico
Tara+ Suelo húmedo	70.38	54.94	68.29	50.01	50.61	
Tara + Suelo seco	56.77	41.28	56.04	46.21	46.76	62
Peso de agua	13.61	13.66	12.25	3.80	3.85	Índice de plasticidad
Peso de suelo seco	16.06	16.52	15.59	6.20	6.15	
Contenido de humedad	84.74	82.69	78.58	61.29	62.60	21



LÍMITE LÍQUIDO

Nota: La muestra fue extraída y transportada por el interesado:

María Fernanda Barrios Camposeco
INGENIERA CIVIL
Colig. Vo.Bo. Ing. María Fernanda Barrios Camposeco
Laboratorios INGECO

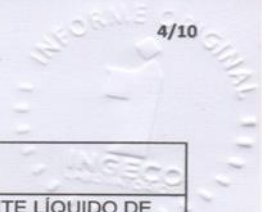
Sta. Avenida 10-29, lote 19 zona 6, Quetzaltenango
7767 4434 -- 5825 1360 -- 53530 2735
ingeco.laboratorios@gmail.com

Fuente: INGECO (2019). *Límites de consistencia.*

Anexo 4. Norma ASTM D 4318, muestra 4



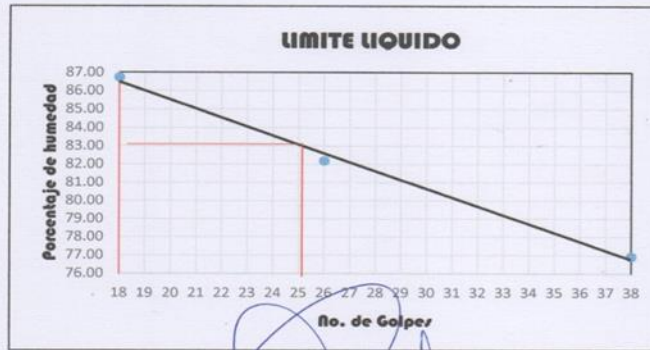
LABORATORIOS INGECO
Control de calidad en suelos y concreto



LÍMITES DE CONSISTENCIA			
Proyecto:	VALIDACIÓN DEL PROCESO PARA ESTABLECER EL LÍMITE LÍQUIDO DE SUELO ARCILLOSO CAOLINITA POR MEDIOS ELÉCTRICOS		
Atención A:	ING. MSC. MARIA FERNANDA RIVAS		
Interesado:	ING. ARMANDO HILARIO HERNÁNDEZ GÓMEZ		
Fecha de Informe:	7 JUNIO DE 2019	No. De Laboratorio	TMAH-4

ASTM D-4318

	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		Limite líquido
	K-1	K-2	K-3	S-1	S-2	
Tara						
Peso de Tara (gr)	26.52	40.31	26.59	40.97	40.57	83
No. Golpes	18	26	38	-	-	
Tara+ Suelo humedo	45.94	59.44	45.68	50.97	50.57	Límite plástico
Tara + Suelo seco	36.92	50.81	37.38	47.48	47.08	54
Peso de agua	9.02	8.63	8.30	3.49	3.49	Índice de plasticidad
Peso de suelo seco	10.40	10.50	10.79	6.51	6.51	
Contenido de humedad	86.73	82.19	76.92	53.61	53.61	29



Nota: La muestra fue extraída y transportada por el interesado:

Maria Fernanda Barrios Camposeco
INGENIERA CIVIL
Colegiado No. 12,928

Vo.Bo. Ing. María Fernanda Barrios Camposeco
Laboratorios INGECO

Sta. Avenida 10-29, lote 19 zona 6, Quetzaltenango
7767 4434 -- 5825 1360 -- 53530 2735
ingeco.laboratorios@gmail.com

Fuente: INGECO (2019). Límites de consistencia.

Anexo 5. Norma ASTM D 4318, muestra 5

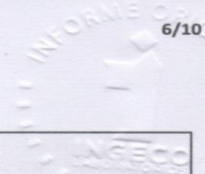


Fuente: INGECO (2019). Límites de consistencia.

