

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de grado se refiere al desarrollo del ensayo de límite de contracción usando sustancias distintas al mercurio, sustancia utilizada en el método tradicional.

El límite de contracción se refiere al punto en el cual un suelo, al perder humedad, deja de disminuir en volumen. Este parámetro es fundamental para comprender y predecir el comportamiento del suelo bajo condiciones de variación de humedad, lo que tiene implicaciones directas en la estabilidad de estructuras y la gestión de terrenos.

Tradicionalmente, la determinación del límite de contracción se ha realizado utilizando mercurio debido a su alta densidad y baja compresibilidad, lo que permite mediciones precisas del volumen de la muestra de suelo seco. Sin embargo, el mercurio es altamente tóxico y su uso presenta riesgos significativos para la salud humana y el medio ambiente. Estas preocupaciones han motivado la búsqueda de métodos alternativos que sean igualmente precisos, pero más seguros y ambientalmente sostenibles.

Por lo anterior, con el fin de buscar otras sustancias alternativas que puedan ser empleadas en el desarrollo del ensayo de límite de contracción, se realizó la extracción de un material limo arcilloso ubicado en un sector del barrio san Blas. Además, se escogieron como fluidos alternos parafina, glicerina y aceite, con ellos se procedió a la ejecución de varios ensayos de límite de contracción, para calcular los factores de contracción que se determinan en este ensayo (límite de contracción, relación de contracción y gravedad específica de sólidos). Una vez seleccionado el material se procedió a clasificar el suelo según el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), para ello se realizaron dos ensayos de granulometría por tamizado con lavado por malla N°200, dos ensayos de límite líquido y dos ensayos de límite plástico e índice de plasticidad. Después de conocer el tipo de suelo, se procedió a realizar los ensayos de límite de contracción, de los cuales ensayos 15 se hicieron con mercurio, 15 ensayos con parafina, 15 ensayos con glicerina y 15 ensayos con aceite. Con base en los resultados de los 60 ensayos realizados, se calculó la relación entre el límite de contracción obtenido con el uso del mercurio y cada sustancia alterna, cumpliendo así con el objetivo de esta investigación.

## **1.1 Antecedentes**

El límite de contracción en los últimos años ha tomado relevancia en su uso, se considera como el valor que nos predice si un suelo sufre de cambios bruscos de volumen (colapso) y tomar las previsiones correspondientes en las obras civiles.

Los métodos alternativos para la obtención del límite de contracción son varios, desde el método tradicional que es uso del material como ser el mercurio (metal líquido).

Los métodos alternativos que se realizaron en este proyecto son el método de la parafina, glicerina, aceite sucio. considerando el suelo de limo arcilloso.

Se han manejado los valores o ensayos directos, sin embargo, el alto costo del metal líquido de mercurio hace que la mayoría de las veces se asuman algunos valores de métodos alternativos (pruebas índices).

El presente trabajo propone hacer una comparación de resultados del Límite de Contracción de un mismo suelo, realizado con el método tradicional y con los métodos alternativos, de tal manera identificar las potenciales discrepancias entre estos y proponer factores de ajuste.

La base teórica de esta investigación responde a la parte de Mecánica de Suelos en el área de los Límites de Atterberg, la aplicación práctica se desarrolla en los laboratorios de suelos y su relevancia social define el proporcionar elementos previsores cuando en las obras civiles se usan suelos colapsables.

El límite de contracción es un concepto utilizado en física y geología para describir el punto en el que un material ya no puede soportar una carga adicional sin deformarse permanentemente. Es un concepto clave en la ingeniería estructural y en la comprensión del comportamiento del suelo bajo diferentes condiciones de carga.

La comparación de límites de construcción de un suelo de limo arcilloso es esencial para evaluar su idoneidad para proyectos de ingeniería. Los límites de construcción incluyen el límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad. Estos parámetros ayudan a determinar la plasticidad y la compresibilidad del suelo, lo que influye en su

comportamiento durante la construcción y su capacidad de soportar cargas. Comparar estos límites entre diferentes suelos de limo arcilloso permite a los ingenieros seleccionar el material más adecuado y diseñar estructuras seguras y duraderas.

El límite de contracción representa la humedad mínima a la cual el suelo puede contraerse cuando se seca. Es crucial para comprender el comportamiento del suelo y su estabilidad en diferentes condiciones.

La búsqueda de métodos alternativos al uso de mercurio para la obtención del límite de contracción en suelos limo arcillosos es esencial para mejorar la seguridad y sostenibilidad en la ingeniería geotécnica. Los métodos con parafina, glicerina y aceite sucio ofrecen potenciales beneficios, pero es necesario un análisis comparativo detallado para determinar su viabilidad y precisión en aplicaciones prácticas. Este estudio contribuirá a identificar las mejores prácticas y alternativas, promoviendo métodos más seguros y eficientes en la caracterización de suelos.

## **1.2 Justificación**

El límite de contracción en los últimos años ha sido ya de más utilización porque mide el colapso del suelo por lo tanto se crea la necesidad de desarrollarlo o realizar el ensayo, según los métodos alternativos, tales como el ensayo de suelos con el mercurio no se llevan a cabo por el motivo que es un elemento de difícil de encontrar para comprarlo, además es un elemento químico metálico, altamente toxico, su exposición o ingesta, puede causar diversas reacciones dañinas con síntomas variadas de una persona. En cambio,

La justificación para comparar métodos alternativos para la obtención del límite de contracción en suelos limo arcillosos radica en la necesidad de encontrar soluciones que sean precisas, seguras, económicas y ambientalmente sostenibles. Al evaluar la viabilidad de la parafina, la glicerina y el aceite sucio como sustitutos del mercurio, se busca mejorar las prácticas geotécnicas y minimizar los riesgos asociados. Este estudio contribuirá significativamente a la adopción de métodos más responsables y efectivos en la caracterización de suelos, beneficiando tanto a la industria como al medio ambiente.

Mediante el ensayo de límite de contracción se determina el contenido máximo de agua, por debajo del cual un secado adicional no causa disminución de volumen de la muestra de suelo, pero encima de cual un incremento en el contenido de agua que produce un aumento en el volumen de la masa de suelo.

Con los ensayos correspondientes se obtendrá el porcentaje de límite de contracción mediante el complemento de mercurio y parafina, y a base de los resultados obtenidos realizar un análisis comparativo, y poder establecer parámetros de aplicación y confianza. El resultado de esta investigación proporcionara una información útil en laboratorio cuando se necesite conocer el porcentaje de límite de contracción en suelos limo arcillosos.

### **1.3 Situación problémica**

Uno de los parámetros necesarios para la determinación del potencial de expansión de un suelo es el límite de contracción. Para la determinación del límite de contracción se requiere el uso del mercurio líquido, el cual además de ser elemento altamente toxico también es muy costoso.

El límite de contracción es un parámetro crítico en la ingeniería geotécnica, utilizado para predecir el comportamiento de los suelos limo arcillosos durante los ciclos de humedad y sequía. Tradicionalmente, el método con mercurio ha sido el estándar para medir este parámetro debido a su alta precisión. Dada la problemática es necesario encontrar métodos alternativos que puedan medir el límite de contracción de manera precisa sin los riesgos inherentes al uso del mercurio.

Este proyecto de grado se realizará dentro del campus de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Su duración dependerá del tiempo necesario para ejecutar las actividades de laboratorio requeridas para dar cumplimiento a los objetivos, para esto es indispensable la utilización del laboratorio de suelos. El material que se va a utilizar en el presente trabajo grado corresponde a un suelo limo arcilloso extraído del sector de san Blas. Inicialmente se clasificará al suelo según el sistema unificado de clasificación de suelos, luego se determinará el límite de contracción del material estudiado por medio de ensayos convencionales usando mercurio. Finalmente se realizarán ensayos de límite de

contracción utilizando sustancias diferentes al mercurio, de esta forma establecer similitudes y diferencias entre los resultados hallados.

### **1.3.1 Problema**

¿De qué forma los métodos alternativos para la obtención del límite de contracción en suelos limo arcillosos podrá dar una confiabilidad de los resultados?

## **1.4 Relevancia y factibilidad del problema**

Es necesario conocer los resultados entre los métodos alternativos según la obtención del ensayo de límite de contracción, porque a través de ello se determinará el mejor método de elaboración del ensayo.

### **1.4.1 Relevancia**

La relevancia de obtener métodos alternativos para el límite de contracción para suelos limos arcillosas es importante para predecir el comportamiento del suelo bajo diferentes condiciones de humedad.

### **1.4.2 Factibilidad del problema**

El tema de investigación es factible debido a que las instalaciones de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, cuenta con los laboratorios de suelos y así también con los equipos necesarios para poder realizar los ensayos propuestos.

La disponibilidad de materiales alternativos propuestos, como la parafina, glicerina y aceite sucio, son ampliamente disponibles y de fácil acceso en la mayoría de los mercados, lo cual facilita la implementación y replicabilidad de los estudios.

La simplicidad metodológica en el uso de estos materiales no requiere equipos sofisticados ni procedimientos extremadamente complejos, lo cual es favorable para su implementación en diversos contextos, incluyendo laboratorios educativos y de investigación en países en desarrollo.

## **1.5 Delimitación temporal y espacial del problema**

El proceso de investigación se lo realiza dentro del campus de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Su duración dependerá del tiempo necesario para ejecutar las actividades de laboratorio requeridas para dar cumplimiento a los objetivos, para esto es comenzara seleccionar el tipo de suelo.

El material que se va a utilizar en el presente trabajo de grado corresponde a un suelo limo arcilloso extraído de un sector aledaño al barrio San Blas. Inicialmente se clasificará al suelo según el sistema unificado de clasificación de suelos, luego se determinará el límite de contracción del material estudiado por medio de ensayos por el método del mercurio. Finalmente se realizarán ensayos de límite de contracción utilizando sustancias diferentes al mercurio, para de esta forma establecer similitudes y diferencias entre los resultados hallados.

## **1.6 Objetivos**

Los objetivos planteados para la siguiente investigación se dividen en dos partes, comenzando por el objetivo general, formulado de la siguiente manera:

### **1.6.1 Objetivo general**

Comparar los métodos alternativos para la obtención del Límite de Contracción en suelos arcillosos; considerando sustancias diferentes para el volumen seco; de tal manera, establecer ventajas y desventajas entre ellos.

### **1.6.2 Objetivos específicos**

- Estudiar los métodos alternativos usados en la obtención de Límite de contracción.
- Caracterizar los suelos arcillosos.
- Determinar el tipo de sustancias alternativas.
- Analizar los valores observados obtenidos de los procesos de laboratorio
- Realizar una valoración de ventajas y desventajas de los métodos usados.

## 1.7 Hipótesis

Los resultados de los métodos alternativos tienen discrepancias respecto del convencional normado.

Variable: métodos alternativos de límite de contracción

## 1.8 Operacionalización de las variables

La variable de la investigación está basada en los métodos alternativos que se presenta en la siguiente tabla 1.8.1.

*Tabla 1.8.1 Tabla de Operacionalización de las Variables*

<b>Métodos alternativos de Límite de Contracción</b>			
<b>Conceptualización</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Valor/ Acción</b>
Métodos alternativos de límite de contracción	Método de Mercurio	[%]	Ensayo de Límites normalizado
	Método de parafina	[%]	Ensayo de Límites experimental
	Método Glicerina	[%]	Ensayo de Límites experimental
	Método aceite sucio	[%]	Ensayo de Límites experimental

Fuente: Elaboración propia

## 1.9 Identificación del tipo de Alcance y de Investigación

El alcance de la investigación responde al tipo descriptivo, por tener una sola variable; identificada como Métodos alternativos de límite de contracción; el muestreo es transversal transeccional, debido a que se desarrolla en una sola etapa.

El usar muestras diferentes las categoriza como muestras independientes, ya que sus resultados son independientes, aunque se trate del mismo tipo de suelo.

**CAPÍTULO II**

**ESTADO DE CONOCIMIENTO  
TEÓRICO**

## **CAPÍTULO II**

### **MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA LA OBTENCIÓN DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN**

#### **2.1 Marco teórico**

Mecánica es la parte de la parte de la ciencia física que trata de la acción de las fuerzas sobre los cuerpos. De igual forma, la mecánica de suelos es la rama de la mecánica que trata de la acción de las fuerzas sobre la masa de los suelos. El Dr. Karl Terzaghi definió a la mecánica de suelos como la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas. Producto de la desintegración química de los suelos las acepciones “Geotecnia” e “Ingeniería Geotécnica”, suelen aplicarse como evidencia de que ellos están tomando en cuenta los principios de la aplicación tanto de la Mecánica de Suelos como la Geología y de la Mecánica de Rocas. (badillo, 2004)

El suelo es el material de construcción más abundante del mundo y en muchas zonas construye, de hecho, es el único material disponible localmente. Desde el periodo neolítico, la tierra se ha utilizado para la construcción de monumentos, tumbas, viviendas, vías de comunicación y estructuras para retención de agua. En este apartado se describen tres estructuras construidas con tierra. (Lambe, 2004)

El término “suelo” ha sido definido de diferentes maneras, ya sea que dicha definición provenga del geólogo, del agrónomo o del ingeniero civil.

El geólogo define al suelo como material resultante de la descomposición y desintegración de la roca por el ataque de agentes atmosféricos. (N. J. Chiossi)

El agrónomo según G. O. Tschebotarioff, define al suelo como la delgada parte superior del manto de rocas en que se penetran las raíces de las plantas y de donde éstas toman el agua y las demás sustancias necesarias para su existencia.

Algunos ingenieros civiles definen al suelo como el conjunto de partículas minerales, producto de la desintegración mecánica o de la descomposición química de rocas preexistentes. (A. Rico y H. del Castillo)

Otro autor, Alfred R. Jumikis, doctor en ingeniería, lo define como sedimentos no consolidados y depósitos de partículas sólidas derivadas de la desintegración de las rocas. (Badillo, 2004)

Dentro de la mecánica de suelos, se concibe lo siguiente para determinar donde se presenta la plasticidad.

- ✓ Plásticos (suelos finos, arcillas)
- ✓ No plásticos (suelos gruesos, gravas y arenas).

Un agente importante para que se produzca la plasticidad, es el contenido de humedad con que cuenta el suelo.

#### **a) Marco conceptual.**

Al momento de analizar un suelo se debe tener en cuenta su consistencia (facilidad con la cual se puede deformar un suelo), el color que este tenga, su dureza, el tamaño máximo de partículas que posee, la humedad existente, entre otras cosas. La identificación de un suelo parte de varios métodos, pueden ser sencillos como una inspección visual, táctil o ensayos manuales evaluados de manera cualitativa. (Whitlow, 1994)

A su vez, se pueden realizar ensayos de características más complejas los cuales proporcionan resultados más exactos para definir un tipo de suelo. Para obtener la clasificación exacta de un suelo es necesario conocer la distribución de los tamaños de sus partículas y su plasticidad; esto puede obtenerse mediante los ensayos de granulometría por tamizado con lavado por la malla No. 200 y límites de plasticidad, los cuales son límite líquido (contenido de humedad del suelo, cuando se halla el límite entre los estados líquido y plástico) y límite plástico (contenido de humedad del suelo, cuando se halla el límite entre los estados plástico y semisólido). En el laboratorio el límite líquido se define como la humedad para la cual la ranura del suelo sobre la copa de Casagrande se cierra a los veinticinco golpes y el límite plástico corresponde a la humedad para la cual los rollos de

material que pasa por la malla N°40, se agrietan o desmoronan al tener un diámetro aproximado de 3 mm.

El sistema unificado de suelos (SUCS) divide a los suelos en dos grandes categorías:

**Suelos gruesos:** Formados por las partículas mayores que la malla N°200 y menores que la malla 3''. Se dice que un suelo es grueso cuando menos de 50% de sus partículas pasa por la malla N°200. Los suelos gruesos a su vez se dividen en gravas (G) y arenas (S), siendo el tamiz N°4 el límite entre ellos.

**Suelos finos:** Son aquellos en los cuales más del 50% de una muestra representativa, pasa por el tamiz No. 200. Estos suelos finos se dividen a su vez en limos inorgánicos, arcillas inorgánicas y suelos orgánicos. (Badillo & Rico, 2005)

## **b) Marco normativo**

La clasificación del suelo se realizó por sistema unificado de suelos (SUCS), por medio del ensayo de granulometría con base en todos los lineamientos de la norma I.N.V.E – 123 (Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos con lavado del material sobre el tamiz N°200 y secado a una temperatura constante). También fueron realizados los ensayos de límite líquido y plástico con todos los lineamientos estipulados por las normas I.N.V.E–124 y I.N.V.E– 125; todos los ensayos se ejecutaron en los laboratorios de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

A partir del ensayo de límite de contracción es posible conocer la relación de contracción, esta relaciona un cambio dado de volumen y el cambio correspondiente en su contenido de agua por encima del límite de contracción, expresado como un porcentaje, además en esta prueba se puede determinar de manera aproximada el peso específico relativo de sólidos con las normas **(INVIAS, INV E-127-13; INV E–129–13 Determinación de los factores de contracción de los suelos, 2013)**

## **2.2 Suelos cohesivos y no cohesivos**

Cuando existe una atracción entre partículas y cuando interactúa el agua con el suelo, produciendo una masa que permanece unida y se deforma plásticamente para diferentes

contenidos de humedad, entonces se llaman **suelos cohesivos**. Cuando ocurre todo lo contrario a lo que se menciona en el anterior párrafo, estamos hablando de los **suelos no cohesivos**. No existe una línea divisoria entre los suelos cohesivos y no cohesivo.

De acuerdo con el origen de sus elementos (aspecto que ya se ha desglosado en la definición), los suelos se dividen en dos amplios grupos: suelos cuyo origen se debe a la descomposición física y/o química de las rocas, o sea los suelos orgánicos, y suelos cuyo origen es principalmente orgánico. (badillo, 2004)

### **2.2.1 Suelos cohesivos**

La composición de los suelos cohesivos está formada principalmente por partículas finas, como arcillas y limos.

En estos suelos, las partículas están unidas entre sí por fuerzas de cohesión que provienen de la atracción molecular. La cohesión es lo que hace que estos suelos puedan mantenerse juntos incluso cuando están secos. Los suelos cohesivos suelen ser plásticos, es decir, pueden deformarse significativamente sin romperse. Esto se evalúa mediante el límite líquido y el límite plástico, que forman parte de los límites de Atterberg. Tienen una alta capacidad de retención de agua debido a su estructura de partículas finas y porosas. Esto también significa que pueden experimentar hinchamiento y contracción con cambios en el contenido de agua. (badillo, 2004)

Figura 2.2.1 Suelo Cohesivo del Barrio San Blas



Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.2 Suelos no cohesivos

Los suelos no cohesivos están formados principalmente por partículas gruesas, como arenas y gravas. En estos suelos, las partículas no están unidas por fuerzas de cohesión significativas. Su resistencia proviene principalmente de la fricción entre las partículas individuales. Los suelos no cohesivos no son plásticos. No tienen límites de Atterberg porque no pueden deformarse significativamente sin desintegrarse. Tienen una baja capacidad de retención de agua debido a la mayor porosidad y el tamaño de las partículas. El agua drena fácilmente a través de estos suelos. (badillo, 2004)

Figura 2.2.2 Suelos No Cohesivos.



Fuente: extraído de libros

### 2.3 Granulometría en un suelo

El análisis granulométrico se refiere a la determinación de la cantidad en porcentaje de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo. Para el conocimiento de la composición granulométrica de un determinado suelo existen diferentes procedimientos. Para clasificar por tamaños las partículas gruesas el procedimiento más expedito es el del tamizado. Sin embargo, al aumentar la finura de los granos el tamizado se hace cada vez más difícil, teniendo entonces que recurrir a procedimientos por sedimentación. Conocida la composición granulométrica del material, se representa gráficamente para formar la llamada curva granulométrica del mismo. (badillo, 2004)

La granulometría de un suelo es una característica importante que influye en diversas propiedades del suelo, incluida la manera en que se comporta con respecto a los límites de contracción. El límite de contracción es una de las propiedades de los suelos plásticos que indica el contenido de agua por debajo del cual una muestra de suelo no se contrae más al secarse. La granulometría influye en la estructura del suelo, afectando su comportamiento volumétrico. Los suelos con una alta proporción de partículas finas (limos y arcillas) suelen mostrar mayor plasticidad y, por ende, tienen límites de contracción más pronunciados. (badillo, 2004)

#### **2.4 Métodos de análisis granulométrico**

La separación de un suelo en diferentes fracciones, según sus tamaños, resulta necesaria para conocer su competencia y eficiencia, desde la perspectiva geotécnica. Esta acción comprende dos tipos de ensayos: por tamizado para las partículas grueso-granulares (gravas y arenas) y el de sedimentación para la fracción fina del suelo (limos y arcillas); estos últimos, dado su comportamiento plástico, no son discriminables por tamizado.

El análisis granulométrico en suelos con límites de contracción implica estudiar la distribución del tamaño de las partículas en suelos que presentan propiedades plásticas significativas, como limos y arcillas. Este análisis es crucial para comprender cómo estas partículas afectan el comportamiento volumétrico del suelo, especialmente su capacidad de contracción y expansión al cambiar el contenido de humedad.

Figura 2.4.1 Análisis Granulométrico



Fuente: Elaboración propia.

### **2.5 Método del tamizado.**

Una vez se seca el suelo en el horno o al aire, se pulveriza, se hace pasar por una serie organizada de tamices, de agujeros con tamaños decrecientes y conocidos, de arriba hacia abajo. El primer tamiz, es el de mayor tamaño y es donde inicia el tamizado. Se tapa con el fin de evitar las pérdidas de finos; el último tamiz está abajo y descansa sobre un recipiente de forma igual a uno de los tamices, y recibe el material más fino no retenido por ningún tamiz.

Con sacudidas horizontales y golpes verticales, mecánicos o manuales, se hace pasar el suelo por la serie de tamices, de arriba abajo, para luego pesar por separado el suelo retenido en cada malla. (Gonzalo Duque Escobar & Carlos Enrique Escobar P., 2016)

### **2.6 Métodos de sedimentación.**

Se puede realizar por dos procedimientos: el método del hidrómetro y el método de la pipeta. Ambos se soportan en las características de la sedimentación de las partículas del suelo en un medio acuoso. Se aplican tales métodos al “suelo fino”, es decir, al que ha

quedado en el fondo de los tamices y que se denomina “pasa-200”, material constituido por limos y arcillas. (Gonzalo Duque Escobar & Carlos Enrique Escobar P., 2016)

## 2.7 Curva granulométrica

Los resultados de los ensayos de tamizado y sedimentación se llevan a un gráfico llamado curva granulométrica. La fracción gruesa tendrá denominaciones, según el sistema:

*Tabla 2.7.1 Denominación de suelos, según sistemas de Clasificación*

SISTEMAS	AASHTO (mm)
Grava	75 - 2
Arena	2 - 0,075
Limo	0,075 - 0,002
Arcilla	< 0,002

Fuente: Elaboración propia.

La curva se dibuja en papel semilogarítmico: con una escala aritmética en las ordenadas que permiten identificar los porcentajes, en peso, de partículas con diámetro menor que cada uno de los lados de las abscisas. La escala logarítmica en las abscisas presenta los tamaños de los granos en milímetros. Esta escala, en razón de que los diámetros varían de cm, mm y  $\mu$ . Esta clasificación es necesaria en geotecnia, pero no suficiente. Se complementa siempre la granulometría con el ensayo de Límites de Atterberg, que caracterizan la plasticidad y consistencia de los finos en función del contenido de humedad. (Gonzalo Duque Escobar & Carlos Enrique Escobar P., 2016)

### Tamices

La muestra de suelo se hace pasar a través de un juego de tamices de aberturas descendentes. Esa operación de laboratorio, se denomina cribado o tamizaje. El cribado por mallas se usa para obtener las fracciones correspondientes a los diferentes tamaños de partículas que constituyen el suelo; para conocer la fracción de suelo que es menor que cada apertura de tamiz, partiendo de los mayores tamaños, se van tamizando las fracciones

de suelo de tamaños cada vez menores, hasta el suelo más fino correspondiente a la malla No 200 (0.075 mm).

Figura 2.7.1 Tamices para Granulometría



Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 2.2. se muestra el rango de tamices, con el Tamaño de las Mallas para la Elaboración de la Curva Granulométrica, según el ASTM:

Tabla 2.7.2 Serie de tamices o mallas.