Anexo 6. Norma ASTM D 4318, muestra 6



LABORATORIOS INGECO
Control de calidad en suelos y concreto

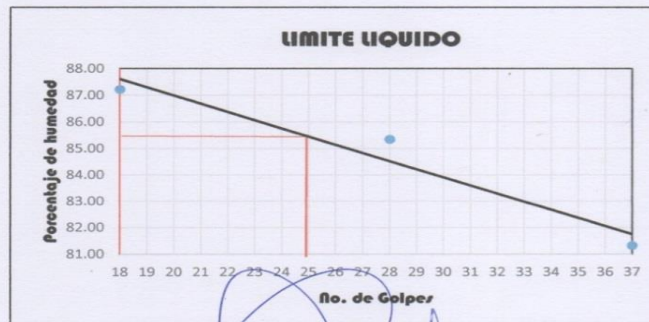


6/10

LIMITES DE CONSISTENCIA			
Proyecto:	VALIDACIÓN DEL PROCESO PARA ESTABLECER EL LÍMITE LÍQUIDO DE SUELO ARCILLOSO CAOLINITA POR MEDIOS ELÉCTRICOS		
Atención A:	ING. MSC. MARIA FERNANDA RIVAS		
Interesado:	ING. ARMANDO HILARIO HERNÁNDEZ GÓMEZ		
Fecha de Informe:	10 DE JUNIO DE 2019	No. De Laboratorio	TMAH-6

ASTM D-4318

	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
Tara	S1	S2	S3	S4	S5	Limite líquido
Peso de Tara (gr)	41.16	40.97	40.57	26.7	25.45	85
No. Golpes	18	28	37	-	-	Limite plástico
Tara+ Suelo húmedo	62.69	61.58	61.24	36.7	35.45	46
Tara + Suelo seco	52.66	52.09	51.97	33.63	32.19	Indice de plasticidad
Peso de agua	10.03	9.49	9.27	3.07	3.26	39
Peso de suelo seco	11.50	11.12	11.40	6.93	6.74	
Contenido de humedad	87.22	85.34	81.32	44.30	48.37	



Nota: La muestra fue extraída y transportada por el interesado:

Maria Fernanda Barrios Campos
INGENIERA CIVIL
Colegiado No. 12,798
Vo.Bo. Ing. Maria Fernanda Barrios Campos
Laboratorios INGECO

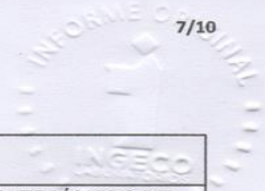
Sta. Avenida 10-29, lote 19 zona 6, Quetzaltenango
7767 4434 -- 5825 1360 -- 53530 2735
ingeco.laboratorios@gmail.com

Fuente: INGECO (2019). Límites de consistencia.

Anexo 7. Norma ASTM D 4318, muestra 7



LABORATORIOS INGECO
Control de calidad en suelos y concreto



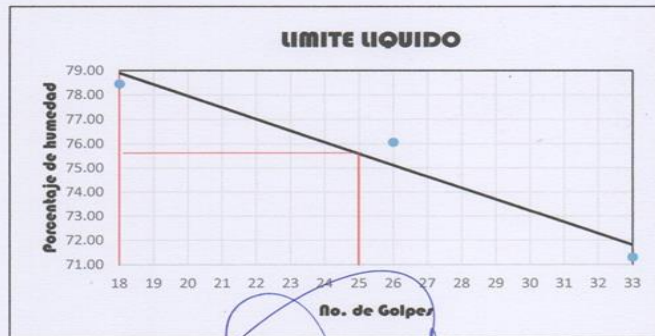
7/10

LIMITES DE CONSISTENCIA

Proyecto:	VALIDACIÓN DEL PROCESO PARA ESTABLECER EL LÍMITE LÍQUIDO DE SUELO ARCILLOSO CAOLINITA POR MEDIOS ELÉCTRICOS		
Atención A:	ING. MSC. MARIA FERNANDA RIVAS		
Interesado:	ING. ARMANDO HILARIO HERNÁNDEZ GÓMEZ		
Fecha de Informe:	13 DE JUNIO DE 2019	No. De Laboratorio	TMAH-7

ASTM D-4318

Tara	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		Limite líquido
	F-1	F-2	F-3	Z-1	Z-2	
Peso de Tara (gr)	29.67	23.18	23.32	23.13	29.62	76
No. Golpes	18	26	33	-	-	Limite plástico
Tara+ Suelo humedo	53.94	46.35	42.78	33.13	39.62	50
Tara + Suelo seco	43.27	36.34	34.68	29.82	36.26	Indice de plasticidad
Peso de agua	10.67	10.01	8.10	3.31	3.36	
Peso de suelo seco	13.60	13.16	11.36	6.69	6.64	26
Contenido de humedad	78.46	76.06	71.30	49.48	50.60	



Nota: La muestra fue extraída y transportada por el interesado:

Maria Fernanda Barrios Camposeco
INGENIERA CIVIL
Colegiada No. 12345

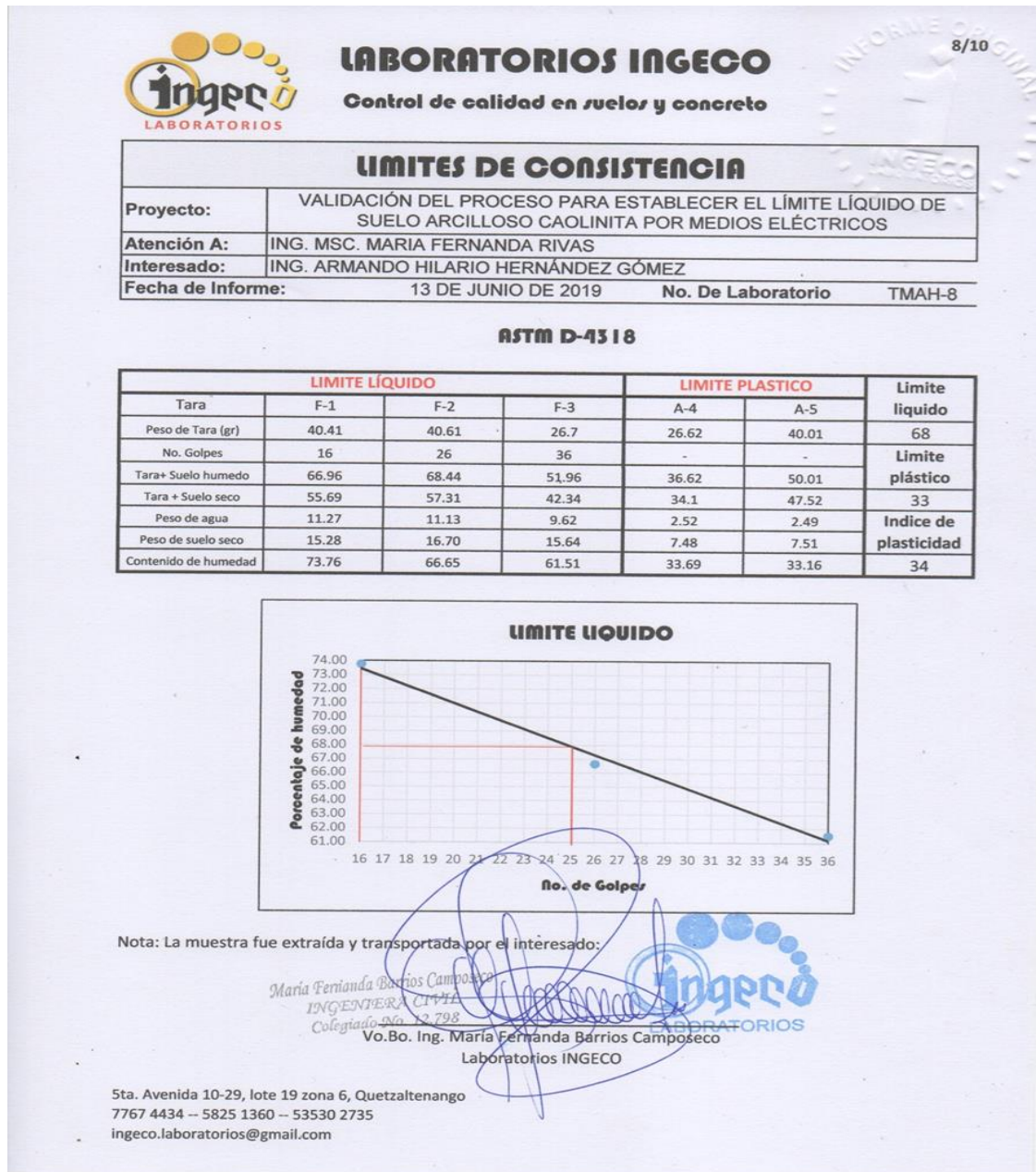
Vo.Bo. Ing. Maria Fernanda Barrios Camposeco
Laboratorios INGECO