Tamices	Tamaño (mm)
3"	76,2
2"	50,8
1 1/2"	38,1
1"	25,4
3/4"	19,05
1/2"	12,5
3/8"	9,5
N°4	4,8
N°10	2
N°40	0,43
N°200	0,075

Fuente: Elaboración propia.

## 2.8 Suelos plásticos

La plasticidad es atribuible al contenido de partículas escamosas de tamaño coloidal presentes en los suelos. Las partículas escamosas además son responsables de la alta compresibilidad y la baja permeabilidad de los suelos. En relación con la plasticidad de los suelos, durante un proceso de deformación, el volumen de una arcilla permanece constante. Por el contrario, el volumen de una arena cambia continuamente durante el mismo. Si se intenta deformar una masa de arena húmeda rápidamente, esta se desagrega (la arena es friable). En virtud de esto, puede definirse la plasticidad como la propiedad de un material que permite resistir deformaciones rápidas, sin cambiar de volumen y sin agrietarse ni desagregarse.

Los suelos plásticos en el contexto de la ingeniería geotécnica se refieren a suelos que tienen una alta plasticidad, lo que significa que pueden deformarse considerablemente sin fracturarse. Estos suelos son comúnmente arcillosos y se caracterizan por ciertos parámetros específicos, como los límites de Atterberg: límite líquido, límite plástico y límite de contracción. (Villalaz, 2004)

La relación de los suelos plásticos con el límite de contracción es el contenido de agua por debajo del cual una muestra de suelo no experimenta una reducción adicional en su volumen cuando se seca. Este parámetro es crucial para entender el comportamiento volumétrico de los suelos arcillosos y plásticos.

La plasticidad es la propiedad que expresa la magnitud de las fuerzas de las películas de agua dentro del suelo ya que éstas permiten que el suelo sea moldeado sin romperse hasta un determinado punto. Es el efecto resultante de una presión y una deformación.

De hecho, se puede decir que hay dos tipos clásicos de tales laminas: uno de ellos del tipo silícico y el otro del tipo aluminio. Partiendo de los numerosos minerales (principalmente silicatos) que se encuentran en las rocas ígneas y metamórficas, los agentes de descomposición química llegan a un producto final: Las arcillas están constituidas básicamente por silicatos de aluminio hidratados, presentando, además, en algunas ocasiones, silicatos de magnesio, hierro u otros minerales, también hidratados.

## 2.9 Plasticidad

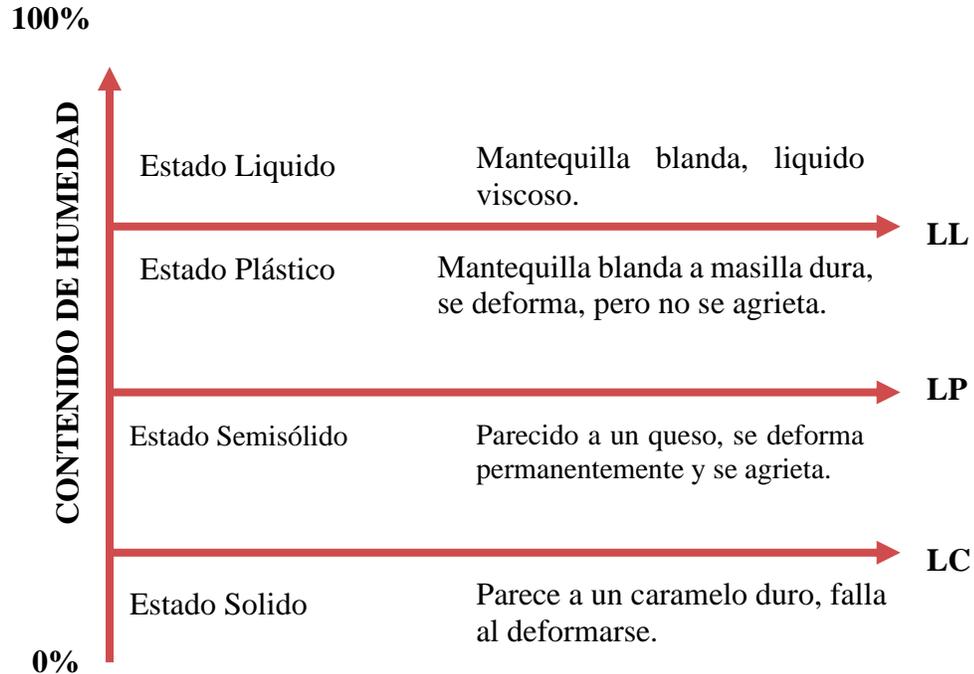
La plasticidad es la propiedad que se presentan en los suelos de poder deformarse, hasta cierto límite, sin romperse. Por medio del comportamiento de los suelos en todas las épocas. Las arcillas presentan esta propiedad en grado variable, para conocer la plasticidad de un suelo se hace uso de los límites de Atterberg, quien por medio de ellos separo los cuadros estados de consistencia de los suelos coherentes.

Los mencionados límites son: Límite Líquido (LL), Límite Plástico (LP) y Límite de Contracción (LC), y mediante ellos se puede dar una idea del tipo de suelo en estudio. Todos los límites de consistencia se determinan empleando suelo que pase el tamiz N°40.

### Estados de consistencia.

La consistencia de un suelo varía con la humedad, Atterberg: mediante analogías definió los estados de consistencia de un suelo, observando que el mismo desde un grado de saturación hasta un grado seco tiene los siguientes estados.

Tabla 2.9.1 Estados del suelo y límites de consistencia



Fuente: Elaboración propia.

El comportamiento de los suelos cohesivos depende de la humedad en ellos (contenido de agua), el suelo puede sufrir cambios en su volumen lo que produce cambio de estado. Existen estados de consistencia para un suelo susceptible de ser plástico: sólido, semisólido, plástico y líquido.

*Sólido:* En este estado el suelo no presenta cambio de volumen al disminuir su humedad y tiene apariencia de un cuerpo regido.

*Semisólido:* En este estado el suelo disminuye su volumen con el secado a pesar de tener la apariencia de un cuerpo regido.

*Plástico:* Cuando el suelo se encuentra en el estado plástico, este puede sufrir deformaciones rápidas sin agrietarse o desmoronarse.

*Líquido:* En este estado el contenido de agua es muy alto, haciéndolo fluir como una suspensión líquida.

## **2.10 Límites de consistencia.**

Los límites de Atterberg o también llamados límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo de su propia naturaleza y la cantidad de agua que contengan.

El método usado para medir estos límites de humedad fue ideado por el científico sueco Albert Atterberg en el año 1911. Los límites de Atterberg son propiedades, valores de humedad de los suelos que se utilizan en la identificación y clasificación de un suelo.

La diferencia entre los valores del límite líquido (LL), y del límite plástico (LP) da el llamado Índice Plástico (IP) del suelo. Los límites líquido y plástico dependen de la cantidad y tipo de arcilla del suelo, pero el índice plástico depende generalmente de la cantidad de arcilla.

Cuando no se puede determinar el límite plástico se dice que no es plástico (NP), y en este caso el índice plástico se dice que es igual a cero. El índice de plasticidad indica el rango

de humedad a través del cual los suelos con cohesión tienen propiedades de un material plástico. (badillo, 2004)

Según Atterberg, cuando un suelo tiene un índice plástico (IP) igual a cero el suelo es no plástico; cuando el índice es menor de 7, el suelo presenta baja plasticidad; cuando el índice plástico está comprendido entre 7 y 17 se dice que el suelo es medianamente plástico, y cuando el suelo presenta un índice plástico mayor a 17 se dice que es altamente plástico. Según Arthur Casagrande, comparando suelos de igual límite líquido con índice de plasticidad que aumente, la compresibilidad es la misma, la constante de permeabilidad disminuye, la tenacidad cerca del límite plástico aumenta y también su resistencia en seco. Ahora comparando suelos de igual índice plástico con límite líquido que aumente, la compresibilidad aumenta, la constante de permeabilidad aumenta, y tanto la tenacidad cerca del límite plástico como la resistencia en seco disminuye. (badillo, 2004)

### **2.11 Límite Líquido (LL)**

El límite líquido (LL) y el límite de contracción son dos de los límites de Atterberg, que son parámetros clave en la clasificación y caracterización de suelos finos, especialmente arcillas y limos. Estos límites ayudan a entender cómo se comporta el suelo bajo diferentes contenidos de humedad.

El límite líquido es una de las propiedades de consistencia de los suelos finos, específicamente aquellos con un alto contenido de arcilla. Es el contenido de agua a partir del cual un suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido. La determinación del límite líquido es fundamental en la geotecnia y la ingeniería civil, ya que proporciona información sobre la naturaleza y el comportamiento de los suelos bajo diferentes condiciones de humedad. (Villalaz, 2004)

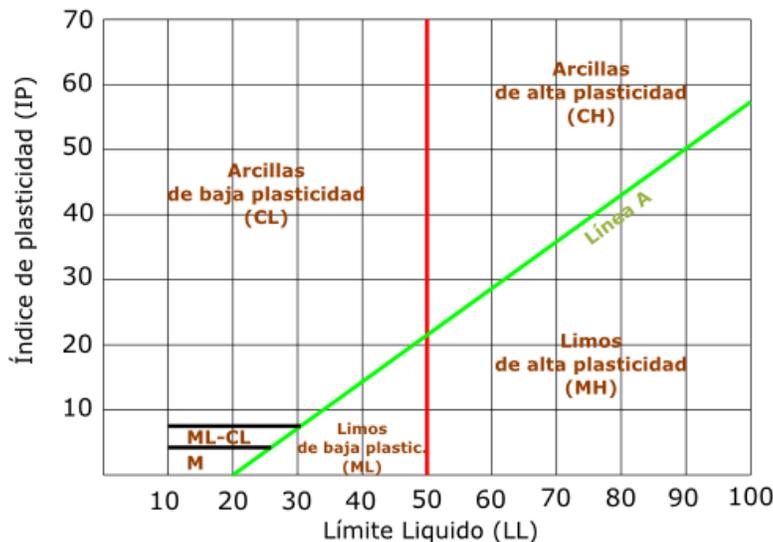
Figura 2.11.1 Copa de Casa Grande



Fuente: Elaboración propia.

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 del estado líquido al plástico. De acuerdo con esta definición, los suelos plásticos tienen en el límite líquido una resistencia muy pequeña al esfuerzo de corte, pero definida, y según Atterberg es de  $25 \text{ g/cm}^2$ . La cohesión de un suelo en el límite líquido es prácticamente nula. (badillo, 2004) El límite líquido se obtiene mediante el aparato de Casagrande, cuando el suelo dividido por un ranurador dispuesto dentro de la copa, se une a los 25 golpes.

Gráfico 2.11.1 Carta de plasticidad del USCS.



Fuente: *Mecánica de suelos. Juárez & Rico, 2005*

## 2.12 Límite Plástico (LP)

El límite plástico se define como el contenido de humedad, expresado en un porcentaje con respecto al peso de la muestra secada al horno, para el cual los suelos cohesivos para de un estado semisólido a un estado sólido. Para determinar el límite plástico, generalmente se hace uso del material que, mezclado con agua ha sobrado de la prueba del límite líquido y al cual se le evapora humedad por mezclado hasta tener una mezcla plástica que sea fácilmente moldeable. Es el contenido de humedad (%) que divide a los estados plástico y semisólido del suelo. Se obtiene cuando con la mano se realizan rollitos de arcilla de tres milímetros de diámetro, comienzan aparecer pequeños agrietamientos, indicador suficiente de que el suelo ya se encuentra en la humedad del límite buscado. (Villalaz, 2004)

El "límite plástico" es un término utilizado en la ingeniería geotécnica para describir una propiedad del suelo. Ayuda a clasificar el suelo y a entender su comportamiento bajo diferentes condiciones de humedad. Es crucial para aplicaciones de construcción y diseño de cimientos, ya que influye en la estabilidad y resistencia del suelo. Relación con otros parámetros El límite plástico, junto con el límite líquido, se utiliza para calcular el índice de plasticidad (IP), que es una medida de la plasticidad de un suelo. Conocer el límite

plástico de un suelo es esencial para ingenieros y geotécnicos, ya que proporciona información vital sobre cómo se comportará el suelo bajo diversas condiciones de carga y humedad. (Villalaz, 2004)

Figura 2.12.1 Determinación del Limite Plástico



Fuente: Elaboración propia.

### 2.13 Índice de plasticidad.

El índice de plasticidad (IP) es un parámetro que se usa en la mecánica de suelos para describir la plasticidad de un suelo, es decir, la capacidad del suelo para deformarse sin fracturarse. Se calcula como la diferencia entre el límite líquido (LL) y el límite plástico (LP) del suelo. Estos límites son dos de los límites de Atterberg, que son estándares que definen las propiedades de consistencia de los suelos finos. (Villalaz, 2004)

El índice de plasticidad, no es más que la diferencia entre el Límite líquido y el Límite plástico.

$$IP = LL - LP$$

Donde:

- **LL (Límite Líquido):** Es el contenido de agua a partir del cual el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido.

- **LP (Límite Plástico):** Es el contenido de agua a partir del cual el suelo pasa de un estado semisólido a un estado plástico.

### 2.13.1 Procedimiento para determinar el Índice de Plasticidad

1. **Determinar el Límite Líquido (LL):** Esto se hace mediante el aparato de Casagrande, donde una porción de suelo se somete a golpes controlados en una taza de bronce hasta que se cierre una ranura preestablecida en el suelo. El número de golpes necesarios para cerrar la ranura indica el contenido de agua del suelo en ese estado. (Villalaz, 2004)
2. **Determinar el Límite Plástico (LP):** Se realiza amasando el suelo hasta formar un cilindro de 3 mm de diámetro. El contenido de agua al cual el cilindro se desmorona es el límite plástico.

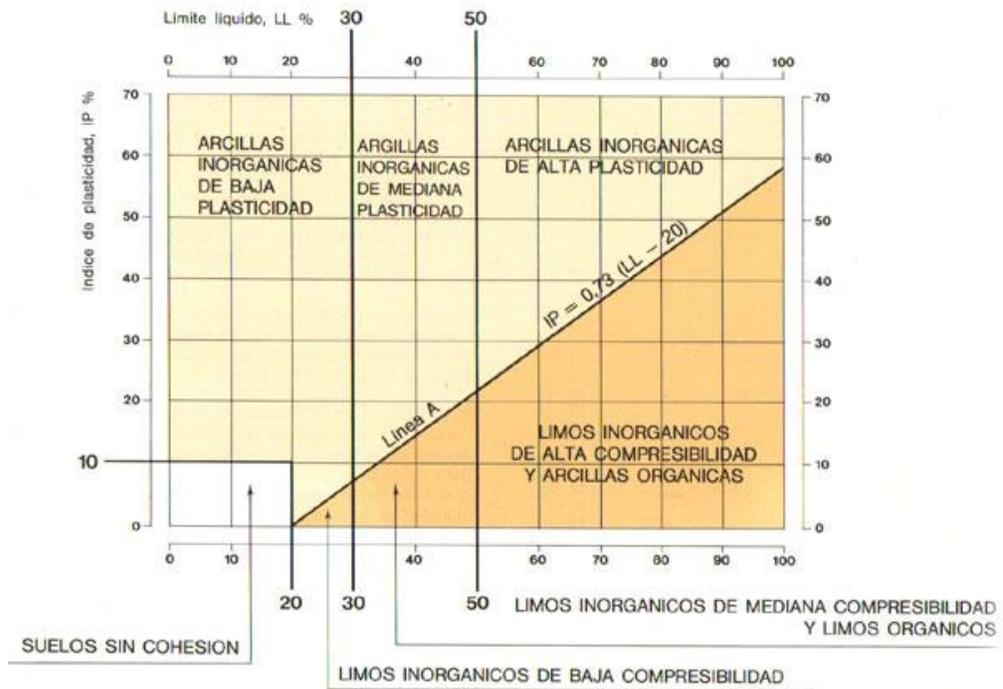
### 3. Interpretación del Índice de Plasticidad

El índice de plasticidad se utiliza para clasificar suelos en diferentes categorías en función de su comportamiento: (Villalaz, 2004)

- **IP bajo (0-10):** Suelos de baja plasticidad, generalmente arenosos o limosos.
- **IP medio (10-20):** Suelos de plasticidad media, como algunos limos arcillosos.
- **IP alto (20-40):** Suelos de alta plasticidad, típicamente arcillosos.
- **IP muy alto (>40):** Suelos extremadamente plásticos, como algunas arcillas expansivas.

El conocimiento del índice de plasticidad es crucial en la ingeniería civil y geotécnica, ya que afecta la estabilidad y el comportamiento del suelo bajo cargas estructurales.

Grafica 2 2.13.1 Determinación del índice plasticidad



Fuente: Mecánica de suelos y cimentaciones

#### 2.14 Determinación del Límite de Contracción

Como se mencionó anteriormente, el método original de Atterberg para la determinación del límite de contracción de un suelo consistía en la realización de mediciones frecuentes de la longitud y peso de un mismo prisma, hasta que ya no se observa ninguna disminución de la longitud.

Teniendo en cuenta que la gran mayoría de los suelos no presentan prácticamente, disminución de volumen durante el proceso de secado abajo del límite de contracción, Terzaghi sugirió un método más simple de determinación, que esencialmente, consiste en medir el peso y el volumen de una muestra de suelo totalmente seca; en tal momento puede decirse que el límite de contracción sería la humedad de la muestra seca si tuviese sus vacíos llenos de agua. De esta idea y teniendo en cuenta la figura 3 puede deducirse.

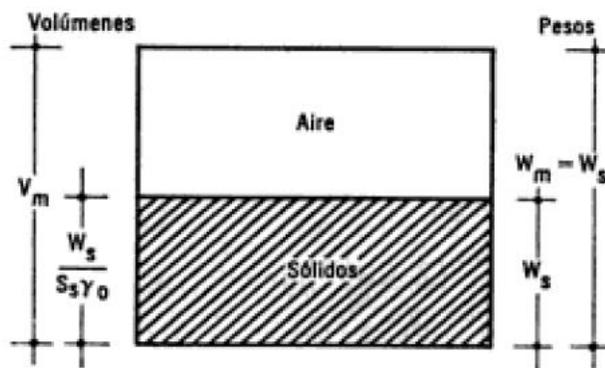
(Juárez Badillo)

Formula de límite de contracción

$$LC(\%) = \frac{\left(V_m - \frac{W_s}{S_s \gamma_0}\right) \gamma_0}{W_s} 100 = \left(\frac{V_m \gamma_0}{W_s} - \frac{1}{S_s}\right) 100$$

$$LC(\%) = 100 \left(\frac{1}{S_d} - \frac{1}{S_s}\right)$$

Figura 2. 1 Esquema que ilustra la obtención del límite de contracción, según terzaghi



Fuente: Mecánica de suelos (Juárez Badillo)

Es un contenido de humedad (%) que divide a los estados de suelo, semisólido y sólido. Se trata del porcentaje de humedad del suelo, es decir aquella que, aunque siga bajando su valor, el volumen de la masa del suelo disminuye al perder la humedad.

El límite de contracción es un parámetro importante en la mecánica de suelos que se refiere al contenido de humedad de un suelo en el que, al perder agua, el suelo se contrae y pierde su plasticidad, pasando de un estado plástico a uno semisólido. En otras palabras, es el punto en el cual el suelo deja de ser moldeable y seco, y comienza a comportarse como un sólido frágil. Este límite es importante para determinar propiedades como la plasticidad y la susceptibilidad del suelo a la contracción y expansión, lo que puede tener implicaciones significativas en la ingeniería civil y la construcción. (Villalaz, 2004)

**Límite de contracción** – Es el contenido máximo de agua, por debajo del cual un secado adicional no causa una disminución de volumen de la muestra de suelo, pero por encima

de cual un incremento en el contenido de agua sí produce un aumento en el volumen de la masa de suelo. (INV E – 127 – 13)

$$LC = w - \frac{(vh - vs) * \rho_w}{ms} * 100$$

Donde:

LC = Límite de contracción, %.

W = Humedad del suelo en el momento que fue moldeado, %.

vh = Volumen de la pastilla de suelo húmedo, cm<sup>3</sup> (ml).

vs = Volumen de la pastilla de suelo seco, cm<sup>3</sup> (ml).

$\rho_w$  = Densidad del agua, g/cm<sup>3</sup> (g/ml).

ms = Masa del suelo seco, (g)

**Relación de contracción** – Es la relación entre un cambio dado de volumen, expresado como porcentaje del volumen seco, y el cambio correspondiente en su contenido de agua por encima del límite de contracción, expresado como un porcentaje del peso seco al horno

$$R = \left( \frac{ms}{vd * \rho_w} \right)$$

R = Relación de contracción

ms = Masa de la pastilla de suelo seco. En gramos

vd = Volumen de la pastilla de suelo seco, en cm<sup>3</sup>

$\rho_w$  = Densidad del agua, en gr/cm<sup>3</sup>

**Cambio volumétrico** – Es la disminución de volumen de la masa de suelo, cuando se reduce el contenido de agua desde un porcentaje dado hasta el límite de contracción.

$$Cv = (wi - lc) * R$$

Cv = Cambio volumétrico para una humedad i

R = Relación de contracción

Lc = Límite de contracción

wi = Humedad cualquiera, debe ser mayor al límite de contracción

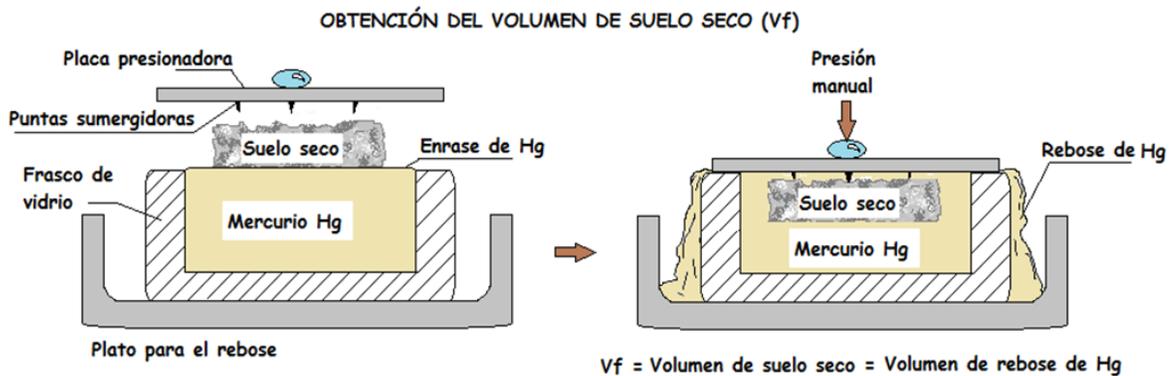
**Contracción lineal** – Es la disminución de la muestra de suelo en una sola dimensión, expresada como un porcentaje de la dimensión original, cuando el contenido de agua se reduce desde un porcentaje dado hasta el límite de contracción. ( INVE – 127 – 13)

$$CL = 100 \left[ 1 - \sqrt[3]{\frac{100}{100 + Cv}} \right]$$

CL= Contracción lineal

Cv= Cambio volumétrico

Figura 2.14.1 Obtención del volumen de suelo seco.



Fuente: Informe de suelos

### 2.14.1 Métodos del límite de contracción

La determinación del límite de contracción (LC) en suelos puede realizarse mediante varios métodos, cada uno con sus ventajas y limitaciones. A continuación, se comparan los métodos tradicionales y alternativos, utilizando mercurio, glicerina, parafina y aceite sucio. (badillo, 2004)

- **Método Normado**

**Método del límite de Contracción con Mercurio ( INV E – 127 – 13)**

El método descrito en esta norma se debe aplicar únicamente sobre la porción de suelo que pasa el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40). Por lo tanto, se deberá considerar la contribución relativa de esta fracción de suelo a las propiedades de la muestra como conjunto, cuando se usen estos ensayos para evaluar las propiedades de un suelo.

A los fines de comparar valores medidos o calculados con límites especificados, el valor medido o calculado se deberá redondear al dígito significativo más próximo al del límite especificado.