5ta. Avenida 10-29, lote 19 zona 6, Quetzaltenango
7767 4434 -- 5825 1360 -- 53530 2735
ingeco.laboratorios@gmail.com


Fuente: INGECO (2019). Límites de consistencia.

Anexo 8. Norma ASTM D 4318, muestra 8



Fuente: INGECO (2019). Límites de consistencia.

Anexo 10. Norma ASTM D 4318, muestra 10



LABORATORIOS INGECO
Control de calidad en suelos y concreto

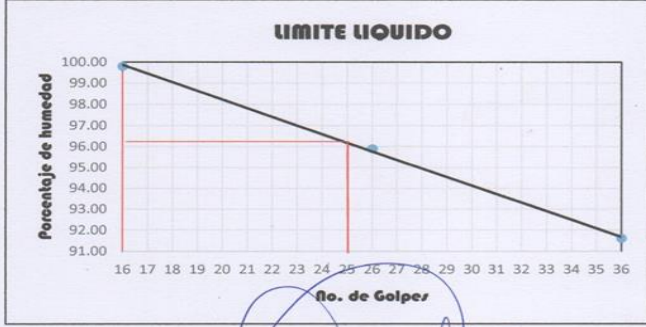
10/10

LIMITES DE CONSISTENCIA

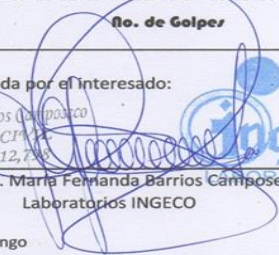
Proyecto:	VALIDACIÓN DEL PROCESO PARA ESTABLECER EL LÍMITE LÍQUIDO DE SUELO ARCILLOSO CAOLINITA POR MEDIOS ELÉCTRICOS				
Atención A:	ING. MSC. MARIA FERNANDA RIVAS				
Interesado:	ING. ARMANDO HILARIO HERNÁNDEZ GÓMEZ				
Fecha de Informe:	14 DE JUNIO DE 2019	No. De Laboratorio	TMAH-10		

ASTM D-4318

	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		Límite líquido
	R-1	R-2	R-3	R-4	R-5	
Tara						96
Peso de Tara (gr)	23.29	28.81	23.34	41.16	40.66	
No. Golpes	16	26	36	-	-	Límite plástico
Tara+ Suelo húmedo	43.33	47.93	39.11	51.16	50.66	50.66
Tara + Suelo seco	33.32	38.57	31.57	48.25	47.78	41
Peso de agua	10.01	9.36	7.54	2.91	2.88	Índice de plasticidad
Peso de suelo seco	10.03	9.76	8.23	7.09	7.12	7.12
Contenido de humedad	99.80	95.90	91.62	41.04	40.45	55



Nota: La muestra fue extraída y transportada por el interesado:



Maria Fernanda Barríos Camposco
INGENIERA CIVIL
Colegiado No. 12,788
Vo.Bo. Ing. María Fernanda Barríos Camposco
Laboratorios INGECO

5ta. Avenida 10-29, lote 19 zona 6, Quetzaltenango
7767 4434 – 5825 1360 – 53530 2735
ingeco.laboratorios@gmail.com



Fuente: INGECO (2019). Límites de consistencia.