Preparación de una pasta homogénea de suelo y agua, Colocación de la muestra en un molde de volumen conocido. Secado al aire libre y luego en un horno a 105°C hasta peso constante Medición del volumen seco mediante el desplazamiento de mercurio. (badillo, 2004)

Se calcula la masa húmeda del suelo en el momento en que éste fue colocado en el recipiente para contracción (M):

$$S_w = M - M_T$$

M= Peso del recipiente de contracción

$S_w$  = Peso del suelo húmedo

$M_T$ = peso del recipiente más suelo húmedo

Se calcula la masa de la pastilla de suelo seco (Ms) como:

$$S_s = M_D - M$$

$S_s$  = Peso del suelo seco

M= Peso del recipiente de contracción

$M_D$ = Peso del molde más suelo seco

Calcule la humedad del suelo en el momento en que fue moldeado de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 0,1%.

$$W = \frac{mh - ms}{ms} * 100$$

Donde:

W =Humedad del suelo en el momento que fue moldeado (%).

mh = Masa del suelo húmedo (g).

ms = Masa del suelo seco (g).

La ventaja de este método es de alta precisión y es un método estándar ampliamente utilizado, las limitaciones es el uso del mercurio, que es toxico y peligroso para la salud y el medio ambiente. Requiere manejo y disposición cuidadosos del mercurio.

### **Ventajas y Desventajas del Método**

Ventajas:

- Alta precisión en la medición del volumen del suelo seco.
- Método estándar ampliamente reconocido y utilizado.

Desventajas:

- Riesgos asociados con la toxicidad del mercurio.
- Procedimiento más complejo y peligroso en comparación con otros métodos que utilizan sustancias menos peligrosas.

Este método, aunque preciso, está siendo reemplazado en muchos laboratorios por métodos alternativos debido a los riesgos de salud y medioambientales asociados con el uso de mercurio.

## **Efectos y riesgos del mercurio (INV E – 127 – 13)**

El mercurio es una sustancia peligrosa que puede causar efectos nocivos en la salud si su vapor se inhala por mucho tiempo o si se pone en contacto con la piel. Sus efectos son acumulativos.

El mercurio es un elemento químico metálico, reconocido por ser el único naturalmente líquido y sus diversas aplicaciones en las diferentes industrias y la minería. Sin embargo, es altamente tóxico, puede causar diversas reacciones dañinas con síntomas variadas.

Las principales posibles alteraciones por intoxicación con mercurio son: Alteraciones digestivas, que pueden producir la caída prematura de los dientes, aparece gingivitis, presentar como síntomas náuseas, vómito y diarrea.

Alteraciones otorrinolaringológicas: Sorderas parciales, rinitis y afectaciones a la función secretora. Alteraciones del sistema nervioso trastornos psíquicos, irritabilidad, tristeza debilidad muscular, insomnio, encefalitis y constante temblor.

Otras alteraciones: Dermatitis entre otras afecciones de la piel, riesgo aerógeno del colesterol y abortos.

- **Métodos alternativos**

### **Método de aceite sucio**

Preparación de una pasta homogénea de suelo y agua. Colocación de la muestra en un molde de volumen conocido. Secado al aire libre y luego en un horno a 105°C hasta peso constante. Medición del volumen seco mediante el desplazamiento de aceite sucio.

La ventaja del método es económico y accesible y más seguro que el uso del mercurio. Las limitaciones es la precisión que puede verse afectada debido a la viscosidad y densidad variable del aceite sucio. Puede ser complicado limpiar la muestra y el equipo después de la medición.

### **Ventajas y Desventajas del Método**

#### **Ventajas:**

- El aceite sucio es menos costoso y más fácilmente disponible que otros materiales.

- Puede ser una solución práctica en entornos donde los recursos son limitados.

### **Desventajas:**

- La precisión puede ser menor en comparación con métodos que utilizan sustancias más puras.
- El aceite sucio puede contener impurezas que afectan la medición del volumen.
- Manejar aceite sucio puede ser desordenado y requiere una limpieza cuidadosa para evitar la contaminación.

Este método proporciona una alternativa económica y práctica para la determinación del límite de contracción en suelos limo arcillosos, aunque puede requerir cuidados adicionales para asegurar la precisión de los resultados debido a las posibles impurezas y la viscosidad del aceite sucio.

### **Método de Parafina**

Este método de ensayo cubre el procedimiento para determinar el volumen del suelo por el método del desplazamiento de ARQUIMEDES en el agua. Al sumergir un objeto dentro de un líquido, el volumen del cuerpo sumergido es igual al volumen de fluido desplazado. Por lo tanto, la fuerza de empuje  $\rho \cdot V \cdot g$ , tiene una magnitud igual al peso del líquido desplazado por el objeto sumergido.

el límite de contracción de los suelos y los datos obtenidos mediante este método de ensayo se pueden emplear, también, para calcular la relación de contracción, la contracción volumétrica y la contracción lineal. es aplicable, únicamente, a suelos cohesivos. (Villalaz, 2004)

El límite de contracción, junto con los límites líquido y plástico de los suelos se conocen como límites de Atterberg. Estos límites distinguen los límites de varios estados de consistencia de los suelos cohesivos que se mide por muestra de suelo mojado, húmedo y seco.

En resumen, del método Se determina el contenido de agua de una pastilla de suelo húmedo. A continuación, se determina la pérdida de humedad al secar el suelo hasta volumen constante, y este valor se resta de la humedad inicial, para calcular el límite de

contracción. El volumen de la pastilla de suelo seco se determina a partir de su masa en el aire y de su masa sumergida en agua. Se usa una cubierta de parafina para prevenir la absorción de agua por la pastilla de suelo seco. (INV E – 129 – 13)

El término límite de contracción, expresado como porcentaje de humedad, representa la cantidad de agua requerida exactamente para llenar todos los vacíos de un suelo cohesivo a su mínima relación de vacíos obtenida por secado en el horno. El límite de contracción se puede usar para evaluar el potencial de contracción, el potencial de agrietamiento y el potencial de expansión de explanaciones que involucren suelos cohesivos.

El equipo para calentar la parafina o la parafina caliente pueden producir quemaduras en la piel. El sobrecalentamiento de la parafina puede producir llamas repentinas; por lo tanto, se debe tener mucho cuidado al trabajar con la parafina caliente. Nunca se debe usar un dispositivo de llama abierta para calentar la parafina.

Los cálculos que hay que considerar para el factor de contracción, son los siguientes:

#### **Masa de la pastilla de suelo seco**

$$m_s = m_d - m$$

$m_s$  = Masa de la pastilla de suelo seco. En gramos

$m_d$  = Masa de la pastilla de suelo seco más recipiente de contracción. En gramos.

$m$  = Masa del recipiente de contracción vacío. En gramos

#### **Humedad del suelo en el instante que se colocó en el recipiente**

$$w = \frac{m_w - m_d}{m_s} * 100$$

$w$  = Humedad del suelo en el instante que se colocó el recipiente para contracción

$m_w$  = Masa de la pastilla de suelo seco, en gramos

$m_d$  = Masa de la pastilla de suelo seco más recipiente de contracción. En gramos

$m_s$  = Masa del suelo húmedo más recipiente de contracción en gramos

### **Volumen de la pastilla de suelo seco envuelto en parafina**

$$V_{dx} = \frac{m_{sxa} - m_{sxw}}{\rho_w}$$

$V_{dx}$  = Volumen de la pastilla de suelo seco envuelta en parafina, en  $\text{cm}^3$

$m_{sxa}$  = Masa en el aire de la pastilla de suelo seco envuelta en parafina, en gramos

$m_{sxw}$  = Masa de la pastilla de suelo seco, envuelta en parafina sumergida en agua, en gramos

$\rho_w$  = Densidad del agua, en  $\text{gr}/\text{cm}^3$

### **Masa de la parafina**

$$m_x = m_{sxa} - m_s$$

$m_x$  = Masa de la parafina, en gramos

$m_{sxa}$  = Masa en el aire de la pastilla de suelo seco envuelta en parafina, en gramos

$m_s$  = Masa de la pastilla de suelo seco, en gramos

### **Volumen de la parafina**

$$V_x = \frac{m_x}{G_x \rho_w} \text{ o } \frac{m_x}{\rho_x}$$

$V_x$  = volumen de la parafina, en  $\text{cm}^3$

$m_x$  = Masa de la parafina, en gramos

$\rho_x$  = Densidad de la parafina, en  $\text{gr}/\text{cm}^3$

$G_x$  = Gravedad específica de la parafina

### **Volumen de la pastilla de suelo seco**

$$V_d = V_{dx} - V_x$$

$V_d$  = Volumen de la pastilla de suelo seco, en  $\text{cm}^3$

$V_{dx}$  = Volumen de la pastilla de suelo seco envuelta en parafina, en  $\text{cm}^3$

$V_x$  = volumen de la parafina, en  $\text{cm}^3$

**Límite de contracción (LC), como un contenido de agua en relación con la masa de suelo seco, con la expresión:**

$$LC = w - \left( \frac{(V - V_d)\rho_w}{m_s} \right) * 100$$

LC = Límite de contracción

W = Humedad del suelo en el instante que se colocó el recipiente para contracción

V = Volumen de la pastilla de suelo Húmedo, (Volumen del recipiente decontracción), en  $\text{cm}^3$

$V_d$  = Volumen de la pastilla de suelo seco, en  $\text{cm}^3$

$m_s$  = Masa de la pastilla de suelo seco, en gramos

$\rho_w$  = Densidad del agua, en  $\text{gr}/\text{cm}^3$

### **Relación de contracción**

$$R = \left( \frac{m_s}{V_d * \rho_w} \right)$$

R = Relación de contracción

$m_s$  = Masa de la pastilla de suelo seco. En gramos

$V_d$  = Volumen de la pastilla de suelo seco, en  $\text{cm}^3$

$\rho_w$  = Densidad del agua, en  $\text{gr}/\text{cm}^3$

## **Cambio volumétrico**

$$CV = (w_1 - LC) * R$$

CV = Cambio volumétrico para una humedad  $i$ .

R = Relación de contracción

LC = Límite de contracción

$w_1$  = Humedad cualquiera, debe ser mayor al límite de contracción

Contracción lineal

$$CL = 100 \left[ 1 - \sqrt[3]{\frac{100}{100 + CV}} \right]$$

CL = Contracción lineal

CV = Cambio volumétrico para una humedad  $i$ .

## **Ventajas y Desventajas del Método**

### **Ventajas:**

- Menor toxicidad en comparación con el mercurio.
- Proceso más seguro y ambientalmente amigable.
- La parafina es fácil de manejar y disponible en muchos laboratorios.

### **Desventajas:**

- La precisión puede ser menor en comparación con el método utilizando mercurio.
- Requiere el fundido y manipulación de parafina, lo cual puede ser laborioso.

Este método proporciona una alternativa más segura y accesible para la determinación del límite de contracción en suelos limo arcillosos, aunque puede requerir un cuidado adicional para asegurar la precisión de los resultados.

## **Método de la Glicerina**

Preparación de una pasta homogénea de suelo y agua. Colocación de la muestra en un molde de volumen conocido. Secado al aire libre y luego en un horno a 105°C hasta peso constante. Medición del volumen seco mediante el desplazamiento de glicerina.

La ventaja de este método es más seguro que el uso del mercurio y tiene buena precisión, las limitaciones es la densidad de la glicerina que puede afectar la precisión de la medición es mayor costo comparado con el aceite sucio.

### **Ventajas y Desventajas del Método**

#### **Ventajas:**

- Menos tóxico y más seguro que el mercurio.
- Glicerina es fácil de manejar y está ampliamente disponible.
- Método relativamente simple y directo.

#### **Desventajas:**

- La precisión puede ser menor en comparación con el método utilizando mercurio.
- La glicerina es viscosa, lo que puede dificultar la eliminación de burbujas de aire y afectar la precisión de la medición del volumen.

Este método proporciona una alternativa segura y fácil de implementar para la determinación del límite de contracción en suelos limo arcillosos, aunque puede requerir cuidados adicionales para asegurar la precisión de los resultados debido a la viscosidad de la glicerina.

### **2.15 Preparación de la muestra para límite de contracción**

La muestra de suelo extraída se seca de manera completa en un horno, luego se pulveriza el suelo reduciendo porciones grandes existentes con un martillo, luego esta se realiza un tamizado usando una malla N 40 que pasa por dicho tamiz, el utilizado para la ejecución del ensayo de límite de contracción (**INVIAS, INV E – 127**)

## 2.16 Equipos y materiales.

Figura 2.16.1 Cazuela de porcelana.



**Fuente: Elaboración propia.**

- Espátula: de aproximadamente 76 mm de longitud y 19 mm de ancho.

Figura 2.16.2 Espátula



**Fuente: Elaboración propia.**

- Recipientes de contracción: capsulas de metal, de base plana y de aproximadamente 45 mm de diámetro y 13 mm de altura.

Figura 2.16.3 Recipientes de contracción.



**Fuente: Elaboración propia.**

- Recipiente de vidrio de 57mm de aproximadamente 57 mm de diámetro y 32mm de altura.

*Figura 2.16.4 Recipiente de vidrio.*



**Fuente: Elaboración propia.**

- Placa de vidrio: con tres patas metálicas salientes para sumergir la muestra desuelo.

*Figura 2.16.5 Enrasador.*



**Fuente: Elaboración propia.**

- Recipiente o plato de tamaño suficiente para colocar el recipiente de vidrio.

*Figura 2.16.6 Recipiente o plato.*



**Fuente: Elaboración propia.**

- Balanza: Para secar la muestra de suelo a una temperatura constante (generalmente 105 °C - 110 °C) hasta alcanzar un peso constante.

Figura 2.16.7 Balanza Con legibilidad de 0.1 g.



**Fuente: Elaboración propia.**

- Horno: Para secar la muestra de suelo a una temperatura constante (generalmente 105 °C - 110 °C) hasta alcanzar un peso constante.

Figura 2.16.8 Horno Termostáticamente controlado.



**Fuente: Elaboración propia.**

- Guantes de caucho. Para la protección al manipular el mercurio

Figura 2.16.9 Guates de caucho.



**Fuente: Elaboración propia.**

- Vaselina. Para colocar al molde antes de insertar el suelo para que no se pegue la muestra al molde

Figura 2.16.10 Vaselina.



**Fuente: Elaboración propia.**

- Mercurio: suficiente para llenar el recipiente de vidrio hasta rebosar.

Figura 2.16.11 Mercurio suficiente.



**Fuente: Elaboración propia.**

- parafina: suficiente para llenar el recipiente de vidrio hastarebosar.

Figura 2.16.12 Parafina.



**Fuente: Elaboración propia.**

- Glicerina (liquido alterno): suficiente para llenar el recipiente de vidrio hastarebosar.

Figura 2.16.13 Glicerina.



**Fuente: Elaboración propia.**

- Aceite de carro (liquido alterno): suficiente para llenar el recipiente de vidrio hasta rebosar.

Figura 2.16.14 Aceite Sucio.



**Fuente: Elaboración propia.**

## **2.17 Clasificación AASHTO**

El sistema AASHTO de clasificación de suelos fue desarrollado en 1929 por el Public Road Administración Sistema. Este tuvo sistema experimento varias revisiones, con la presente versión propuesta por el Comitte on Classofication of Materials for Grades and Granular Type Roads of the Highway Research Board en 1975 (ASTM designation D-3282; AASHTO meted M145).

La clasificación AASHTO usada actualmente está dada en la tabla 2.4. De acuerdo con este sistema, el suelo es clasificado en site grupos principales: A-1 hasta A-7. Los suelos clasificados bajo los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales de las cuales el 35% o menos de las partículas pasan a través del tamiz N°200. Suelos de los cuales el 35% o pasan a través del tamiz N°200 se clasifican bajos los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. Estos suelos son en su mayoría limos y materiales de tipo arcilloso.

Tabla 2.17.1 Clasificación de suelos según AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares							Materiales limo-arcillosos			
	(Igual o menor del 35% pasa por el tamiz N° 200)							(Más del 35% que pasa por el tamiz N° 200)			
Grupos	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Sub grupos	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
% que pasa el tamiz											
N° 10	50 máx.										
N° 40	30 máx.	50 máx.	51 máx.								
N° 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características del material que pasa el tamiz N° 40											
Límite líquido			NO PLÁSTICO	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.	6 máx.		10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
índice de grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Tipos de material	Fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Grava, arenas limosas y arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Terreno de fundación	Excelente a bueno						Regular a deficiente				

Fuente: Guía de ensayos. Laboratorio de Suelos, UAJMS.

### 2.17.1 Material limo arcillosos, más del 35% del total pasa el tamiz N°200

**Grupo A – 4:** Son suelos limosos, poco o nada plásticos, puede contener más de un 75% del material que pasa el tamiz N° 200.

**Grupo A – 5:** Son muy similares al anterior, pero contiene un material micáceo, que hace que el límite líquido a veces sea elevado, además de aparecer una propiedad elástica rara en los suelos.

**Grupo A – 6:** Predomina la arcilla, más del 75% del material pasa el tamiz N° 200, este suelo suele contener pequeños porcentajes de arena fina y limo cuyas características son absorbidas por el gran porcentaje de arcilla.

**Grupo A – 7:** Se parecen mucho al grupo A – 6. Pero estos tienen propiedades elásticas, además su

límite líquido casi siempre es elevado.

**Subgrupo A - 7 – 5:** Sus índices de plasticidad no son muy altos con respecto a sus límites líquidos.

**Subgrupo A - 7 – 6:** Sus índices de plasticidad son muy elevados con respecto a sus límites líquidos, además presentan grandes cambios de volumen entre sus estados seco y húmedo.

### **2.17.2 Índice de Grupo.**

Es un factor de evaluación, que determina la calidad del suelo a través de características similares en grupos de suelos, el índice de grupo es muy importante en el diseño de espesores, inclusive un método lleva el mismo nombre. (Villalaz, 2004)

La siguiente fórmula determina el índice de grupo

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

Donde:

F = Porcentaje en peso que pasa por el tamiz N°200.

LL = Límite líquido.

IP = Índice de plasticidad

El índice de grupo se expresa en números enteros positivos (un número negativo se expresará como  $IG = 0$ ) y se escribe entre paréntesis a continuación de los símbolos de grupo o subgrupo correspondientes, por ejemplo, A-2-4(0). Generalmente cuanto menor es el IG de un suelo, mejores son las cualidades del suelo como explanada o capa de asiento del firme. Los suelos de los grupos A-1, A-3, A-2-4 y A-2-5, que pueden calificarse de buenos a excelentes, tienen un  $IG = 0$ . Un  $IG = 20$  o mayor corresponde a un suelo de muy mala calidad, en condiciones medias de drenaje y compactación.

### **2.18 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)**

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), también conocido como Unified Soil Classification System (USCS), es un método estándar utilizado para clasificar suelos con base en sus propiedades físicas y de granulometría. Este sistema es ampliamente

utilizado en la ingeniería geotécnica para describir las características del suelo y prever su comportamiento bajo diversas condiciones.

Este sistema propuesto por Arturo Casagrande (1942) lo adopta el cuerpo de Ingenieros de EE.UU. en los aeropuertos y actualmente, es ampliamente utilizado en el mundo, al lado del sistema de la AASHTO o el de la ASTM, todos basados en los LÍMITES Y LA GRANULOMETRÍA. El SUCS clasifica los suelos en tres grandes grupos: suelos gruesos, suelos finos y suelos orgánicos. Cada grupo se subdivide en categorías más específicas, con etiquetas que indican sus propiedades principales.

### **2.18.1 Suelos Gruesos (Coarse-Grained Soils)**

Estos suelos tienen más del 50% de sus partículas mayores que 0.075 mm (tamiz No. 200).

**Gravas (G, Gravel):** Suelos con más del 50% de partículas mayores que 4.75 mm (tamiz No. 4).

- **GW:** Grava bien graduada.
- **GP:** Grava mal graduada.
- **GM:** Grava con limo.
- **GC:** Grava con arcilla.

**Arenas (S, Sand):** Suelos con más del 50% de partículas entre 0.075 mm y 4.75 mm.

- **SW:** Arena bien graduada.
- **SP:** Arena mal graduada.
- **SM:** Arena con limo.
- **SC:** Arena con arcilla.

Tabla 2.18.1 Gravos Más del 50% de la fracción mayor al tamiz de 75 µm (No. 200) queda retenida en el tamiz de 4.75 mm (No. 4)

				NOMBRES TÍPICOS						
<p style="text-align: center;"><b>SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS</b> Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 ⊕</p>	<p style="text-align: center;"><b>GRAVAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa es pasa por la malla No. 4 retenida por la malla No. 4 <b>PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE ½ cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>GRAVAS LIMPIAS</b> Poco o nada de partículas finas</p>	<b>GW</b>	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos						
			<p style="text-align: center;"><b>GRAVA CON FINOS</b> Cantidad apreciable de partículas finas</p>	<b>GP</b>	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos					
				<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td rowspan="2" style="width: 20px;">G</td> <td style="width: 20px;">*</td> <td style="width: 20px;">d</td> </tr> <tr> <td>M</td> <td>u</td> </tr> </table>	G	*	d	M	u	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo
			G	*		d				
		M		u						
		<b>GC</b>	Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla							
		<p style="text-align: center;"><b>ARENAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa es pasa por la malla No. 4 retenida por la malla No. 4 <b>PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE ½ cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>ARENAS LIMPIAS</b> Poco o nada de partículas finas</p>	<b>SW</b>	Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.					
				<b>SP</b>	Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.					
				<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td rowspan="2" style="width: 20px;">S</td> <td style="width: 20px;">*</td> <td style="width: 20px;">d</td> </tr> <tr> <td>M</td> <td>u</td> </tr> </table>	S	*	d	M	u	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
				S		*	d			
M	u									
<b>SC</b>	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.									

Fuente: Norma (SUCS)

### 2.18.2 Suelos Finos (Fine-Grained Soils)

Estos suelos tienen más del 50% de sus partículas menores que 0.075 mm (tamiz No. 200).

**Limos (M, Silt):** Suelos no plásticos o con baja plasticidad.

- **ML:** Limo de baja plasticidad.
- **MH:** Limo de alta plasticidad.

**Arcillas (C, Clay):** Suelos plásticos.

- **CL:** Arcilla de baja plasticidad.
- **CH:** Arcilla de alta plasticidad.

### 2.18.3 Suelos Orgánicos (Organic Soils)

- **OL:** Limos orgánicos de baja plasticidad y arcillas orgánicas.
- **OH:** Limos orgánicos de alta plasticidad y arcillas orgánicas.
- **PT:** Turba y otros suelos altamente orgánicos

Tabla 2.18.2 Suelos finos – 50% o más pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200) y límite líquido < 50 %

SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 $\oplus$ Las partículas de 0.074 mm de diámetro (la malla No.200) s	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor de 50	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
		CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.
		OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.
	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido Mayor de 50	MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos.
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.
		OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.
	SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS	P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.

Fuente: Sistema USCS de clasificación de suelos

**CAPÍTULO III**  
**CARACTERIZACIÓN Y PROCESO**  
**EXPERIMENTAL**

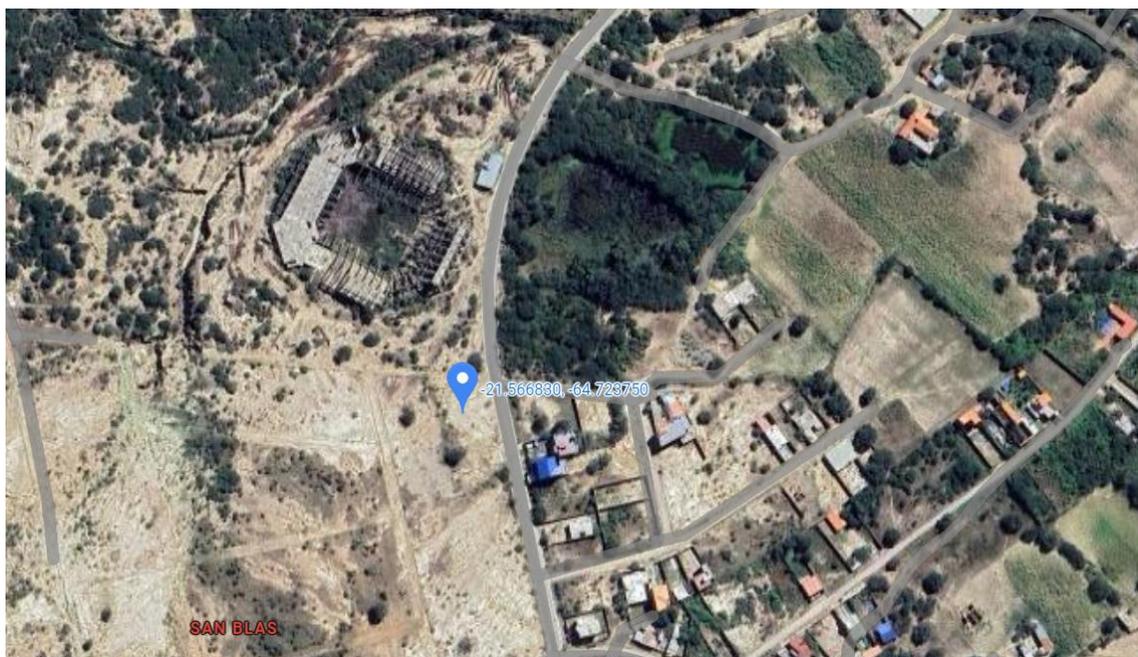
## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Zona de estudio

La zona de estudio se encuentra en una región específica caracterizada por la presencia de suelos limo arcillosos, donde se realizaron las muestras para la **COMPARACIÓN DE MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA LA OBTENCIÓN DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN EN SUELOS LIMO ARCILLOSOS**, que está ubicado, En el barrio de San Blas en la zona oeste de la ciudad de Tarija y se extiende a través de 600 hectáreas de lo que antes eran terrenos comunales y de pastoreo, por lo que la zona luce aún como área rural en la mayor parte del barrio con algunas zonas pobladas, las coordenadas del lugar donde se extrae el suelo para el estudio son: latitud: 21°34'00.8"S; longitud: 64°43'25.7"W

Figura 3.1.1 ubicación del (Barrio San Blas de la ciudad de Tarija)



Fuente: Elaboración propia.

## **3.2 Unidades de estudio y decisión muestral**

Las unidades de estudio que se presentara a continuación del presente proyecto de grado son los siguientes:

### **3.2.1 Unidad de estudio**

Para llevar a cabo un estudio comparativo sobre métodos alternativos para la obtención del límite de contracción en suelos limo arcillosos utilizando mercurio, parafina, glicerina y aceite sucio, se deben considerar varias unidades de estudio y parámetros relevantes. Aquí se describen las unidades de estudio y los pasos clave para realizar una comparación exhaustiva: Corresponde al método de ensayo de límite de Contracción.

- **Suelos limo arcillosos:**
  - **Características Físicas:** Textura, color, densidad aparente, densidad de partículas.
  - **Plasticidad:** Límites de Atterberg (límites líquidos, plástico y de contracción).
- **Métodos de Determinación del Límite de Contracción:**

#### **Con Mercurio:**

- Procedimiento de prueba (INV E – 127 – 13 estándar).
- Volumen inicial y final del suelo.
- Precauciones de seguridad y manejo de mercurio.

#### **Con Parafina:**

- Recubrimiento del suelo con parafina para medir el volumen desplazado en agua.
- Comparación de exactitud con el método de mercurio.

#### **Con Glicerina:**

- Uso de glicerina como fluido no tóxico para medir el volumen desplazado.
- Ventajas y desventajas en comparación con mercurio y parafina.

### **Con Aceite Sucio:**

- Evaluación de la eficiencia del aceite usado para determinar el volumen del suelo.
- Comparación de costos y practicidad frente a otros métodos.

### **3.2.2 Población**

Es un estudio comparativo de métodos alternativos para la obtención del límite de contracción en suelos limo arcillosos se define por las características del suelo y las técnicas que se desean evaluar. El tipo de suelo de limo arcilloso, que contiene una mezcla de limo y arcilla con propiedades plásticas. En su origen geográfico los suelos recolectados de diversas localizaciones para garantizar representatividad y variabilidad en las propiedades del suelo.

La cantidad de muestras es el número suficiente de muestras para asegurar la significancia estadística de los resultados.

### **3.2.3 Muestra**

Para llevar a cabo una comparación efectiva de métodos alternativos para la obtención del límite de contracción en suelos limo arcillosos utilizando mercurio, parafina, glicerina y aceite sucio, definimos claramente la muestra del estudio del suelo obtenido del lugar donde se encontró con las características y propiedades mecánicas de limo arcillosos. La muestra es representativa y permitir una evaluación precisa por cada método de límite de contracción tradicional y los alternativos. A si mismo medimos el suelo y registramos el volumen inicial y el volumen final para obtener la comparación de límites de contracción

### **3.3 Selección de las técnicas de muestreo**

El muestreo realizado por el número de métodos es no probabilístico por conveniencia de muestreo, esto debido a las condiciones de equipos y materiales existentes en el laboratorio. La selección de técnicas de muestreo es crucial para asegurar que las muestras de suelos limo arcillosos sean representativas y permitan una comparación precisa de los métodos alternativos para la obtención del límite de contracción.

### **3.4 Métodos y técnicas empleadas**

La comparación de métodos alternativos para la obtención del límite de contracción en suelos limo arcillosos utilizando mercurio, parafina, glicerina y aceite sucio implica una serie de procedimientos específicos para cada fluido, así como una metodología general para la recolección y preparación de muestras.

La aplicación sistemática y rigurosa de estos métodos permitirá evaluar la precisión, seguridad, costo y practicidad de cada técnica, proporcionando una base sólida para recomendar el método más adecuado para diferentes contextos de uso.

Los métodos se definen en dos partes, métodos empíricos y métodos teóricos; y por técnicas se dividen en investigación bibliográfica y de campo, lo cual se presenta en los siguientes puntos:

### **3.5 Procesamiento de la información**

El procesamiento de la información en la comparación de métodos alternativos para la obtención del límite de contracción en suelos limo arcillosos implica una serie de pasos rigurosos y sistemáticos. Al utilizar técnicas adecuadas de recolección, organización, análisis estadístico y visualización de datos, se puede evaluar la precisión, seguridad y costo de cada método, proporcionando una base sólida para decisiones informadas y recomendaciones prácticas.

La determinación del nivel de confiabilidad está a base de un análisis estadístico, comparativo.

### **3.6 Características físicas del suelo**

Para comparar métodos alternativos para la obtención del límite de contracción en suelos limo arcillosos utilizando mercurio, parafina, glicerina y aceite sucio, es fundamental considerar las características físicas del suelo. Estas características afectan directamente el comportamiento del suelo y, por lo tanto, la medición del límite de contracción. A continuación, se describen las principales características físicas del suelo que deben considerarse:

### **Granulometría**

- Contenido de Limo: Proporción de partículas con tamaños entre 0.002 mm y 0.05 mm.
- Contenido de Arcilla: Proporción de partículas menores de 0.002 mm.
- Contenido de Arena: Proporción de partículas entre 0.05 mm y 2 mm.
- Análisis: Se realiza un análisis granulométrico mediante tamizado y sedimentación para determinar la distribución de tamaños de las partículas del suelo.

### **Contenido de Humedad**

- Contenido de Humedad Natural: Es la proporción de agua en el suelo en su estado natural, medida como el peso del agua dividido por el peso de las partículas sólidas del suelo.
- Importancia: El contenido de humedad afecta directamente la cohesión y plasticidad del suelo, lo que influye en el comportamiento de contracción.

### **Índice de Plasticidad (IP)**

- Definición: Diferencia entre el límite líquido y el límite plástico ( $IP = LL - LP$ ).
- Importancia: El índice de plasticidad indica la plasticidad del suelo y su capacidad de deformarse sin romperse. Suelos con alto IP son más plásticos y tienen mayor capacidad de contracción.

### 3.7 Tamaño de la muestra

Nivel de confianza

Tabla 3.7.1 Nivel de Confianza.

nivel de confianza %	valor del nivel de confianza Z
50	0,574
80	1,280
85	1,444
90	1,640
95	1,960
99	2,680

Fuente: Elaboración propia.

Ecuación 1. Tamaño de la Muestra.

$$n = \frac{\sum Ni * \sigma^2}{Ni * \left(\frac{e}{z}\right)^2 + \frac{\sum Ni * \sigma^2}{N}}$$

$$e = 0.05 \%$$

$$n = \frac{93.6}{630 * \left(\frac{0.05}{1.96}\right)^2 + \left(\frac{93.6}{630}\right)}$$

$$n = 168 \text{ Ensayos}$$

Tabla 3.7.2 Estadístico de números de ensayo

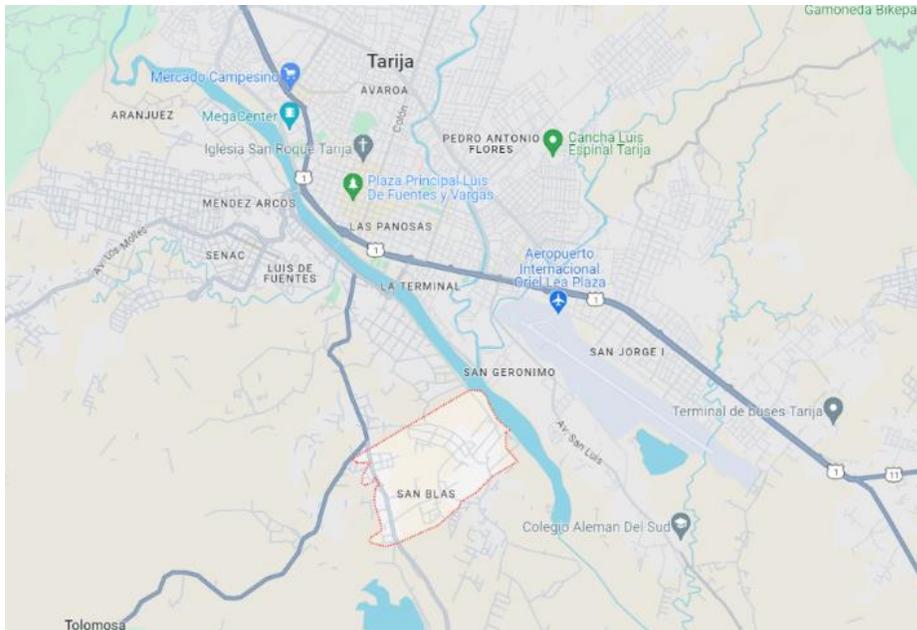
Ensayos	cantidad (Ni)	$\sigma^2$	$Ni*\sigma^2$	fi	ni	Valor adop.
Granulometría de suelo	6.00	0.15	0.90	0.01	1.60	2.00
limite liquido	6.00	0.15	0.90	0.01	1.60	2.00
limite plastico	6.00	0.15	0.90	0.01	1.60	2.00
indice de plasticidad	6.00	0.15	0.90	0.01	1.60	2.00
densidad	6.00	0.15	0.90	0.01	1.60	2.00
Mercurio						
Relacion de Contraccion	30.00	0.15	4.50	0.05	7.98	9.00
Contraccion volumetrica	30.00	0.15	4.50	0.05	7.98	9.00
Contraccion lineal	30.00	0.15	4.50	0.05	7.98	9.00
Limite de contraccion	30.00	0.15	4.50	0.05	7.98	9.00
Indice de contraccion	30.00	0.15	4.50	0.05	7.98	9.00
Parafina						
Relacion de Contraccion	30.00	0.15	4.50	0.05	7.98	9.00
Contraccion volumetrica	30.00	0.15	4.50	0.05	7.98	9.00
Contraccion lineal	30.00	0.15	4.50	0.05	7.98	9.00
Limite de contraccion	30.00	0.15	4.50	0.05	7.98	9.00
Indice de contraccion	30.00	0.15	4.50	0.05	7.98	9.00
Glicerina						
Relacion de Contraccion	30.00	0.15	4.50	0.05	7.98	9.00
Contraccion volumetrica	30.00	0.15	4.50	0.05	7.98	9.00
Contraccion lineal	30.00	0.15	4.50	0.05	7.98	9.00
Limite de contraccion	30.00	0.15	4.50	0.05	7.98	9.00
Indice de contraccion	30.00	0.15	4.50	0.05	7.98	9.00
Aceite sucio						
Relacion de Contraccion	30.00	0.15	4.50	0.05	7.98	9.00
Contraccion volumetrica	30.00	0.15	4.50	0.05	7.98	9.00
Contraccion lineal	30.00	0.15	4.50	0.05	7.98	9.00
Limite de contraccion	30.00	0.15	4.50	0.05	7.98	9.00
Indice de contraccion	30.00	0.15	4.50	0.05	7.98	9.00
<b>TOTALES</b>	<b>630.00</b>		<b>93.60</b>			<b>188.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 3.8 Ubicación del punto de muestreo

Se selecciono el lugar de san Blas ya que es una zona que cuenta con este tipo de suelos necesario para el estudio, se hizo una selección adecuada de los puntos de muestreo asegura que las muestras de suelo recolectadas sean representativas y proporcionen resultados fiables y comparables.

Figura 3.8.1 Ubicación del punto del suelo.



Fuente: Elaboración propia.

Se realizó la extracción del suelo limo arcilloso mediante técnica de cuarteo de suelos para poder obtener una muestra representativa del mismo, se extrae una muestra del suelo limo arcilloso con variaciones en contenido de humedad y mayor densidad aparente. con la herramienta de una pala, y se recolectó una cantidad necesaria del suelo para realizar las pruebas necesarias para la comparación de métodos alternativos para la obtención del límite de contracción en suelos limo arcillosos. Una selección adecuada basada en criterios de representatividad, accesibilidad y minimización del impacto ambiental asegura que las muestras recolectadas proporcionen resultados fiables y comparables. Este enfoque permite una evaluación justa de los métodos alternativos (mercurio, parafina, glicerina y aceite sucio) en diversas condiciones de suelo.

### 3.9 Análisis granulométrico por método de lavado N°200 (ASTM D422)

Este método se usa para suelos finos, pesamos la muestra seca y registramos este peso como el peso inicial.

Figura 3.9.1 muestra del suelo.



Fuente: Elaboración propia

Colocamos la muestra de suelo en el recipiente de lavado añadimos agua suficiente para cubrir la muestra, agitamos la muestra para desintegrar las partículas finas adheridas a las más gruesas. Se realiza el lavado del suelo por el tamiz (N°200), y dejamos secar en el horno por 24 horas.

Figura 3.9.2 lavado del suelo y secado.



Fuente: Elaboración propia

Una vez secado el material limo arcilloso en el horno se realiza el tamizado, registramos los datos del material retenido en cada tamiz.

Figura 3.9.3 Tamices para ensayos de granulometría



Fuente: Elaboración propia

Antes de iniciar un estudio detallado acerca de las propiedades físicas y comportamiento de cualquier tipo de suelo es necesario clasificarlo. En este proyecto el material estudiado fue extraído de un sector que tiene el suelo limo arcilloso, con este se realizaron dos ensayos de granulometría por tamizado con lavado por la malla N° 200 de acuerdo con lo establecido en la norma, para luego clasificarse según el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS). Además de la distribución de tamaño de partículas también se requiere conocer su plasticidad.

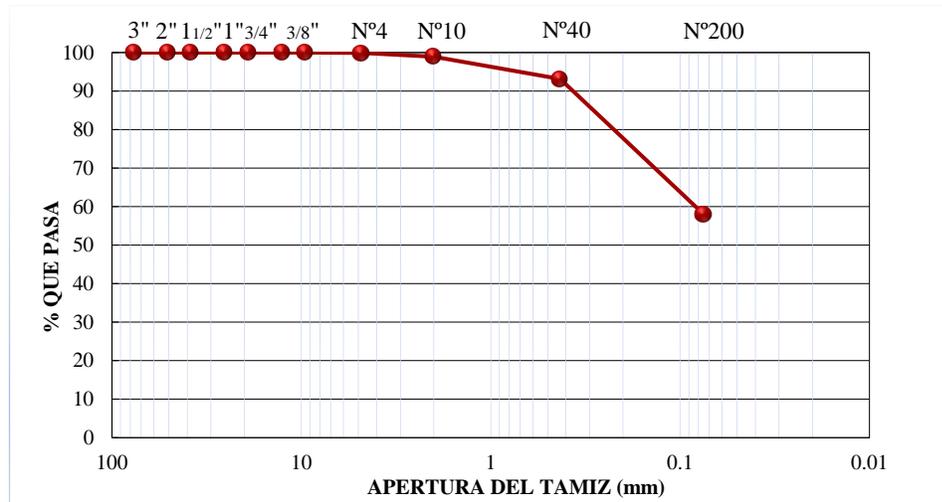
Las tablas 3.9.1 y 3.9.2 muestran los resultados obtenidos para los dos ensayos de granulometría, al igual que las gráficas 3.9.1 y 3.9.2 las curvas granulométricas respectivas a cada uno de estos.

Tabla 3.9.1 Distribución granulométrica del ensayo N°1

Peso Total (gr.)		500		A.S.T.M.	
Tamices	Tamaño	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% Que Pasa
		(gr)	(gr)		
3"	76,2	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>
2"	50,8	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>
1 1/2"	38,1	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>
3/4"	19,05	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>
1/2"	12,5	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>
3/8"	9,5	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>
N°4	4,8	0,32	0,32	0,06	<b>99,94</b>
N°10	2	5,06	5,38	1,08	<b>98,92</b>
N°40	0,43	29,06	34,44	6,89	<b>93,11</b>
N°200	0,075	275,51	309,95	61,99	<b>38,01</b>

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.9.1 Curva granulométrica del ensayo N°1



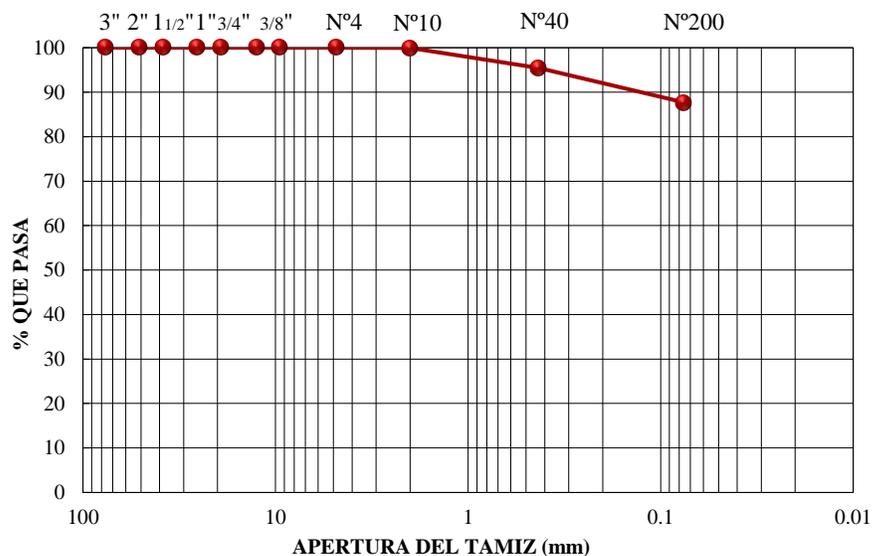
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.9.2 Distribución granulométrica del ensayo N°2

Peso Total (gr.)		2000		A.S.T.M.	
Tamices	Tamaño	Peso Ret. (gr)	Ret. Acum (gr)	% Ret	% Que Pasa
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.1	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.5	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	4.8	0.00	0.00	0.00	100.00
N°10	2	0.76	0.76	0.04	99.96
N°40	0.43	90	90.76	4.54	95.46
N°200	0.075	155.9	246.66	12.33	87.67
		190.05			
		436.71			

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.9.2 Curva granulométrica del ensayo N°2



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en la tabla 3.9.3 se presenta el resumen de resultados de los dos ensayos de distribución granulométrica realizados, de estos ensayos se puede deducir que el suelo estudiado es de tipo fino, ya que en la totalidad de los ensayos el porcentaje de material que pasó la malla N°200 es mayor al 50% del total de la muestra

Tabla 3.9.3 Resumen de los ensayos de granulometría

Suelo	Ensayo 1	Ensayo 2	Promedio
Grava %	0.06	0	0.032
arena %	7.96	4.58	6.272
finos %	61.99	16.87	39.43

Fuente: Elaboración propia.

### 3.10 Límites de Atterberg

Posterior a la realización de ensayos de granulometría, de los cuales se obtuvo como resultado la categorización del material estudiado como fino, se continuó la clasificación del suelo realizando dos ensayos de límite líquido y límite plástico, de acuerdo a lo establecido por las normas INV E-125-13 y INV E-126-13 respectivamente.

#### 3.10.1 Determinación del límite líquido

El límite líquido (LL) es uno de los parámetros más importantes en la clasificación de suelos finos, especialmente para suelos limo-arcillosos. Representa el contenido de agua al cual el suelo cambia de un estado plástico a un estado líquido. La determinación del LL se realiza mediante métodos estandarizados, siendo los más comunes el método de la copa de Casagrande.

##### 3.10.1.1 Método de la Copa de Casagrande

Este es el método tradicional y más comúnmente utilizado para determinar el LL.

- **Recolección y Preparación de la muestra:** Obtener una muestra representativa del suelo y dejar que se seque al aire.

Tamizar la muestra a través de un tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (N° 40) para eliminar las partículas grandes. Mezclar el suelo tamizado con agua destilada hasta obtener una pasta homogénea.

La consistencia debe ser tal que la muestra fluya lentamente cuando se coloca en la copa de Casagrande.

- **Llenado de la copa de Casagrande:** Colocar una porción de la muestra de suelo en la copa de Casagrande, alisándola con la espátula hasta obtener una superficie plana. Usar la cuchilla de corte para dividir la muestra de suelo a lo largo del centro, creando una ranura en forma de "V" de 2 mm de ancho en el fondo y 11 mm de ancho en la parte superior. La cuchilla debe hacer un ángulo de 45 grados. Girar la manivela del dispositivo de Casagrande a una velocidad de aproximadamente dos golpes por segundo. Contar el número de golpes necesarios para cerrar la ranura en una longitud de 12.7 mm (1/2 pulgada).
- **Registro de datos:** Se registran el contenido de agua y el número de golpes necesarios para cerrar la ranura, Tomar una porción de suelo de la muestra después de haber cerrado la ranura y colocarla en un recipiente para determinar el contenido de humedad. Secar la muestra en un horno a 105-110°C hasta obtener un peso constante. Pesar la muestra seca y calcular el contenido de humedad.

Figura 3.10.1 Numero de golpes en la Copa de casa grande.



Fuente: Elaboración propia.

- **Construcción de la curva de flujo:** Repetir el ensayo para obtener un rango de números de golpes, generalmente entre 15 y 35 golpes. Se repite el procedimiento con diferente contenido de agua para obtener al menos tres puntos. Y se Grafica el contenido de humedad en el eje y contra el número de golpes en una escala logarítmica en el eje x. Dibujar la línea de mejor ajuste a través de los puntos de datos.
- **Determinación del LL:** El LL es el contenido de agua correspondiente a 25 golpes, determinado a partir de la curva de flujo.

LL=Contenido de humedad en el cual la muestra cierra la ranura con 25 golpes

Figura 3.10.2 Contenido de humedad de la muestra ensayada.



Fuente: Elaboración propia.

En las tablas 3.10.1 y 3.10.2 se pueden apreciar los resultados obtenidos de los ensayos mencionados anteriormente. Así mismo en las gráficas 3.10.1 y 3.10.2 se muestran las determinaciones del límite líquido en cada uno de los ensayos realizados, indicando la ecuación de ajuste para el hallazgo del porcentaje de contenido de humedad para 25 golpes.

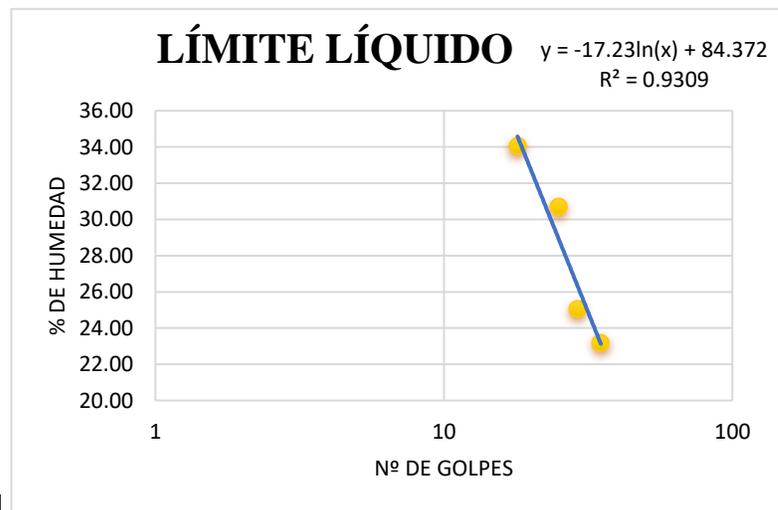
## Determinación de Límite Líquido

Tabla 3.10.1 Límite líquido del ensayo N°1

Capsula N°	1	2	3	4
N° de golpes	18	25	29	35
Suelo Húmedo + Cápsula	31.66	28.61	27.29	26.53
Suelo Seco + Cápsula	27.41	25.38	25.56	24.31
Peso del agua	4.25	3.23	1.73	2.22
Peso de la Cápsula	14.93	14.86	18.65	14.74
Peso Suelo seco	12.48	10.52	6.91	9.57
Porcentaje de Humedad	34.05	30.70	25.04	23.20

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.10.1 Determinación del límite líquido del ensayo N°1



Límite Líquido (LL)	<b>29</b>
Límite Plástico (LP)	<b>22</b>
Índice de plasticidad (IP)	<b>7</b>
Índice de Grupo (IG)	<b>1</b>

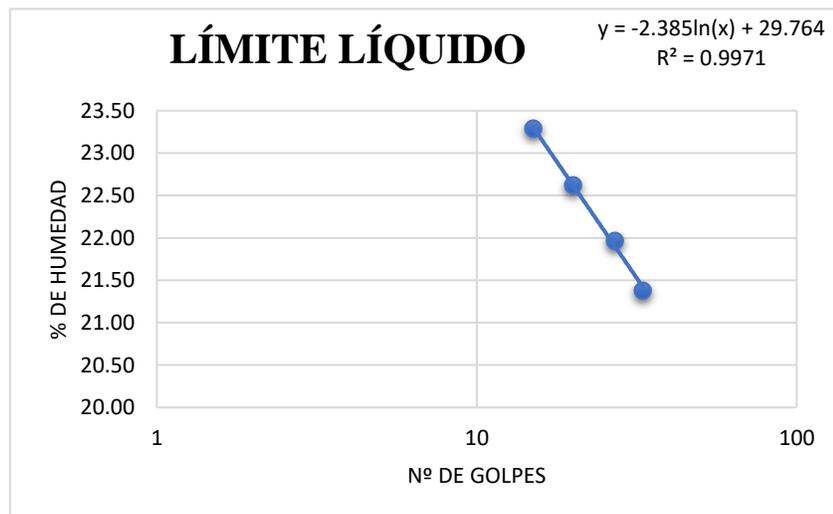
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.10.2 Limite liquido del ensayo N°2

Capsula N°	1	2	3	4
N° de golpes	15	20	27	33
Suelo Húmedo + Cápsula	56.10	63.79	60.98	61.68
Suelo Seco + Cápsula	47.94	54.49	51.89	53.03
Peso del agua	8.16	9.30	9.09	8.65
Peso de la Cápsula	12.9	13.38	10.50	12.57
Peso Suelo seco	35.04	41.11	41.39	40.46
Porcentaje de Humedad	23.29	22.62	21.96	21.38

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.10.2 Determinación del límite líquido del ensayo N°2



Fuente: Elaboración propia.

Límite Líquido (LL)	<b>22</b>
Límite Plástico (LP)	<b>15</b>
Índice de plasticidad (IP)	<b>7</b>
Índice de Grupo (IG)	<b>8</b>

### 3.10.2 Determinación del límite plástico

El límite plástico (LP) es el contenido de agua en el cual un suelo pasa del estado plástico al semisólido. La determinación del LP es fundamental para la clasificación de suelos finos y se realiza mediante un procedimiento específico. se describe el método para determinar el límite plástico:

- a) El suelo se comporta plásticamente, es decir, se puede moldear y deformar sin exhibir propiedades elásticas, cambios de volumen o agrietamiento.
- b) El límite plástico se determina mediante la formación de pequeños cilindros en la palma de la mano sobre una superficie lisa de unos 3 mm de diámetro de 25-30mm de longitud. En el momento en el que los pequeños elipsoides se cuartean en trozos de aproximadamente 6 mm se ha alcanzado la humedad del límite plástico.
- c) Pese el recipiente con la muestra de suelo y anote el peso (peso húmedo).  
Seque la muestra en un horno a 105-110°C hasta peso constante. Pese la muestra seca y anote el peso (peso seco). Calcule el contenido de agua utilizando la fórmula

Figura 3.10.3 Método de los rollitos de 3 mm.



Fuente: Elaboración propia.

- d) Se debe realizar la clasificación del suelo de limite líquido y limite plástico de acuerdo a lo establecido por las respectivas.

e) Se ve los resultados obtenidos de los ensayos mencionados anteriormente. Así mismo en las gráficas se muestran las determinaciones del límite líquido en cada uno de los ensayos realizados, indicando la ecuación de ajuste para el hallazgo del porcentaje de contenido de humedad.

En las tablas 3.10.3 y 3.10.4 se pueden apreciar los resultados obtenidos de los ensayos mencionados anteriormente.

Tabla 3.10.3 Limite plástico del ensayo N°1

Cápsula	1	2	3
Peso de suelo húmedo + Cápsula	21.64	20.17	19.87
Peso de suelo seco + Cápsula	21.04	19.58	19.33
Peso de cápsula	18.34	16.98	16.88
Peso de suelo seco	2.70	2.60	2.45
Peso del agua	0.60	0.59	0.54
Contenido de humedad	22.22	22.69	22.04

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.10.4 Limite plástico del ensayo N°2

Cápsula	1	2	3
Peso de suelo húmedo + Cápsula	15.42	17.54	18.46
Peso de suelo seco + Cápsula	15.02	17.10	18.01
Peso de cápsula	12.31	14.12	14.95
Peso de suelo seco	2.71	2.98	3.06
Peso del agua	0.40	0.44	0.45
Contenido de humedad	14.76	14.77	14.71

Fuente: Elaboración propia.

### 3.11 Clasificación

Conociendo el límite líquido e índice de plasticidad de cada ensayo es posible clasificar al suelo con la ayuda la carta de plasticidad de Casagrande, conociendo el contenido de humedad que está en la tabla 3.11.1 y 3.11.2 del suelo y teniendo los resultados se realizó la clasificación mediante normativa ASSTHO y SUCS.

Tabla 3.11.1 Resultados de clasificación N°1

<b>HUMEDAD NATURAL</b>			
Cápsula	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso de suelo húmedo + Cápsula (gr)	99.60	83.80	82.00
Peso de suelo seco + Cápsula (gr)	92.20	78.10	76.30
Peso de cápsula (gr)	12.80	12.70	12.10
Peso de suelo seco (gr)	79.40	65.40	64.20
Peso del agua (gr)	7.40	5.70	5.70
Contenido de humedad (%)	9.32	8.72	8.88
PROMEDIO	<b>8.97</b>		

<b>CLASIFICACIÓN DEL SUELO</b>	<b>AASHTO: A-4(1)</b>
	<b>SUCS: CL-ML</b>
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Arcilla limosa de baja plasticidad.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.11.2 Resultados de clasificación N°2

<b>HUMEDAD NATURAL</b>			
Cápsula	1	2	3
Peso de suelo húmedo + Cápsula (gr)	139.07	128.06	134.70
Peso de suelo seco + Cápsula (gr)	132.24	121.84	128.16
Peso de cápsula (gr)	12.18	13.20	12.76
Peso de suelo seco (gr)	120.06	108.64	115.40
Peso del agua (gr)	6.83	6.22	6.54
Contenido de humedad (%)	5.69	5.73	5.67
PROMEDIO	5.69		

<b>CLASIFICACIÓN DEL SUELO</b>	<b>AASHTO: A-4(1)</b>
	<b>SUCS: CL-ML</b>
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Arcilla limosa de baja plasticidad.

Fuente: Elaboración propia.

### **3.12 Límite de contracción**

Para conocer el contenido de agua en el que el suelo estudiado no presentará un cambio en su volumen, se realizan ensayos de límite de contracción, siguiendo los lineamientos exigidos por la norma INV E-127-13. En busca de evaluar la viabilidad de remplazar por parafina, glicerina y/o aceite como métodos alternos al mercurio utilizado en el método tradicional, se realizaron 15 ensayos utilizando cada fluido, para un total de 60 ensayos.

#### **3.12.1 Determinación del límite de contracción con mercurio (INV E – 127 – 13)**

La determinación del límite de contracción de suelos limo arcillosos, utilizando mercurio es un método clásico en la mecánica de suelos. Este método implica la medición del volumen de una muestra de suelo seco y la utilización de mercurio para determinar su volumen exacto.

De una porción de material completamente mezclado que pase el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40) se toma una muestra que pese aproximadamente 30g, de acuerdo con los procedimientos descritos en la norma INV E-106 o en la norma INV E-107.

#### **Procedimiento**

- a) Recubrir el interior del molde con una capa delgada de lubricante (por ejemplo, vaselina o aceite de silicón), para prevenir la adherencia del suelo al molde.
- b) Colocar una porción de suelo húmedo de aproximadamente un tercio de la capacidad del molde en el centro de éste y extiéndalo hasta los bordes, golpeando el molde contra una superficie firme, hacemos el mismo procedimiento hasta llenar el molde.
- c) Inmediatamente después de enrasado, pese el molde con el suelo compactado; restar la masa del molde determinando la masa de suelo húmedo (mh).
- d) Secar al aire libre mediante unas horas y luego ponemos al horno a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ .

Figura 3.12.1 Suelo para límite de contracción seco en horno.



Fuente: Elaboración propia.

Pesar el molde con el suelo seco y reste la masa del molde, determinando la masa de suelo seco (ms).

### 3.12.2 Determinar el volumen de la pastilla de suelo seco

- a) Llenar la taza con mercurio hasta que desborde; enrase presionando con la placa de vidrio y limpie los restos de mercurio adheridos al exterior de la taza.

Figura 3. 1. Procedimiento del enrazado con mercurio



Fuente: Elaboración propia.

- b) Colocar la taza llena de mercurio sobre el plato de evaporación, coloque el trozo de suelo sobre la superficie del mercurio y sumergirlo cuidadosamente mediante las puntas de la placa de vidrio hasta que ésta tope firmemente contra el borde de la taza (es esencial que no quede aire atrapado bajo el trozo de suelo ni bajo la placa de vidrio).

Figura 3.12.2 Suelo sobre el mercurio, sumergido mediante la placa de vidrio



Fuente: Elaboración propia.

- c) Medir el volumen de mercurio desplazado por el trozo de suelo por pesada y divídalo por la densidad del mercurio ( $d = 13,55 \text{ g/cm}^3$ ); registrar como volumen del trozo de suelo seco ( $V_s$ ).

Figura 3.12.3 Determinación del volumen del suelo seco



Fuente: Elaboración propia.

## Cálculos

Se calcula la masa húmeda del suelo en el momento en que éste fue colocado en el recipiente para contracción (M):

$$M = M_w - M_t$$

$$M = 49.24 - 22.94$$

$$M = 26.3 \text{ gr}$$

Se calcula la masa de la pastilla de suelo seco ( $M_0$ )

$$M_o = M_D - M_T$$

$$M_o = 42.88 - 22.94$$

$$M_o = 19.94 \text{ gr}$$

Calcule la humedad del suelo en el momento en que fue moldeado de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 0,1%.

$$W = \frac{M - M_0}{M_0} * 100$$

$$W = \frac{6.36 - 19.94}{19.94} * 100$$

$$W = 31.90\%$$

Se calcula el límite de contracción (LC), como un contenido de agua en relación con la masa de suelo seco, con la expresión:

$$LC = w - \left( \frac{(V - V_0) * \rho_w}{M_0} \right) * 100$$

$$LC = 31.90 - \left( \frac{((14.68 - 13.18) * 0.99849)}{19.94} \right) * 100$$

$$LC = 24.38$$

En las tablas 3.12.1, 3.12.2, 3.12.3, se muestran los resultados obtenidos de la determinación del contenido de humedad con mercurio, volúmenes del suelo con mercurio, factores de contracción con mercurio y a la vez los límites de contracción, relación de contracción y gravedad específica evaluados en el método tradicional (mercurio).

Tabla 3.12.1 Determinación del contenido de humedad con mercurio

<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD</b>				
N° de Molde		1	2	3
Peso del Molde	gr	22.94	23.52	23.14
Peso del molde + Suelo húmedo	gr	49.24	51.3	52
Peso del molde + Suelo seco	gr	42.88	44.95	45.32
Peso del agua	gr	6.36	6.35	6.68
Peso del suelo húmedo	gr	26.3	27.78	28.86
Peso suelo seco	gr	19.94	21.43	22.18
% Humedad	%	31.90	29.63	30.12

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.12.2 Volúmenes del suelo con mercurio

<b>DETERMINACIÓN DE VOLUMENES DE SUELO</b>						
Densidad Mercurio (Hg)		g/cm <sup>3</sup>	$\rho_{H2O}$	13.55	13.55	13.55
Suelo húmedo	Peso Mercurio (Hg)	gr	PHg	198.87	196.3	196
	Volumen del Mercurio (Hg) = Volumen del suelo húmedo	cm <sup>3</sup>	Vh	14.68	14.49	14.46
Suelo Seco	Peso del Mercurio (Hg) desplazado	gr	PHgd	178.54	181.46	181.98
	Volumen del Mercurio (Hg) desplazado = Volumen del suelo seco	cm <sup>3</sup>	Vs	13.18	13.39	13.43

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.12.3 Factores de Contracción con mercurio

**DETERMINACIÓN DE FACTORES DE CONTRACCIÓN**

Temperatura del agua °C	T	19	19	19
Densidad del agua g/cm <sup>3</sup>	$\rho_{H2O}$	<b>0.99849</b>	<b>0.99849</b>	<b>0.99849</b>
Límite de contracción	LC	24.38	24.53	25.46
Límite de contracción (Promedio)		24.79		
Relación de contracción	RC	1.51	1.60	1.65
Relación de contracción (Promedio)		1.59		
Contracción Volumétrica	CV	11.37	8.17	7.69
Contracción Volumétrica (Promedio)		9.08		
Contracción Lineal	CL	3.53	2.58	2.44
Contracción Lineal (Promedio)		2.85		
Índice de Contracción	IC	1.51	1.60	1.65
Índice de Contracción (Promedio)		1.59		

Fuente: Elaboración propia.

**3.13 Límite de contracción con aceite sucio**

La determinación del límite de contracción de suelos utilizando aceite sucio es otro método alternativo que emplea una sustancia menos costosa y fácilmente disponible.

**3.13.1 Acondicionamiento de la muestra de ensayo**

Con el ensayo de aceite sucio es el mismo método del mercurio, se realizan los ensayos de **límite de contracción** de acuerdo con lo establecido con la **norma I.N.V.E -127-13**

Figura 3.13.1 Límite de contracción con aceite sucio



Fuente: Elaboración propia.

### 3.14 Determinación de volúmenes secos con aceite sucio

#### Materiales y Equipos

- a) **Muestra de suelo:** Limo arcilloso preparado y seco.
- b) **Balanza de precisión:** Para pesar la muestra de suelo.
- c) **Picnómetro o recipiente calibrado:** Para medir el volumen.
- d) **Aceite sucio:** Para medir el volumen del suelo seco.
- e) **Espátula:** Para manejar la muestra de suelo.
- f) **Desecador:** Para mantener la muestra seca.
- g) **Cilindro graduado o pipeta:** Para medir el aceite sucio.
- h) **Guantes y gafas de seguridad:** Para protección personal.

#### Procedimiento

Preparación de la Muestra: Seque la muestra de suelo en un horno a una temperatura de 105-110°C hasta peso constante.

Deje que la muestra se enfríe en un desecador. Medición de la Masa del Suelo Seco: Pese la muestra seca usando una balanza de precisión y registre el peso ( $W_s$ ).

Determinación del Volumen del Suelo Seco con Aceite Sucio: Llene un picnómetro o recipiente calibrado con aceite sucio y registre su volumen inicial ( $V_i$ ).

Introduzca cuidadosamente la muestra de suelo seco en el aceite sucio, asegurándose de evitar la formación de burbujas de aire.

Mida el nuevo volumen de aceite sucio con la muestra de suelo ( $V_f$ ).

Cálculo del Volumen del Suelo Seco:

## Cálculos

Se calcula la masa húmeda del suelo en el momento en que éste fue colocado en el recipiente para contracción (M):

$$M = M_w - M_t$$

$$M = 49.81 - 21.56$$

$$M = 28.25 \text{ gr}$$

Se calcula la masa de la pastilla de suelo seco ( $M_0$ )

$$M_o = M_D - M_T$$

$$M_o = 43 - 21.56$$

$$M_o = 21.44 \text{ gr}$$

Calcule la humedad del suelo en el momento en que fue moldeado de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 0,1%.

$$W = \frac{M - M_0}{M_0} * 100$$

$$W = \frac{28.25 - 21.44}{21.44} * 100$$

$$W = 31.76\%$$

Se calcula el límite de contracción (LC), como un contenido de agua en relación con la masa de suelo seco, con la expresión:

$$LC = w - \left( \frac{(V - V_0) * \rho_w}{M_0} \right) * 100$$

$$LC = 31.76 - \left( \frac{(21.24 - 20.33) * 0.99849}{21.44} \right) * 100$$

$$LC = 27.52$$

En las tablas 3.14.1, 3.14.2, 3.14.3, se muestran los resultados obtenidos de la determinación del contenido de humedad con aceite sucio, volúmenes del suelo, factores de contracción con aceite sucio y a la vez los límites de contracción, relación de contracción y gravedad específica evaluados en el método alternativo (aceite sucio).

Tabla 3.14.1 Contenido de humedad

<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD</b>				
N° de Molde		1	2	3
Peso del molde	g	21.56	23.5	22.31
Peso del molde + Suelo húmedo	g	49.81	50.63	51.85
Peso del molde + Suelo seco	g	43	44.95	45.32
Peso del agua	g	6.81	5.68	6.53
Peso del suelo húmedo	g	28.25	27.13	29.54
Peso suelo seco	g	21.44	21.45	23.01
% Humedad	%	31.76	26.48	28.38

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.14.2 Volúmenes de suelo con aceite sucio

<b>DETERMINACIÓN DE VOLUMENES DE SUELO</b>						
Densidad Aceite		g/cm <sup>3</sup>	$\rho Hg$	<b>0.9</b>	<b>0.9</b>	<b>0.9</b>
Suelo húmedo	Peso Aceite	g	PHg	19.12	19.35	20.45
	Volumen del Aceite = Volumen del suelo húmedo	cm <sup>3</sup>	Vh	21.24	21.50	22.72
Suelo Seco	Peso del aceite desplazado	g	PHgd	18.3	18.65	19.21
	Volumen del aceite desplazado = Volumen del suelo seco	cm <sup>3</sup>	Vs	20.33	20.72	21.34

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.14.3 Factores de contracción con aceite sucio

**DETERMINACIÓN DE FACTORES DE CONTRACCIÓN**

Temperatura del agua	°C	T	19	19	19
Densidad del agua	g/cm <sup>3</sup>	$\rho_{H2O}$	<b>0.99849</b>	<b>0.99849</b>	<b>0.99849</b>
Límite de contracción		LC	27.52	22.86	22.40
Límite de contracción (Promedio)			24.26		
Relación de contracción		RC	1.05	1.04	1.08
Relación de contracción (Promedio)			1.06		
Contracción Volumétrica		CV	4.47	3.75	6.45
Contracción Volumétrica (Promedio)			4.89		
Contracción Lineal		CL	1.45	1.22	2.06
Contracción Lineal (Promedio)			1.58		
Índice de Contracción		IC	1.05	1.04	1.08
Índice de Contracción (Promedio)			1.06		

Fuente: Elaboración propia.

**3.15 límite de contracción con parafina “INV-E-129-13”**

La determinación del límite de contracción de suelos utilizando parafina es una alternativa comúnmente empleada debido a su menor toxicidad y facilidad de uso en comparación con el mercurio. Este método implica la medición del volumen de una muestra de suelo seco usando parafina fundida para determinar su volumen exacto.

**Procedimiento**

- a) Primero se determina el volumen de un recipiente de contracción. Este volumen es igual al volumen de suelo húmedo. Se debe engrasar con vaselina.
- b) Se anota la masa del recipiente vacío
- c) Se coloca muestra hasta llenar un tercio del recipiente, y se golpea ligeramente para que este llegue a los extremos del recipiente, al golpear el recipiente, se eliminan burbujas de aire en la muestra. Luego se agrega más suelo hasta llenar el recipiente totalmente.
- d) Se pesa el recipiente con suelo húmedo, y se anota su masa.
- e) Se deja secar la pastilla al aire, para evitar agrietamiento del suelo.

Figura 3.15.1 Muestras secas para determinar la masa



Fuente: Elaboración propia.

### **3.15.1 Determinación de volúmenes del suelo seco con parafina**

- a) Saque la muestra de suelo en un horno a una temperatura de 105-110°C hasta peso constante, deje que la muestra se enfríe en un desecador.
- b) Pese la muestra seca usando una balanza de precisión y registre el peso ( $W_s$ ).
- c) Fundir una cantidad suficiente de parafina sólida utilizando un calentador o un baño de agua. La parafina debe estar completamente líquida y sin burbujas de aire.
- d) Sumerja la muestra seca en la parafina fundida hasta que esté completamente cubierta.
- e) Retire la muestra recubierta y deje que la parafina se solidifique, formando una capa uniforme alrededor de la muestra de suelo.
- f) Se puede, usar un hilo de costura, para atar firmemente la muestra de suelo, seco.
- g) Coloque la muestra recubierta de parafina en un recipiente con agua y mida el volumen del agua desplazada. Este volumen corresponde al volumen total de la muestra recubierta de parafina (Volumen total).
- h) Se determina el volumen de parafina utilizada para recubrir la muestra sumergiendo un trozo similar de parafina sólida en agua y midiendo el volumen desplazado (V.parafina).

Figura 3.15.2 Volúmenes secos con parafina



Fuente: Elaboración propia.

### Cálculos

Los cálculos que hay que considerar para el factor de contracción, son los siguientes

#### Masa de la pastilla de suelo seco

$$m_s = m_d - m$$

$$m_s = 42.88 - 22.94$$

$$m_s = 19.94g$$

#### Humedad del suelo en el instante que se colocó en el recipiente

$$w = \frac{m_w - m_d}{m_s} * 100$$

$$w = \frac{49.44 - 42.88}{19.94} * 100$$

$$w = 32.90\%$$

### Volumen de la pastilla de suelo seco envuelto en parafina

$$V_{dx} = \frac{m_{sxa} - m_{sxw}}{\rho_w}$$

$$V_{dx} = \frac{21.99 - 13}{1}$$

$$V_{dx} = 9.00 \text{ cm}^3$$

$\rho_w$  = Densidad del agua, en gr/cm<sup>3</sup>

### Masa de la parafina

$$m_x = m_{sxa} - m_s$$

$$m_x = 21.99 - 19.94$$

$$m_x = 2.05 \text{ g}$$

### Volumen de la parafina

$$V_x = \frac{m_x}{G_x \rho_w} \text{ o } \frac{m_x}{\rho_x}$$

$$V_x = \frac{2.05}{0.96}$$

$$V_x = 2.14 \text{ cm}^3$$

### Volumen de la pastilla de suelo seco

$$V_d = V_{dx} - V_x$$

$$V_d = 21.99 - 13$$

$$V_d = 9 \text{ cm}^3$$

**Límite de contracción (LC), como un contenido de agua en relación con la masa de suelo seco, con la expresión:**

$$LC = w - \left( \frac{(V - V_d)\rho_w}{m_s} \right) * 100$$

$$LC = 32.90 - \left( \frac{(9.58 - 9)1}{19.94} \right) * 100$$

$$LC = 30.01$$

**Relación de contracción**

$$R = \left( \frac{m_s}{V_d * \rho_w} \right)$$

$$R = \left( \frac{19.94}{9 * 1} \right)$$

$$R = 2.22$$

**Cambio volumétrico**

$$CV = (w_1 - LC) * R$$

$$CV = (32.90 - 30.01) * 2.22$$

$$CV = 6.40$$

**Contracción lineal**

$$CL = 100 \left[ 1 - \sqrt[3]{\frac{100}{100 + CV}} \right]$$

$$CL = 100 \left[ 1 - \sqrt[3]{\frac{100}{100 + 6.40}} \right]$$

$$CL = 2.05$$

En las tablas 3.15.1, 3.15.2, 3.15.3, se muestran los resultados obtenidos de la determinación del contenido de humedad con parafina, volúmenes del suelo con parafina, factores de contracción con parafina y a la vez los límites de contracción, relación de contracción y gravedad específica evaluados en el método alternativo (parafina).

Tabla 3.15.1 Determinación del contenido de humedad

N° de Molde		1	2	3
Peso del molde	gr	22.94	24.13	24.41
Peso del molde + Suelo húmedo	gr	49.44	51.30	50.10
Peso del molde + Suelo seco	gr	42.88	44.95	44.32
Peso del agua	gr	6.56	6.35	5.78
Peso del suelo húmedo	gr	26.50	27.17	25.69
Peso suelo seco	gr	19.94	20.82	19.91
% Humedad	%	32.90	30.50	29.03

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.15.2 Determinación de volúmenes de suelo.

**DETERMINACIÓN DE VOLUMENES DE SUELO**

Densidad Parafina		$g/cm^3$	$\rho_{Parafina}$	<b>0.96</b>	<b>0.96</b>	<b>0.96</b>
Suelo Húmedo	Volumen suelo húmedo	$cm^3$		9.58	10.50	8.98
	Peso suelo seco + Parafina	gr		21.99	22.52	22.02
Suelo Seco	Peso dentro del agua	gr		13.00	12.20	13.45
	Volumen de Parafina	$cm^3$	$V_s$	2.14	1.77	2.20
	Volumen Suelo Seco	$cm^3$	$V_s$	9.00	10.34	8.59

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.15.3 Factores de Contracción con parafina.

DETERMINACIÓN DE FACTORES DE CONTRACCIÓN					
Temperatura del agua		$\rho_{H2O}$	19.00	19.00	20.00
Densidad del agua	g/cm <sup>3</sup>	$\rho_{H2O}$	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>
Límite de contracción		LC	30.01	29.71	27.05
Límite de contracción (Promedio)			28.93		
Relación de contracción		RC	2.22	2.02	2.32
Relación de contracción (Promedio)			2.19		
Contracción Volumétrica		CV	6.40	1.59	4.60
Contracción Volumétrica (Promedio)			4.20		
Contracción Lineal		CL	2.05	0.52	1.49
Contracción Lineal (Promedio)			1.35		
Índice de Contracción		IC	2.21	2.01	2.32
Índice de Contracción (Promedio)			2.18		

Fuente: Elaboración propia.

### 3.16 Límite de contracción con glicerina

La determinación del límite de contracción de suelos utilizando glicerina es un método alternativo que emplea una sustancia menos tóxica y más fácil de manejar en comparación con el mercurio.

#### Procedimiento

- a) Primero se determina el volumen de un recipiente de contracción. Este volumen es igual al volumen de suelo húmedo. Se debe engrasar.
- b) Se anota la masa del recipiente vacío
- c) Se coloca muestra hasta llenar un tercio del recipiente, y se golpea ligeramente para que este llegue a los extremos del recipiente, al golpear el recipiente, se eliminan burbujas de aire en la muestra. Luego se agrega más suelo hasta llenar el recipiente totalmente.
- d) Se pesa el recipiente con suelo húmedo, y se anota su masa.
- e) Se deja secar la pastilla al aire, para evitar agrietamiento del suelo.
- f) Se puede usar el horno a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  para secar la muestra, cuando el color torneado oscuro a claro.

g) Se determina la masa del recipiente seco.

Figura 3.16.1 Límite de contracción con glicerina



Fuente: Elaboración propia.

### 3.16.1 Determinación de volúmenes secos con glicerina

- Se puede, usar un hilo de costura, para atar firmemente la muestra de suelo, seco.
- Se inserta la muestra en glicerina, evitando la conformación de burbujas en la glicerina.
- Se deja secar, y se determina la masa de la muestra más glicerina
- Se determina el valor de la masa de la muestra más glicerina en un lastre conagua.

#### Cálculos

Los cálculos que hay que considerar para el factor de contracción, son los siguientes:

#### Masa de la pastilla de suelo seco

$$m_s = m_d - m$$

$$m_s = 41.51 - 22.20$$

$$m_s = 19.31g$$

### Humedad del suelo en el instante que se colocó en el recipiente

$$w = \frac{m_w - m_d}{m_s} * 100$$

$$w = \frac{46.50 - 41.51}{19.31} * 100$$

$$w = 25.84\%$$

### Volumen de la pastilla de suelo seco envuelto en glicerina

$$V_{dx} = \frac{m_{sxa} - m_{sxw}}{\rho_w}$$

$$V_{dx} = \frac{20.63 - 9.56}{1}$$

$$V_{dx} = 9.75 \text{ gr}$$

$\rho_w$  = Densidad del agua, en gr/cm<sup>3</sup>

### Masa de la glicerina

$$m_x = m_{sxa} - m_s$$

$$m_x = 20.63 - 19.31$$

$$m_x = 1.32 \text{ g}$$

### Volumen de la glicerina

$$V_x = \frac{m_x}{G_x \rho_w} \text{ o } \frac{m_x}{\rho_x}$$

$$V_x = \frac{1.32}{0.96}$$

$$V_x = 1.38 \text{ cm}^3$$

### **Volumen de la pastilla de suelo seco**

$$V_d = V_{dx} - V_x$$

$$V_d = 20.63 - 9.56$$

$$V_d = 9.75\text{cm}^3$$

**Límite de contracción (LC), como un contenido de agua en relación con la masa de suelo seco, con la expresión:**

$$LC = w - \left( \frac{(V - V_d)\rho_w}{m_s} \right) * 100$$

$$LC = 25.84 - \left( \frac{(10.23 - 9.75)1}{19.31} \right) * 100$$

$$LC = 23.51$$

### **Relación de contracción**

$$R = \left( \frac{m_s}{V_d * \rho_w} \right)$$

$$R = \left( \frac{19.31}{9.75 * 1} \right)$$

$$R = 1.98$$

### **Cambio volumétrico**

$$CV = (w_1 - LC) * R$$

$$CV = (25.84 - 23.51) * 1.98$$

$$CV = 4.61$$

### Contracción lineal

$$CL = 100 \left[ 1 - \sqrt[3]{\frac{100}{100 + CV}} \right]$$

$$CL = 100 \left[ 1 - \sqrt[3]{\frac{100}{100 + 4.61}} \right]$$

$$CL = 1.49$$

En las tablas 3.16.1, 3.16.2, 3.16.3, se muestran los resultados obtenidos de la determinación del contenido de humedad con glicerina, volúmenes del suelo con glicerina, factores de contracción con glicerina y a la vez los límites de contracción, relación de contracción y gravedad específica evaluados en el método alternativo (glicerina).

Tabla 3.16.1 Determinación del contenido de humedad.

N° de Molde		1	2	3
Peso del molde	gr	22.20	21.56	23.30
Peso del molde + Suelo húmedo	gr	46.50	50.10	49.78
Peso del molde + Suelo seco	gr	41.51	44.54	44.57
Peso del agua	gr	4.99	5.56	5.21
Peso del suelo húmedo	gr	24.30	28.54	26.48
Peso suelo seco	gr	19.31	22.98	21.27
% Humedad	%	25.84	24.19	24.49

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.16.2 Volúmenes de suelo con glicerina.

<b>DETERMINACIÓN DE VOLUMENES DE SUELO</b>						
Densidad Glicerina	$g/cm^3$	$\rho_{Hg}$	<b>0.96</b>	<b>0.96</b>	<b>0.96</b>	
Suelo Humedo	Volumen suelo húmedo	$cm^3$		10.20	11.23	10.56
Suelo Seco	Peso suelo seco + Glicerina	gr		20.63	22.53	22.20
	Peso dentro del agua	gr		9.56	11.13	11.25
	Volumen de glicerina	$cm^3$	Vs	1.38	0.83	0.97
	Volumen Suelo Seco	$cm^3$	Vs	9.75	10.60	10.02

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.16.3 Factores de contracción con glicerina.

<b>DETERMINACIÓN DE FACTORES DE CONTRACCIÓN</b>					
Temperatura del agua			19.00	19.00	20.00
Densidad del agua	$cm^3$	$\rho_{H2O}$	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>
Límite de contracción		LC	23.51	16.17	21.96
Límite de contracción (Promedio)			20.55		
Relación de contracción		RC	1.98	2.05	2.12
Relación de contracción (Promedio)			2.05		
Contracción Volumétrica		CV	4.61	19.31	5.38
Contracción Volumétrica (Promedio)			9.77		
Contracción Lineal		CL	1.49	5.72	1.73
Contracción Lineal (Promedio)			2.98		
Índice de Contracción		IC	1.98	2.05	2.12
Índice de Contracción (Promedio)			2.05		

Fuente: Elaboración propia.

## Resumen de resultados

Tabla 3.16.4 Resumen de resultados

LÍMITE DE CONTRACCIÓN	MERCURIO	PARAFINA	GLICERINA	ACEITE SUCIO
	24.79	28.93	22.72	24.26
	25.68	28.50	25.86	21.74
	25.06	28.61	24.91	22.47
	25.39	28.20	25.26	21.10
	26.47	27.24	27.47	23.56

RELACIÓN DE CONTRACCIÓN	MERCURIO	PARAFINA	GLICERINA	ACEITE SUCIO
	1.59	2.22	2.05	1.06
	1.59	2.12	2.18	0.99
	1.55	1.71	1.87	1.53
	1.64	2.26	2.17	0.98
	1.51	2.29	2.46	1.01

CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA	MERCURIO	PARAFINA	GLICERINA	ACEITE SUCIO
	9.08	4.20	5.31	4.89
	2.06	0.57	8.16	2.36
	2.06	1.78	1.87	6.28
	6.79	8.54	19.37	4.89
	5.10	9.04	47.80	4.89

CONTRACCIÓN LINEAL	MERCURIO	PARAFINA	GLICERINA	ACEITE SUCIO
	2.85	1.35	1.71	1.58
	2.06	0.57	8.16	2.36
	2.63	0.59	2.76	2.01
	2.17	2.59	5.65	1.58
	1.64	2.83	11.66	1.58

ÍNDICE DE CONTRACCIÓN	MERCURIO	PARAFINA	GLICERINA	ACEITE SUCIO
	1.59	2.21	2.05	1.06
	1.59	2.12	2.18	0.99
	1.55	1.71	1.87	1.53
	1.64	2.26	2.17	0.98
	1.51	2.28	2.46	1.01

Fuente: Elaboración propia.

# **CAPÍTULO IV**

## **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1 Procesamiento y validación de resultados

#### 4.2 Organización de resultados

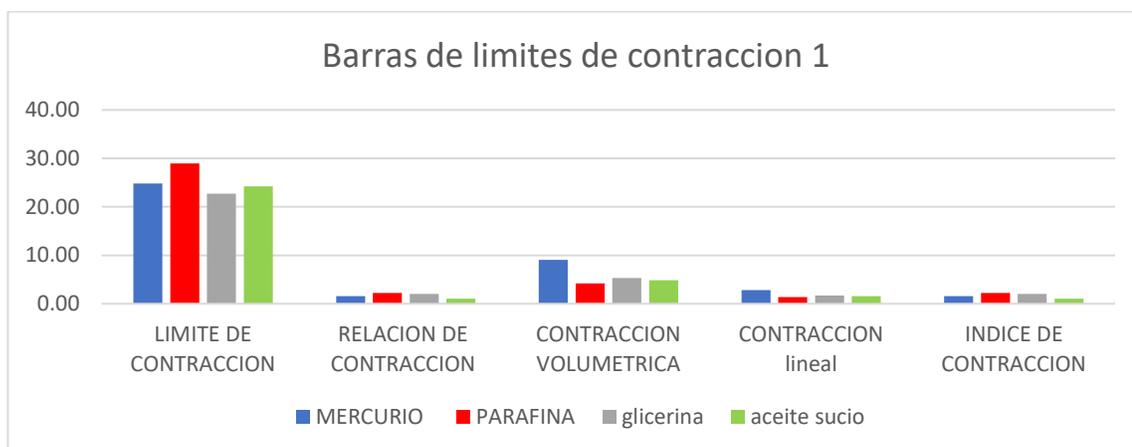
Teniendo los resultados de los límites de contratación del suelo limo arcilloso por los métodos alternativos, se procede a analizar el comportamiento estadístico del mismo.

Tabla 4.2.1 Resultados de los límites de contratación del suelo limo arcilloso.

	MERCURIO	PARAFINA	glicerina	aceite sucio
LÍMITE DE CONTRACCIÓN	24.79	28.93	22.72	24.26
RELACIÓN DE CONTRACCIÓN	1.59	2.22	2.05	1.06
CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA	9.08	4.20	5.31	4.89
CONTRACCIÓN lineal	2.85	1.35	1.71	1.58
ÍNDICE DE CONTRACCIÓN	1.59	2.21	2.05	1.06

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 4.2.1 Barras de límites de contracción 1.



Fuente: Elaboración propia.

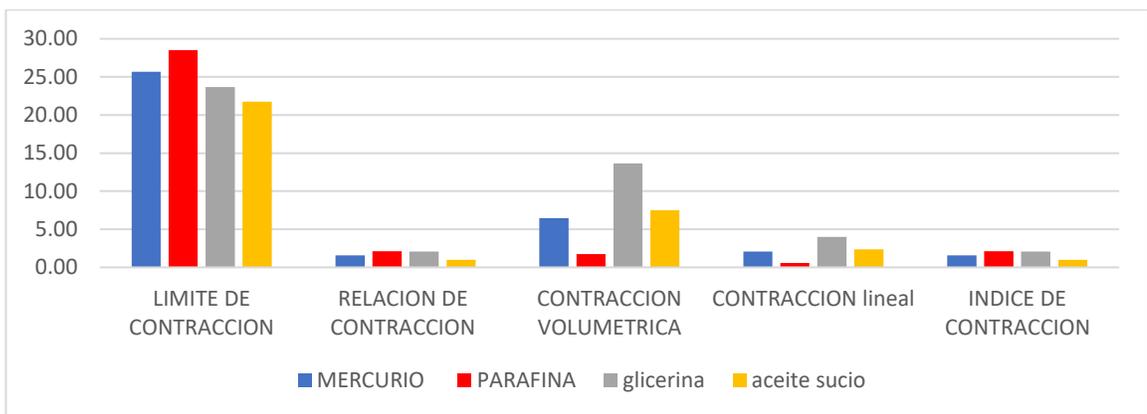
El gráfico de barras nos muestra cómo se comporta el límite de contratación, obteniendo datos de 28 a 22 % de límite de contratación con una dispersión de datos positivos.

Tabla 4.2.2 Resultados de los límites de contratación del suelo limo arcilloso.

	MERCURIO	PARAFINA	glicerina	aceite sucio
LÍMITE DE CONTRACCIÓN	25.68	28.50	23.68	21.74
RELACION DE CONTRACCIÓN	1.59	2.12	2.0.8	0.99
CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA	6.46	1.74	13.99	7.49
CONTRACCIÓN LINEAL	2.06	0.57	3.99	2.36
ÍNDICE DE CONTRACCIÓN	1.59	2.12	2.08	0.99

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 4.2.2 Barra de límites de contracción 2



Fuente: Elaboración propia.

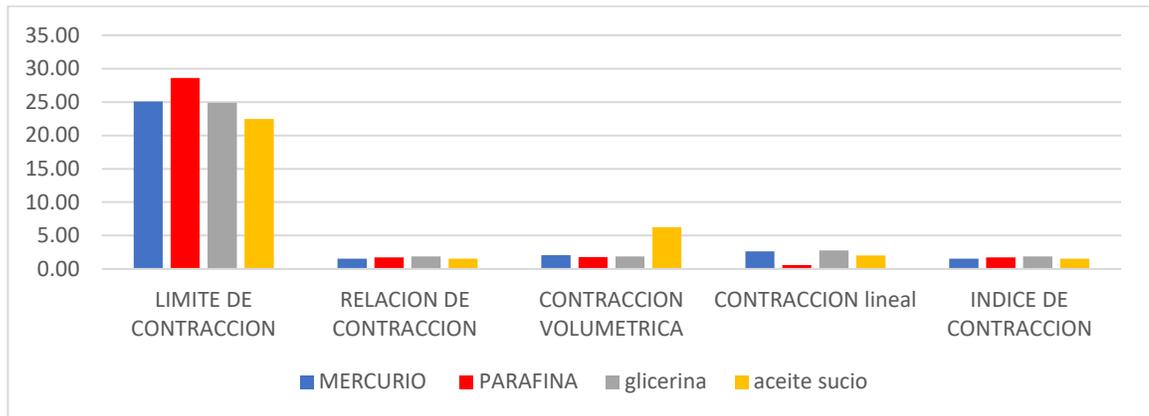
El gráfico 2 de barras nos muestra cómo se comporta el límite de contratación obtenidos de 28 a 22 % manteniendo los rangos de dispersión positiva.

Tabla 4.2.3 Resultados de los límites de contratación del suelo limo arcilloso.

	MERCURIO	PARAFINA	glicerina	aceite sucio
LÍMITE DE CONTRACCIÓN	25.06	28.61	25.60	22.47
RELACIÓN DE CONTRACCIÓN	1.55	1.71	1.78	1.53
CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA	2.06	1.78	111.97	6.28
CONTRACCIÓN lineal	2.63	0.59	3.48	2.01
ÍNDICE DE CONTRACCIÓN	1.55	1.71	1.78	1.53

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 4.2.3 Barra de límites de contracción 3.



Fuente: Elaboración propia.

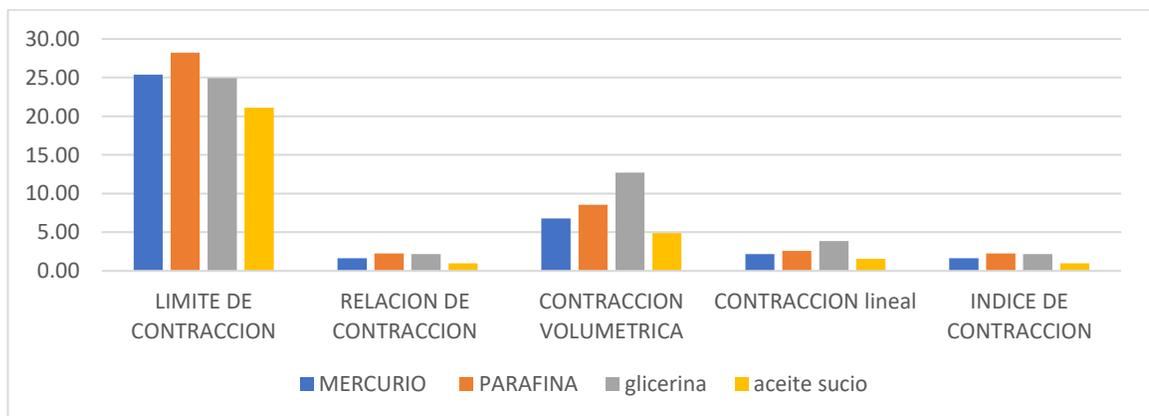
El gráfico de barras nos muestra obteniendo datos de 28 a 22 % de límite de contracción con dispersión positiva validando los valores.

Tabla 4.2.4 Resultados de los límites de contratación del suelo limo arcilloso.

	MERCURIO	PARAFINA	glicerina	aceite sucio
LÍMITE DE CONTRACCIÓN	25.39	28.20	24.93	21.10
RELACIÓN DE CONTRACCIÓN	1.64	2.26	2.16	0.98
CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA	6.79	8.54	12.71	4.89
CONTRACCIÓN lineal	2.17	2.59	3.85	1.58
ÍNDICE DE CONTRACCIÓN	1.64	2.26	2.16	0.98

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 4.2.4 Barra de límites de contracción 4.



Fuente: Elaboración propia.

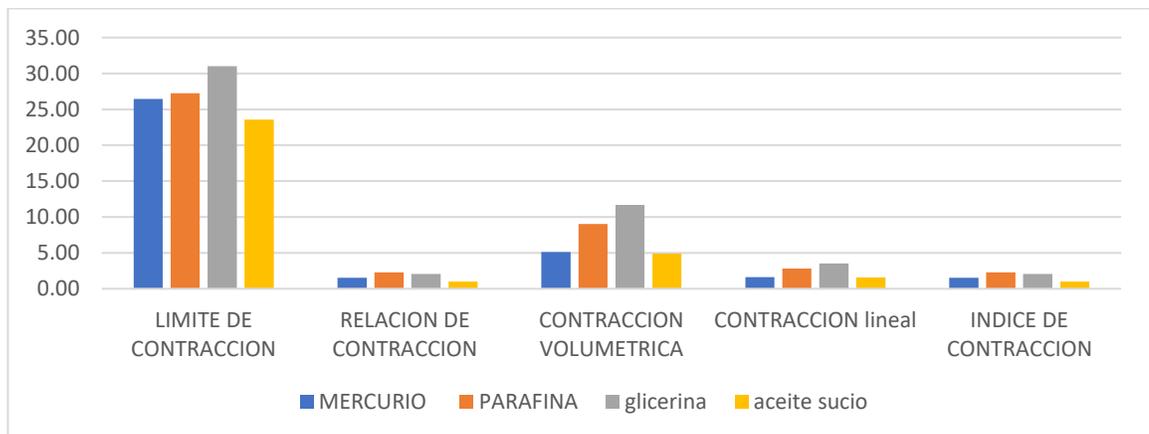
El gráfico de barras nos muestra obteniendo datos de 28 a 22 % de límite de contracción con dispersión positiva validando los valores.

Tabla 4.2.5 Resultados de los límites de contratación del suelo limo arcilloso.

	MERCURIO	PARAFINA	glicerina	aceite sucio
LÍMITE DE CONTRACCIÓN	26.47	27.24	31.02	23.56
RELACIÓN DE CONTRACCIÓN	1.51	2.29	2.06	1.01
CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA	5.10	9.04	11.66	4.89
CONTRACCIÓN lineal	1.64	2.83	3.52	1.58
ÍNDICE DE CONTRACCIÓN	1.51	2.28	2.06	1.01

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 4.2.5 Barra de límites de contracción 5.



El gráfico de barras nos muestra obteniendo datos de 28 a 22 % de límite de contracción con dispersión positiva validando los valores.

### 4.3 Estadística Descriptiva

### 4.4 Cálculo de curva de frecuencias, relativa y acumulada mercurio

Tabla 4.4.1 Frecuencia acumulada de mercurio.

Mercurio					
	límite de contracción	Relación de contracción	Contracción volumétrico	Contracción lineal	índice de contracción
	24.38	1.51	11.37	3.53	1.51
	24.53	1.60	8.17	2.58	1.60
	25.46	1.65	7.69	2.44	1.65
	25.44	1.59	6.43	2.06	1.59
	26.47	1.58	7.46	2.37	1.58
	25.12	1.58	5.50	1.77	1.58
	26.31	1.55	9.71	3.04	1.55
	23.98	1.54	8.44	2.66	1.54
	24.90	1.57	6.86	2.19	1.57
	24.08	1.56	6.06	1.94	1.56
	25.25	1.68	6.53	2.09	1.68
	26.83	1.69	7.79	2.47	1.69
	26.86	1.48	3.38	1.10	1.48
	26.60	1.48	6.10	1.95	1.48
	25.94	1.57	5.83	1.87	1.57
máximo	26.86	1.69	11.37	3.53	1.69
mínimo	23.98	1.48	3.38	1.10	1.48
n	15	15	15	15	15
amplitud	2.87	0.21	7.99	2.42	0.21
Media	25.46	1.58	6.91	2.20	1.58
max med	29.73	1.89	19.36	5.95	1.89
min media	21.11	1.28	-4.61	-1.32	1.28

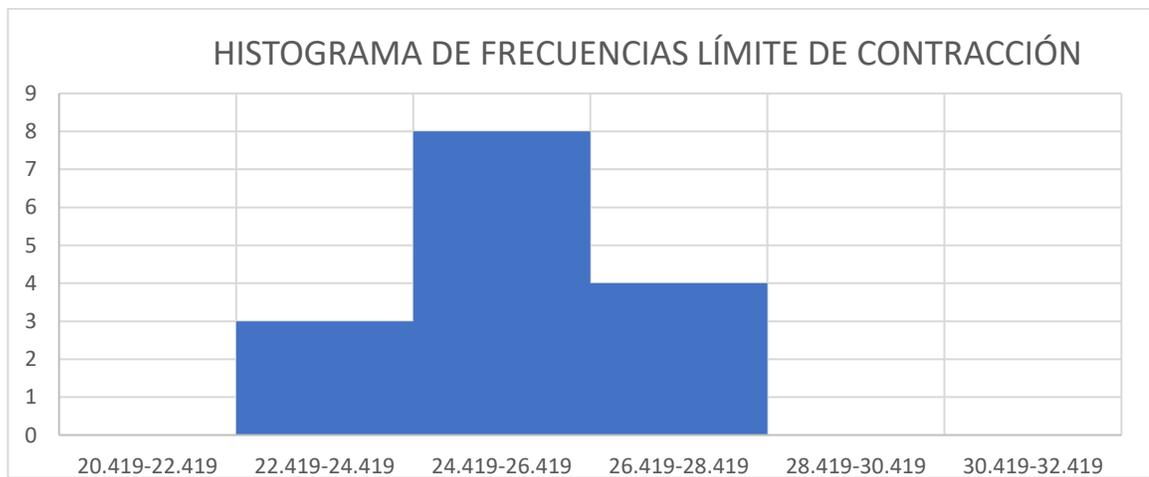
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.4.2 Intervalo de clase de mercurio.

Intervalo de clase I	M.clase C		Frec. Abs. ni	Frec. Rel. Fi	Frec. Abs. Acum. Ni	Frec. Rel. Acum. Fi
20.419-22.419	21.419	2.00	0	0.0	0	0.0
22.419-24.419	23.419	2.00	3	0.2	3	0.2
24.419-26.419	25.419	2.00	8	0.5	11	0.7
26.419-28.419	27.419	2.00	4	0.3	15	1.0
28.419-30.419	29.419	2.00	0	0.0	15	1.0
30.419-32.419	31.419	2.00	0	0.0	15	1.0

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 4.4.1 Histograma de frecuencias de límite de contracción.



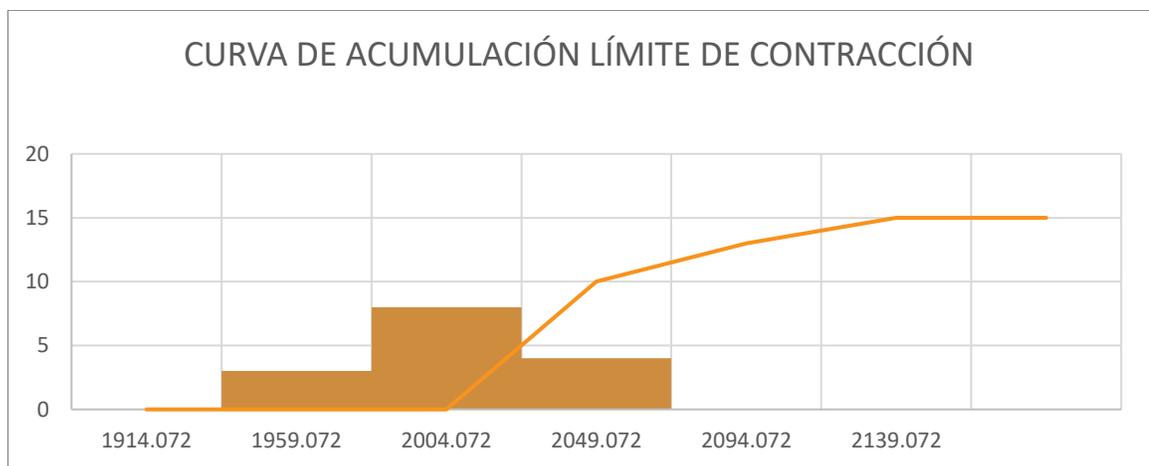
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 4.4.2 Polígono marcas de clase límite de contracción.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 4.4.3 Curva de acumulación límite de contracción



Fuente: Elaboración propia.

El histograma del límite de contracción del mercurio nos muestra un histograma simétrico con una curva de acumulación ascendente.

#### 4.5 Cálculo de curva de frecuencias, relativa y acumulada parafina

Tabla 4.5.1 Frecuencia acumulada de parafina.

Parafina					
	límite de contracción	Relación de contracción	Contracción volumétrico	Contracción lineal	índice de contracción
	30.01	2.22	6.40	2.05	2.21
	29.71	2.02	1.59	0.52	2.01
	27.05	2.32	4.60	1.49	2.32
	28.50	2.12	1.74	0.57	2.12
	27.89	2.01	3.59	1.17	2.01
	29.14	2.32	12.52	3.86	2.32
	28.61	1.71	1.78	0.59	1.71
	27.95	1.87	3.48	1.13	1.87
	26.85	1.67	3.66	1.19	1.67
	28.27	2.55	18.50	5.50	2.55
	28.55	1.93	6.74	2.15	1.92
	27.79	2.31	0.37	0.12	2.31
	28.15	2.29	6.64	2.12	2.28
	26.55	2.08	7.28	2.32	2.08
	27.79	2.31	13.20	4.05	2.49
máximo	30.01	2.55	18.50	5.50	2.55
mínimo	26.55	1.67	0.37	0.12	1.67
n	15	15	15	15	15
amplitud	3.47	0.88	18.14	5.38	0.88
Media	28.17	2.10	4.22	1.35	2.11
max med	33.48	3.43	36.64	10.88	3.42
min media	23.08	0.79	-17.77	-5.26	0.80

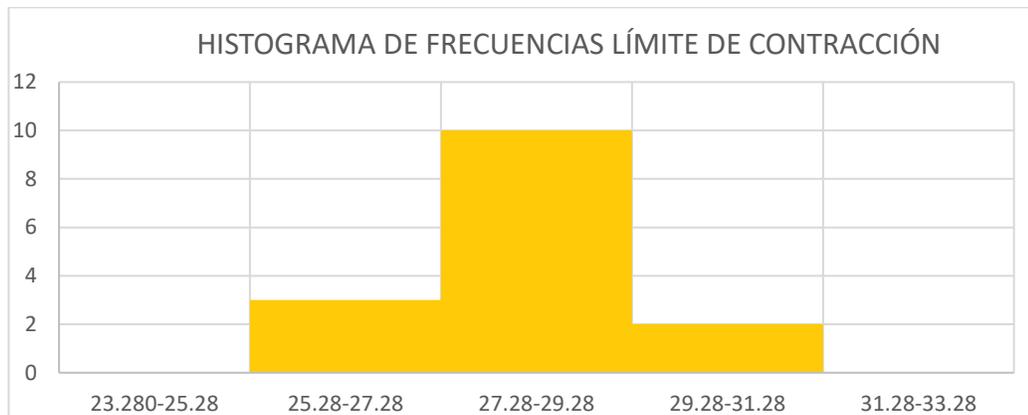
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.5.2 Intervalo de clase de parafina.

Intervalo de clase I	M.clase C		Frec. Abs. ni	Frec. Rel. Fi	Frec. Abs. Acum. Ni	Frec. Rel. Acum. Fi
23.280-25.28	24.28	2.00	0	0.0	0	0.0
25.28-27.28	26.28	2.00	3	0.2	3	0.2
27.28-29.28	28.28	2.00	10	0.7	13	0.9
29.28-31.28	30.28	2.00	2	0.1	15	1.0
31.28-33.28	32.28	2.00	0	0.0	15	1.0
33.28-35.28	34.28	2.00	0	0.0	15	1.0

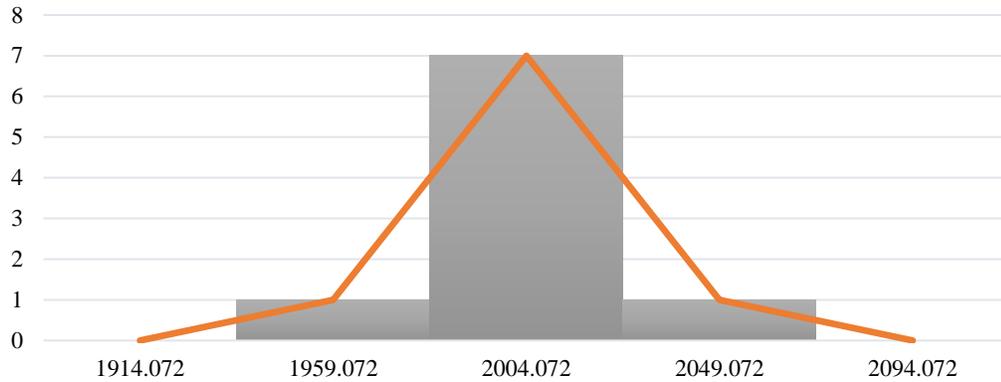
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.5.1 histograma de frecuencia de límites de contracción.



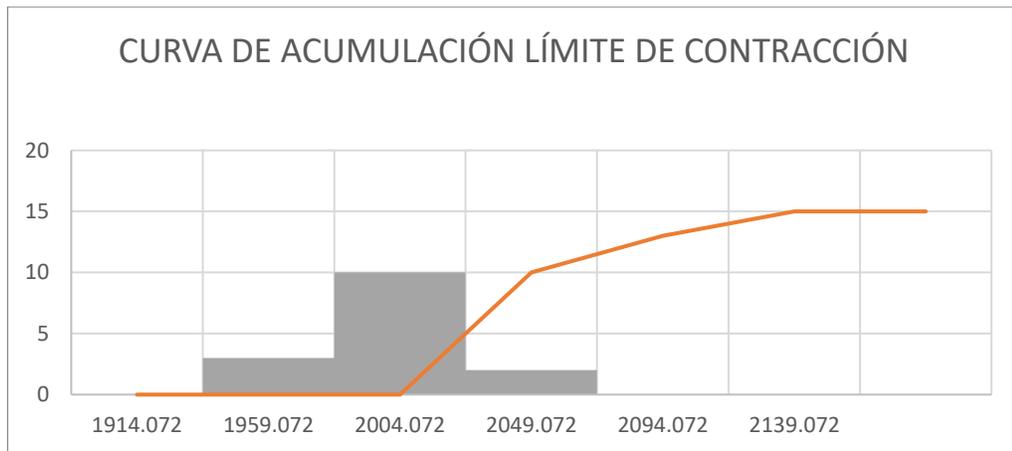
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.5.2 Polígono marcas de clase límite de contracción.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.5.3 Curva de acumulación límite de contracción.



Fuente: Elaboración propia

El histograma del límite de contracción de la parafina nos muestra un histograma simétrico con una curva de acumulación ascendente

#### 4.6 Cálculo de curva de frecuencias, relativa y acumulada glicerina

Tabla 4.6.1 Frecuencia acumulada de glicerina.

Glicerina					
	límite de contracción	Relación de contracción	Contracción volumétrico	Contracción lineal	índice de contracción
	23.51	1.98	4.61	1.49	1.98
	22.69	2.05	5.93	1.90	2.05
	21.96	2.12	5.38	1.73	2.12
	25.86	2.18	29.10	8.16	2.18
	22.07	2.01	7.41	2.36	2.01
	23.11	2.05	4.45	1.44	2.05
	28.77	1.74	11.19	3.48	1.74
	26.47	1.75	13.46	4.12	1.75
	21.56	1.85	11.24	3.49	1.85
	23.60	2.16	21.31	6.24	2.16
	25.81	2.17	7.29	2.32	2.17
	25.38	2.17	9.53	2.99	2.17
	34.46	1.96	2.30	0.76	1.96
	30.54	2.22	12.94	3.98	1.99
	28.06	1.99	19.75	5.83	2.22
máximo	34.46	2.22	29.10	8.16	2.22
mínimo	21.56	1.74	2.30	0.76	1.74
n	15	15	15	15	15
amplitud	12.91	0.48	26.79	7.40	0.48
Media	25.37	2.02	9.01	2.80	2.02
max med	47.37	2.70	55.89	15.56	2.70
min media	8.65	1.26	-24.49	-6.65	1.26

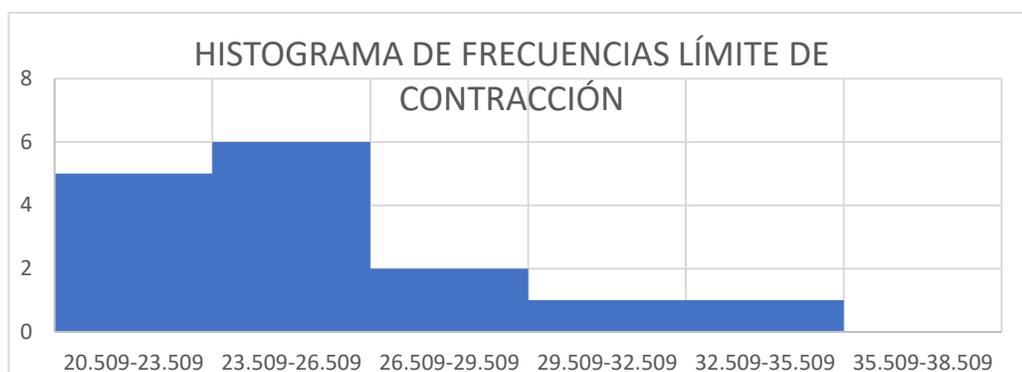
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.6.2 Intervalos de clase I con glicerina

Intervalo de clase I	M.clase C		Frec. Abs. ni	Frec. Rel. Fi	Frec. Abs. Acum. Ni	Frec. Rel. Acum. Fi
20.509-23.509	22.009	3.00	5	0.3	5	0.3
23.509-26.509	25.009	3.00	6	0.4	11	0.7
26.509-29.509	28.009	3.00	2	0.1	13	0.9
29.509-32.509	31.009	3.00	1	0.1	14	0.9
32.509-35.509	34.009	3.00	1	0.1	15	1.0
35.509-38.509	37.009	3.00	0	0.0	15	1.0

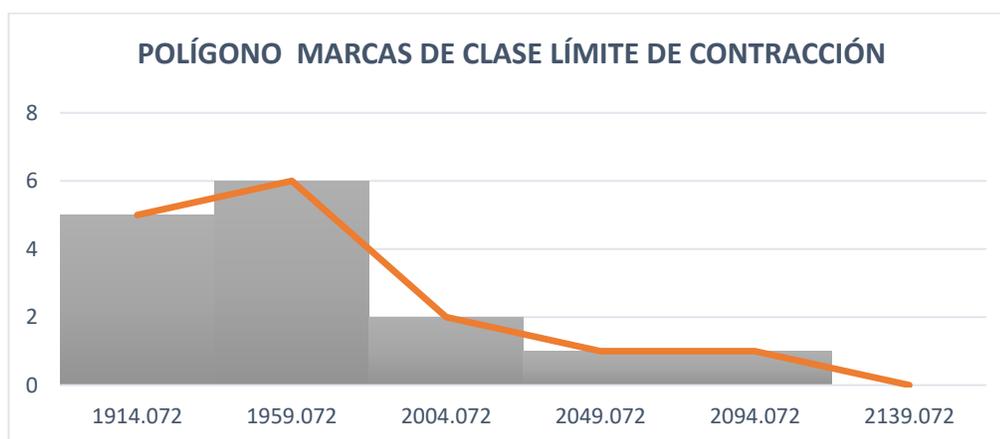
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 4.6.1 Histograma de frecuencias límite de contracción.



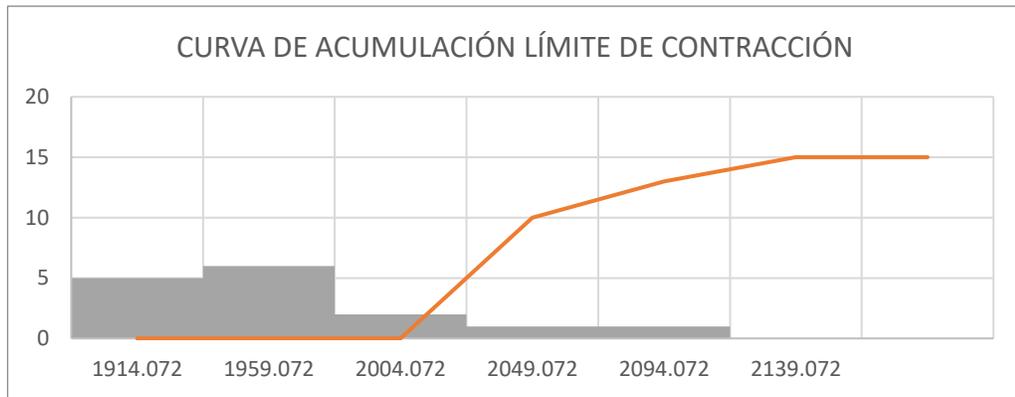
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.6.2 Polígono marcas de clase límite de contracción.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.6.3 Curva de acumulación límite de contracción.



Fuente: Elaboración propia.

El histograma del límite de contracción de la glicerina nos muestra un histograma asimetría a la derecha con una curva de acumulación ascendente irregular.

#### 4.7 Cálculo de curva de frecuencias, relativa y acumulada aceite sucio

Tabla 4.7.1 Frecuencia acumulada de aceite sucio.

Aceite sucio					
	límite de contracción	Relación de contracción	Contracción volumétrico	Contracción lineal	Índice de contracción
	27.52	1.05	4.47	1.45	1.05
	22.86	1.04	3.75	1.22	1.04
	22.40	1.08	6.45	2.06	1.08
	20.18	0.98	11.87	3.67	0.98
	23.88	0.96	4.84	1.56	0.96
	21.17	1.03	5.76	1.85	1.03
	23.00	1.51	5.86	1.88	1.51
	21.49	1.53	6.44	2.06	1.53
	22.92	1.54	6.54	2.09	1.54
	20.50	0.99	4.47	1.45	0.99
	24.22	0.94	3.75	1.22	0.94
	18.59	1.00	6.45	2.06	1.00
	21.02	0.98	4.47	1.45	0.98
	24.61	1.04	3.75	1.22	1.04
	25.04	1.01	6.45	2.06	1.01
máximo	27.52	1.54	11.87	3.67	1.54
mínimo	18.59	0.94	3.75	1.22	0.94
n	15	15	15	15	15
amplitud	8.93	0.60	8.12	2.45	0.60
Media	22.52	1.09	5.42	1.74	1.09
max med	36.45	2.14	19.99	6.12	2.14
min media	9.66	0.34	-4.37	-1.23	0.34

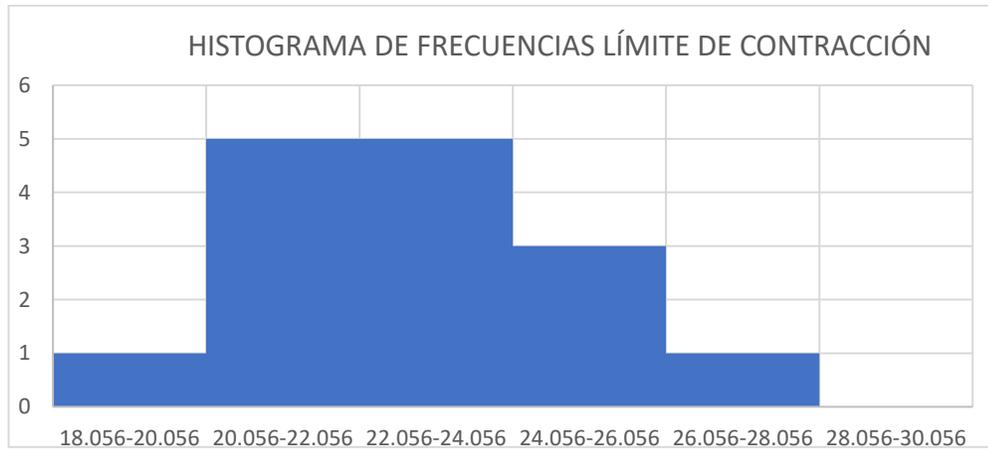
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.7.2 Intervalo de clase I con aceite sucio.

Intervalo de clase I	M.clase C		Frec. Abs. ni	Frec. Rel. Fi	Frec. Abs. Acum. Ni	Frec. Rel. Acum. Fi
18.056-20.056	19.056	2.00	1	0.1	1	0.1
20.056-22.056	21.056	2.00	5	0.3	6	0.4
22.056-24.056	23.056	2.00	5	0.3	11	0.7
24.056-26.056	25.056	2.00	3	0.2	14	0.9
26.056-28.056	27.056	2.00	1	0.1	15	1.0
28.056-30.056	29.056	2.00	0	0.0	15	1.0

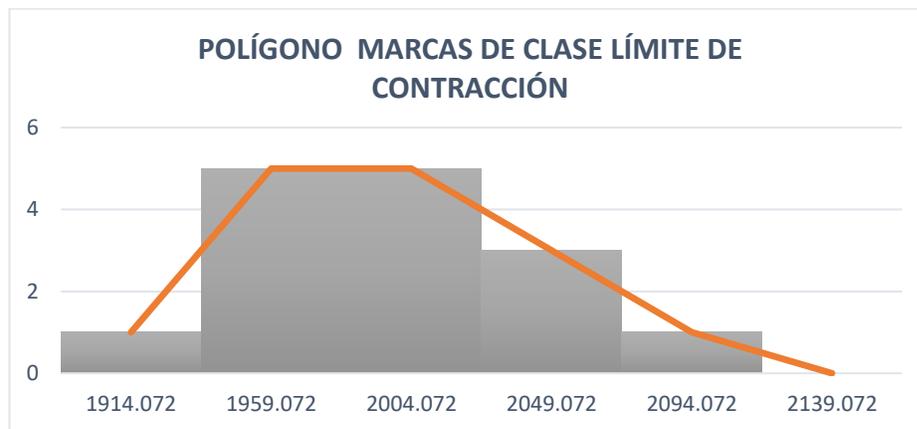
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.7.1 Histograma de frecuencias límite de contracción.



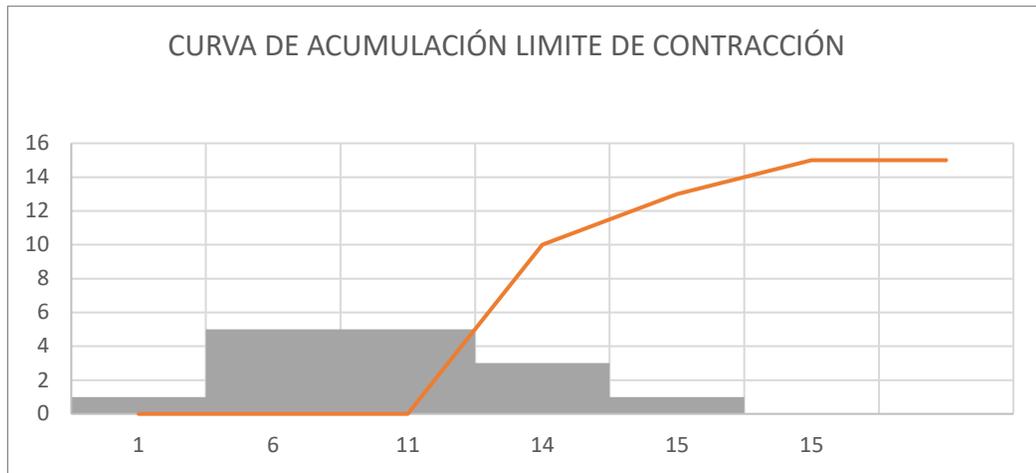
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.7.2 Polígono marcas de clase límite de contracción.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.7.3 Curva de acumulación límite de contracción.



Fuente: Elaboración propia

El histograma del límite de contracción de aceite sucio nos muestra un histograma asimétrico a la izquierda con una curva de acumulación ascendente

#### 4.8 Cálculos de medida de tendencia central

Para el mercurio

Tabla 4.8.1 Tendencia central del mercurio.

Desv=	0.990	0.062	1.887	0.572	0.062
Varianza=	0.979	0.004	3.322	0.305	0.004

Fuente: Elaboración Propia.

Para la parafina

Tabla 4.8.2 Tendencia central de la parafina.

Desv=	0.971	0.249	5.071	1.513	0.262
Varianza=	0.944	0.058	23.998	2.137	0.064

Fuente: Elaboración Propia.

Para la glicerina

Tabla 4.8.3 Tendencia central de la glicerina.

Desv=	3.636	0.152	7.394	2.059	0.152
Varianza=	13.218	0.022	51.032	3.958	0.022

Fuente: Elaboración Propia.

Para el aceite sucio

Tabla 4.8.4 Tendencia central del aceite sucio.

Desv=	2.251	0.218	2.029	0.615	0.218
Varianza=	5.066	0.044	3.844	0.353	0.044

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.9 Cálculos de medidas de dispersión

Para el mercurio

Tabla 4.9.1 Medidas de dispersión del mercurio.

media =	25.458	1.575	6.911	2.200	1.575
mediana=	25.441	1.572	6.860	2.187	1.572

Fuente: Elaboración Propia.

Para la parafina

Tabla 4.9.2 Medidas de dispersión de la parafina.

media =	28.173	2.102	4.222	1.353	2.110
mediana=	28.145	2.123	4.596	1.487	2.123

Fuente: Elaboración Propia

Para la glicerina

Tabla 4.9.3 Medidas de dispersión de la glicerina.

media =	25.366	2.021	9.009	2.802	2.021
mediana=	25.379	2.046	9.526	2.988	2.046

Fuente: Elaboración Propia.

Para el aceite sucio

Tabla 4.9.4 Medidas de dispersión del aceite sucio.

media =	22.524	1.094	5.422	1.742	1.094
mediana=	22.860	1.026	5.757	1.849	1.026

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.10 Estadística Inferencial

##### 4.10.1 Prueba de hipótesis de muestra independientes mercurio y parafina

Los métodos alternativos al de mercurio para la obtención de límites de contracción, son aproximados en sus resultados La media del método de mercurio se aproxima a la media del método de parafina

Serie de Datos mercurio vs parafina

##### Paso 1 Establecer la Hipótesis Nula y Alternativa

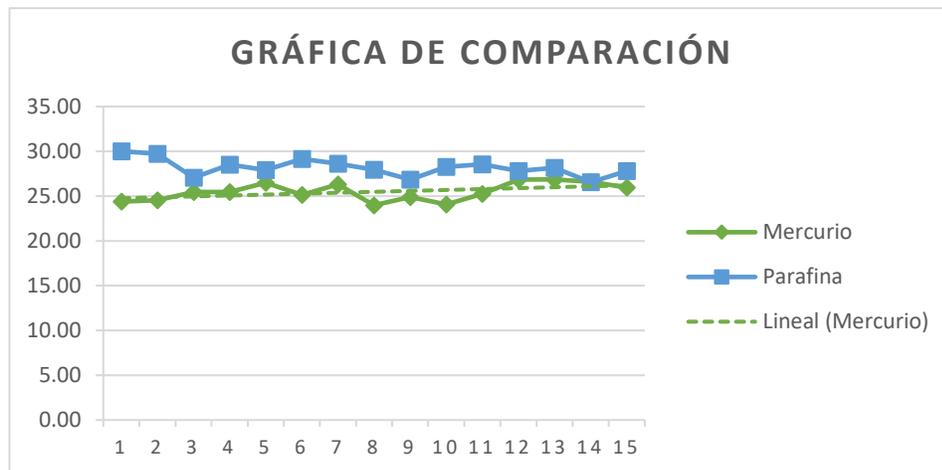
Ho:	$\mu_1 \neq \mu_2$
H1:	$\mu_1 = \mu_2$

Tabla 4.10.1 Planilla de medias de Límites de contracción.

	Mercurio	Parafina
n		
1	24.38	30.01
2	24.53	29.71
3	25.46	27.05
4	25.44	28.50
5	26.47	27.89
6	25.12	29.14
7	26.31	28.61
8	23.98	27.95
9	24.90	26.85
10	24.08	28.27
11	25.25	28.55
12	26.83	27.79
13	26.86	28.15
14	26.60	26.55
15	25.94	27.79

Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 4.10.1 t Student del mercurio y parafina.



Fuente: Elaboración Propia.

Cálculos de datos estadísticos

n1 =	15
n2 =	15

		m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>
Medias x <sub>m</sub>	=	25.48	28.19
Varianza S <sup>2</sup>	=	<b>0,979</b>	<b>0.944</b>

Formula general de media

$$x_m = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Formula general de varianza

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - x_m)^2}{n-1}$$

$$S_p^2 = \frac{(n_1-1)(S_1^2) + (n_2-1)(S_2^2)}{n_1+n_2-2}$$

S <sub>p</sub> <sup>2</sup> =	0.962
-------------------------------	-------

## Paso 2

Nivel de significancia **a = 0.05**

### Paso 3

Cálculo del Estadístico de prueba

Datos de pareamiento	Antes -Después		t
	(n) menor que 30		Student

### Paso 4 Comparación de los estadísticos.

Grados de Libertad  $gl = n_1 + n_2 - 2$

v =	28
-----	----

De la tabla se extrae el valor del estadístico tabular

$t_t =$	2,04841
---------	---------

$m_o =$  Media poblacional (no hay dato) se asume el valor de cero

$$t_c = \frac{x_m - y_m}{\sqrt{S_p^2 \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

$t_c =$	-7.572
---------	--------

Realizando la comparación

$$\begin{array}{ccc} t_c & > & t_t \\ -7.572 & > & 2.04841 \end{array}$$

**ZONA DE  
ACEPTACIÓN**

### Paso 5 acción conclusiva de aceptación y rechazo

Gráfico 4.10.2 Distribución de t student.



Fuente: Elaboración Propia.

## 4.11 Prueba Chi-Cuadrada

### Pearson k (1900)

**Paso 1: Plantear la hipótesis de asociación**

$H_0$ : Las variables categóricas "x" e "y" son independientes

$H_1$ : Las variables categóricas "x" e "y" son relacionadas

### **FORMULAMOS LAS HIPÓTESIS ESTADÍSTICAS**

$H_0$ : Los resultados de los métodos alternativos, no se relacionan significativamente con los resultados del convencional normado.

$H_1$ : Los resultados de los métodos alternativos, se relacionan significativamente con los resultados del convencional normado.

**Paso 2: Nivel de significancia**

$NC = 0.95$

$\alpha = 0.05$  (Margen de error)

valor critico = 11.0705

$g.l = 5$

**Paso 3: Prueba Chi-cuadrada**

Si  $f_i^e \leq 20\%$  casillas con valor 5  $\rightarrow$  test de chi-cuadrado óptima

Si  $f_i^e > 20\%$  casillas con valor 5  $\rightarrow$  test de chi-cuadrado débil

**Paso 4: Estadístico de prueba**

Si "p-valor"  $< 0.05$  se rechaza la "  $H_0$

Si "p-valor"  $\geq 0.05$  se acepta la "  $H_0$  y se rechaza la  $H_1$

**Paso 5: Criterio de decisión**

**Pruebas de chi-cuadrado**

	Valor	gl	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	195.000 <sup>a</sup>	182	0.242
Razón de verosimilitud	78.469	182	1.000
Asociación lineal por lineal	2.259	1	0.133
N de Casos válidos	15		

a. 210 casillas (100.0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es .07.

Fuente: CHI CUADRADA EN SPSS.

**INTERPRETACIÓN**

Como el valor de sig (valor critico observado) 0.242 valor " $\geq$ "0.05 se acepta la " $H_0$  y se rechaza la  $H_1$ , Al Comparar la obtención de resultados del límite de contracción del método alternativo no se relaciona significativamente con los resultados del límite de contracción del método del mercurio en los suelos limo arcillosos.

No existe la relación entre las 2 variables.

**4.11.1 Prueba de hipótesis de muestra independientes mercurio y glicerina**

Los métodos alternativos al de mercurio para la obtención de límites de contracción, son aproximados en sus resultados

Serie de datos mercurio vs glicerina

**Paso 1 Establecer la Hipótesis Nula y Alternativa**

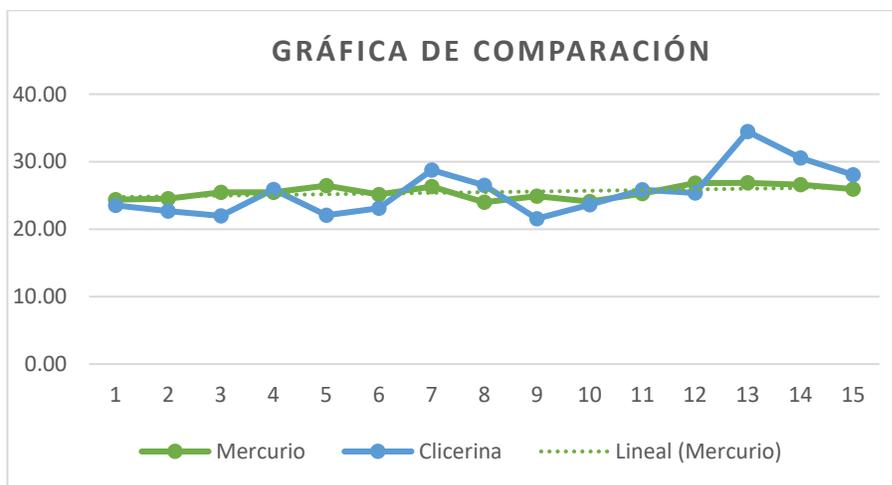
Ho:	$\mu_1 \neq \mu_2$
H1:	$\mu_1 = \mu_2$

Tabla 4.11.1 Prueba de hipótesis mercurio y glicerina.

	Mercurio	Clicerina
n		
1	24.38	23.51
2	24.53	22.69
3	25.46	21.96
4	25.44	25.86
5	26.47	22.07
6	25.12	23.11
7	26.31	28.77
8	23.98	26.47
9	24.90	21.56
10	24.08	23.60
11	25.25	25.81
12	26.83	25.38
13	26.86	34.46
14	26.60	30.54
15	25.94	28.06

Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 4.11.1 t Student mercurio vs glicerina.



Fuente: Elaboración Propia.

## Cálculos de datos estadísticos

n1 =	15
n2 =	15

		m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>
Medias x <sub>m</sub>	=	25.476	25.59
Varianza S <sup>2</sup>	=	0.979	13.218

Formula general de media  $x_m = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$

Formula general de varianza  $S^2 = \frac{\sum(x_i - x_m)^2}{n-1}$

$$S_p^2 = \frac{(n_1-1)(S_1^2) + (n_2-1)(S_2^2)}{n_1+n_2-2}$$

S <sub>p</sub> <sup>2</sup> =	7.099
-------------------------------	-------

### Paso 2

Nivel de significancia  $\alpha = 0.05$

### Paso 3

Cálculo del Estadístico de prueba

Datos de pareamiento	Antes -Después		t Student
	(n) menor que 30		

**Paso 4** comparación de los estadísticos.

Grados de Libertad  $gl = n_1 + n_2 - 2$

v =	28
-----	----

De la tabla se extrae el valor del estadístico tabular

t <sub>t</sub> =	2.04841
------------------	---------

m<sub>0</sub>  
= Media poblacional (no hay dato) se asume el valor de cero

$$t_c = \frac{x_m - y_m}{\sqrt{S_p^2 \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

t <sub>c</sub> =	-0.117
------------------	--------

Realizando la comparación

$$\begin{array}{ccc} t_c & > & t_t \\ -0.117 & > & 2.04841 \end{array}$$

**ZONA DE RECHAZO**

### Paso 5 acción conclusiva de aceptación y rechazo

Gráfico 4.11.2 Distribución de t student



Fuente: Elaboración Propia

## Prueba Chi-Cuadrada

### Paso 1: Plantear la hipótesis de asociación

$H_0$ : Las variables categóricas "x" e "y" son independientes

$H_1$ : Las variables categóricas "x" e "y" son relacionadas

### FORMULAMOS LAS HIPÓTESIS ESTADÍSTICAS

$H_0$ : Los resultados de los métodos alternativos, no se relacionan significativamente con los resultados del convencional normado.

$H_1$ : Los resultados de los métodos alternativos, se relacionan significativamente con los resultados del convencional normado.

### Paso 2: Nivel de significancia

$$NC = 0.95$$

$$\alpha = 0.05 \quad (\text{Margen de error})$$

valor crítico = 11.0705

g.l = 5

**Paso 3: Prueba Chi-cuadrada**

Si  $f_i \leq 20\%$  casillas con valor 5  $\rightarrow$  test de chi-cuadrado óptima

Si  $f_i > 20\%$  casillas con valor 5  $\rightarrow$  test de chi-cuadrado débil

**Paso 4: Estadístico de prueba**

Si "p-valor"  $< 0.05$  se rechaza la  $H_0$

Si "p-valor"  $\geq 0.05$  se acepta la  $H_0$  y se rechaza la  $H_1$

**Paso 5: Criterio de decisión**

**Pruebas de chi-cuadrado**

	Valor	gl	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	210.000 <sup>a</sup>	196	0.234
Razón de verosimilitud	81.242	196	1.000
Asociación lineal por lineal	4.189	1	0.041
N de casos válidos	15		

a. 225 casillas (100.0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es .07.

Fuente: CHI CUADRADA EN SPSS.

**INTERPRETACIÓN**

Como el valor de sig (valor crítico observado) 0.234 valor  $\geq 0.05$  se acepta la  $H_0$  y se rechaza la  $H_1$ , Al Comparar la obtención de resultados del límite de contracción del método alternativo no se relaciona significativamente con los resultados del límite de contracción del método del mercurio en los suelos limo arcillosos.

No existe la relación entre las 2 variables.

#### 4.11.2 Prueba de hipótesis de muestra independientes mercurio y aceite sucio

Los métodos alternativos al de mercurio para la obtención de límites de contracción, son aproximados en sus resultados

La media del método de mercurio se aproxima a la media del método de parafina

Serie de Datos mercurio vs aceite sucio

##### Paso 1

##### Establecer la Hipótesis Nula y Alternativa

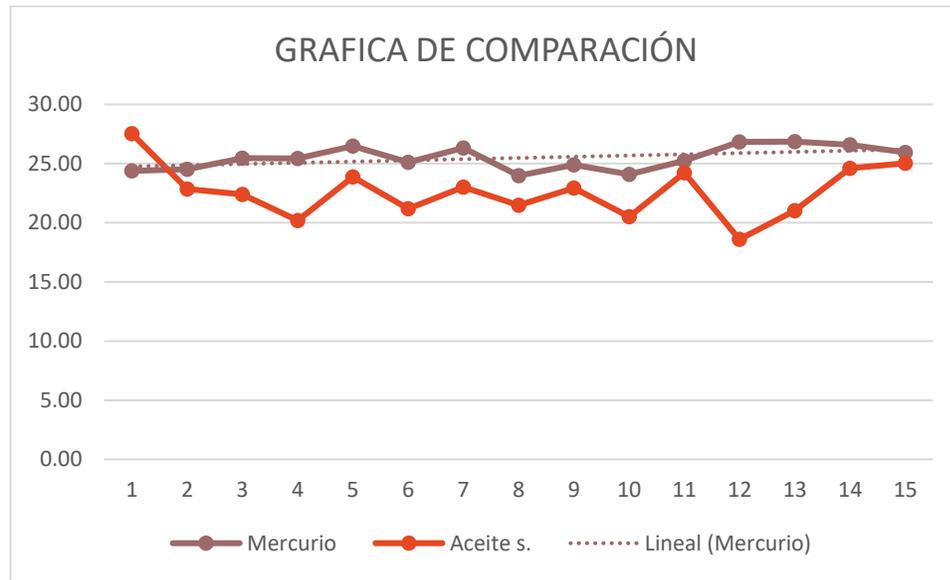
Ho:	$\mu_1 \neq \mu_2$
H1:	$\mu_1 = \mu_2$

Tabla 4.11.2 Planilla de medias de Límites de contracción.

	Mercurio	Aceite s.
n		
1	24.38	27.52
2	24.53	22.86
3	25.46	22.40
4	25.44	20.18
5	26.47	23.88
6	25.12	21.17
7	26.31	23.00
8	23.98	21.49
9	24.90	22.92
10	24.08	20.50
11	25.25	24.22
12	26.83	18.59
13	26.86	21.02
14	26.60	24.61
15	25.94	25.04

Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 4.11.3 t student mercurio vs aceite sucio.



Fuente: Elaboración Propia.

### Cálculos de datos estadísticos

n1 =	
n2 =	

		m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>
Medias x <sub>m</sub>	=	25.476	22.627
Varianza S <sup>2</sup>	=	<b>0.979</b>	<b>5.066</b>

Formula general de media 
$$x_m = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Formula general de varianza 
$$S^2 = \frac{\sum (x_i - x_m)^2}{n-1}$$

$$S_p^2 = \frac{(n_1-1)(s_1^2) + (n_2-1)(s_2^2)}{n_1+n_2-2}$$

S <sub>p</sub> <sup>2</sup> =	3.023
-------------------------------	-------

### Paso 2

Nivel de significancia **a = 0.05**

### Paso 3

Cálculo del Estadístico de prueba

Datos de pareamiento	Antes -Después		t Student
	(n) menor que 30		

**Paso 4** comparación de los estadísticos.

Grados de Libertad  $gl = n_1 + n_2 - 2$

v =	28
-----	----

De la tabla se extrae el valor del estadístico tabular

$t_t =$	2.04841
---------	---------

$m_0$   
= Media poblacional (no hay dato) se asume el valor de cero

$$t_c = \frac{x_m - y_m}{\sqrt{S_p^2 \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

$t_c =$	4.487
---------	-------

Realizando la comparación

$$\begin{array}{ccc} t_c & > & t_t \\ 4.487 & > & 2.04841 \end{array}$$

**ZONA DE  
RECHAZO**

**Paso 5 acción conclusiva de aceptación y rechazo**

Gráfico 4.11.4 Distribución de t student.



Fuente: Elaboración Propia.

## Prueba Chi-Cuadrada

### **Paso 1: Plantear la hipótesis de asociación**

$H_0$ : Las variables categóricas "x" e "y" son independientes

$H_1$ : Las variables categóricas "x" e "y" son relacionadas

### **FORMULAMOS LAS HIPÓTESIS ESTADÍSTICAS**

$H_0$ : Los resultados de los métodos alternativos, no se relacionan significativamente con los resultados del convencional normado.

$H_1$ : Los resultados de los métodos alternativos, se relacionan significativamente con los resultados del convencional normado.

### **Paso 2: Nivel de significancia**

$NC = 0.95$

$\alpha = 0.05$  (Margen de error)

valor crítico = 11.0705

$g.l = 5$

### **Paso 3: Prueba Chi-cuadrada**

Si  $f_i^e \leq 20\%$  casillas con valor 5  $\rightarrow$  test de chi-cuadrado óptima

Si  $f_i^e > 20\%$  casillas con valor 5  $\rightarrow$  test de chi-cuadrado débil

### **Paso 4: Estadístico de prueba**

Si "p-valor"  $< 0.05$  se rechaza la  $H_0$

Si "p-valor"  $\geq 0.05$  se acepta la  $H_0$  y se rechaza la  $H_1$

**Paso 5: Criterio de decisión**

**Pruebas de chi-cuadrado**

	Valor	gl	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	210.000 <sup>a</sup>	196	0.234
Razón de verosimilitud	81.242	196	1.000
Asociación lineal por lineal	0.188	1	0.664
N de casos válidos	15		

a. 225 casillas (100.0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es .07.

Fuente: CHI CUADRADA EN SPSS.

**INTERPRETACIÓN**

Como el valor de sig (valor crítico observado) 0.234 valor  $\geq 0.05$  se acepta la  $H_0$  y se rechaza la  $H_1$ . Al Comparar la obtención de resultados del límite de contracción del método alternativo no se relaciona significativamente con los resultados del límite de contracción del método del mercurio en los suelos limo arcillosos.

No existe la relación entre las 2 variables.

**CAPÍTULO V**

**CONCLUSIONES Y**

**RECOMENDACIONES**

# CAPÍTULO V

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

- Se cumplió con el objetivo de la investigación de “COMPARACIÓN DE MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA LA OBTENCIÓN DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN EN SUELOS LIMO ARCILLOSOS” del barrio San Blas, mediante un análisis estadístico, para establecer la confiabilidad en los resultados.
- De acuerdo con los resultados obtenidos en los ensayos de granulometría por tamizado con lavado por malla N°200 y los ensayos de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, se determinó que el suelo estudiado según el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) con un suelo limo arcillosos, inorgánicos de baja y media plasticidad (CL - ML), dado que por tratarse de un suelo fino, su nombre viene dado por la ubicación en la carta de plasticidad.
- Con los resultados obtenidos de los ensayos de límite de contracción realizados, se puede concluir que la glicerina es el fluido cuyos factores de contracción están más cercanos a los considerados teóricos (realizando la prueba convencional con mercurio), ya que el límite de contracción promedio obtenido con este fluido fue de 25.59% y con un porcentaje de error del 0,45%, mientras que la relación de contracción fue de 2,03% con un error del -4%. La glicerina además de presentar los resultados de los factores de contracción más cercanos a los obtenidos con mercurio es de fácil consecución, es económico y no es toxico.
- Así mismo, también se puede concluir que el fluido con el cual se obtienen los factores de contracción más distantes con respecto a los valores teóricos es el aceite sucio y la parafina, ya que con dichos fluidos el límite de contracción el promedio fue de 28,19% parafina con un error de 11% y la relación de contracción fue de 2,12% con un error de 35%, y el límite de contracción del aceite sucio 22,63% con un error de -11% mientras que la relación de contracción fue de 1,11% con un error de -45% .

- Este método alternativo del aceite sucio mostró la mayor variabilidad y menor precisión, posiblemente debido a la dificultad para obtener un aceite consistentemente homogéneo y la mayor adsorción del aceite en las partículas del suelo. Sin embargo, es el método más económico.
- El método alternativo con parafina mostró resultados cercanos al método convencional normado con mercurio, aunque la precisión puede verse afectada por la uniformidad del recubrimiento de la parafina. Es una opción viable y menos peligrosa en comparación con el mercurio.
- El método alternativo con glicerina se obtuvo resultados confiables y es una alternativa segura. La viscosidad de la glicerina asegura una buena cobertura del suelo, ofrece una buena precisión en la medida del volumen, aunque puede presentar pequeñas variaciones debido a su interacción con las partículas del suelo.
- En comparación del método convencional normado y los métodos alternativos se obtuvo resultados confiables y fáciles de encontrar en el mercado cuyas propiedades no permitan que las muestras se expandan durante la determinación de su volumen seco.
- Se concluyó con el objetivo de comparar los métodos alternativos con el método convencional normado en límites de contracción, en suelos limo arcillosos considerando las sustancias elegidas para su volumen seco, y se fijó las ventajas y desventajas de los métodos alternativos.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- En la ejecución del ensayo de límite de contracción con las sustancias alternativas escogidas, es importante en la determinación del volumen seco, esperar a que la pastilla de suelo repose en el fondo del recipiente antes de enrazar, además limpiar el fluido adherido en la parte externa del recipiente ya que este pertenece al volumen desplazado, y de no tomarse en cuenta podría afectar los resultados. Lo anterior no es necesario al utilizarse el mercurio pues este no se adhiere y la pastilla de suelo flota en el fluido.
- Es importante en la práctica de laboratorio del ensayo de límite de contracción no olvidar que al momento de golpear el recipiente con el suelo para forzar que este

fluya hacia los bordes, debe hacerse no sólo sobre una superficie firme sino también acolchonada para así evitar que se queden espacios de aire en la muestra compactada debido a las vibraciones que se producen al golpe del recipiente.

- Se recomienda emplear para futuros trabajos de grado similares, otros suelos finos, para determinar cómo varía el límite de contracción con las sustancias alternas escogidas, además de la evaluación con estas a diferentes temperaturas.
- Se recomienda continuar con la investigación de otras posibles sustancias diferentes a las utilizadas en el presente proyecto, que puedan sustituir el mercurio líquido en la práctica del ensayo de límite de contracción en los diferentes tipos de suelos cohesivos.
- También se debe tener en cuenta que al utilizar un fluido cuya viscosidad sea alta en el momento de realizar el enrasado gran parte del fluido queda en los bordes del recipiente, lo esencial es evitar la menor pérdida con el fin no alterar el resultado final del ensayo.