

# UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA



*La Universidad Católica de Loja*

## ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MICROESTRUCTURAL DE LAS ARCILLAS  
EXISTENTES EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO DE LA U.T.P.L.”**

TESIS DE GRADO PREVIA A LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERA CIVIL

**AUTORA:**

**JULIA JHOANA DELGADO GALINDO**

**DIRECTOR:**

Ing. Belizario Zarate.

**Loja-Ecuador**

**2 009**

## **AUTORÍA**

La redacción, ensayos, resultados, comentarios y conclusiones emitidas en la presente investigación son única y exclusiva responsabilidad de la autora.

---

JULIA JHOANA DELGADO GALINDO

**AUTORA**

Loja, 03 de febrero del 2009

Ingeniero.

Belizario Zarate.

**Docente Investigador**

**CERTIFICO:**

Haber efectuado la revisión y corrección de la Tesis “**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MICROESTRUCTURAL DE LAS ARCILLAS EXISTENTES EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO DE LA U.T.P.L.**”; la misma que cumple con las recomendaciones y sugerencias; razón por la cual autorizo la presentación de la misma para los fines legales pertinentes.

Muy atentamente

.....  
Ing. Belizario Zarate

**DIRECTOR DE TESIS**

## **CESIÓN DE DERECHOS**

Yo, Julia Jhoana Delgado Galindo, declaro ser autor del presente trabajo y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del art. 67 del estatuto orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que su parte pertinente textualmente dice “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”.

---

Julia Jhoana Delgado Galindo

**AUTORA**

## **DEDICATORIA**

La presente investigación va dedicada a Dios ya que gracias a Él he logrado siempre cumplir las metas propuestas.

A mis queridos padres Jhovanny y Elena por su apoyo incondicional, confianza, cariño y por ser la guía fundamental para mi formación.

A mis hermanos Luis E., Juan Diego y José David que son una de las luces que iluminan mi vida y razón fundamental para cumplir mis metas.

A mis segundos padres, mis abuelitos Cristóbal quien se convirtió en mi ángel de la guarda desde el momento de su partida y Zoila; por su apoyo, cariño y comprensión, por formar parte importante en mi vida.

A mis queridos tíos Euler, Lilian, Narcisa, Landy, Patricia y Eduardo, a mis abuelitos paternos, primos, y toda mi familia por estar conmigo en todo momento.

***Jhoana***

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Técnica Particular de Loja, a la Escuela de Ingeniería Civil por los conocimientos que he adquirido durante mis estudios universitarios que de seguro me serán útiles en mi vida profesional, y a la Unidad de Ingeniería Civil, Geología y Minas (U.C.G), por las facilidades brindadas para realizar los ensayos para que se pueda llevar a cabo mi proyecto investigativo

A la Ing., Carmen Esparza, por su apoyo desinteresado para la realización de mi proyecto de tesis.

De manera especial a Jamil Guamán con quien pude contar en los momentos de crucial importancia en la culminación de mi proyecto de tesis

A todos quienes forman parte de la UCG por sus consejos y sugerencias, a mis amigos: José S., Freddy, Danny, Wilson, Yadira, Mayra, María José, por su apoyo y a mi compañero de tesis Israel, entre otros por la ayuda brindada para la culminación de la presente investigación.

**LA AUTORA**

# CONTENIDO

## Capítulo 1

1. Descripción general del proyecto.
  - 1.1. Problemática.
  - 1.2. Justificación e importancia de la investigación.
  - 1.3. Objetivos.
  - 1.4. Organización de la investigación.

## Capítulo 2

2. Marco Teórico
  - 2.1. Comportamiento geomecánico de las arcillas.
  - 2.2. Estructura Molecular de las arcillas.
  - 2.3. Estructura atómica de las arcillas.
  - 2.4. Capacidad de intercambio catiónico.
  - 2.5. Atracción de las moléculas de agua bipolares en doble capa difusa.
  - 2.6. Microestructura de las arcillas

## Capítulo 3

3. Medición de las propiedades geotécnicas de campo y laboratorio.
  - 3.1. Metodología de los ensayos de campo.
  - 3.2. Ensayo de penetración estándar SPT.
    - 3.2.1. Procedimiento de ejecución.
    - 3.2.2. Extracción de muestras “inalteradas” (Tubo Shelby).
  - 3.3. Metodología de los ensayos de laboratorio.
    - 3.3.1. Determinación del límite líquido por medio del equipo casagrande (ASTM-D 4318).
    - 3.3.2. Determinación el límite plástico.
    - 3.3.3. Granulometría (ASTM-D422)
    - 3.3.4. Estimación de la superficie específica (Se) de los suelos finos.
  - 3.4. Resultados.

- 3.4.1. Sector: Planta de lácteos de la U.T.P.L. pozo 1.
- 3.4.2. Sector: Planta de lácteos de la U.T.P.L. pozo 2.
- 3.4.3. Sector: Invernadero de la U.T.P.L. pozo 3.
- 3.4.4. Sector: Plataforma de lavado de la U.T.P.L. pozo 4.
- 3.4.5. Resultados obtenidos utilizando las ecuaciones de correlacion.
- 3.4.6. Cuadro de resultados entre los valores obtenidos en ensayos de laboratorio y ecuaciones de correlación.

## **Capítulo 4**

### 4. Conclusiones y recomendaciones.

4.1. Conclusiones

4.2. Recomendaciones

4.3. Referencias bibliográficas.

### 5. Anexos.

**CAPÍTULO**

**I**

**DESCRIPCIÓN GENERAL DEL  
PROYECTO**



## **1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.**

La ciudad de Loja está gobernada potencialmente por suelos arcillosos, razón por la cual surge el estudio de su microestructura, para entender el comportamiento del subsuelo según su ambiente de depositación.

A diferencia de los suelos granulares, el comportamiento mecánico de las arcillas se ve decisivamente influido por su estructura en general y constitución mineralógica en particular. Es por ello que esta investigación pretende analizar las arcillas existentes en el campus universitario de la U.T.P.L. como proyecto piloto para implementación de estudios futuros en la ciudad de Loja o cualquier lugar del país.

Para su aplicabilidad se realizarán los ensayos correspondientes como: límite líquido, límite de plasticidad, contenido de finos, superficie específica por azul de metileno, y demás ensayos relevantes para el estudio.

Finalmente se presentará el comportamiento geomecánico y analizará las propiedades físicas y químicas de los suelos arcillosos estudiados según el ambiente de depositación.

### **1.1 Introducción.**

Las propiedades mecánicas de los suelos se fundamentan en la composición química de los mismos y de las propiedades físicas de las partículas que los constituyen. Particularmente, su dinámica y el inicio de un desplazamiento de tierra o ladera están estrechamente relacionados con la variación de algunas características como son; la composición química, estructura, las propiedades de cohesión y adhesión entre partículas constituyentes de los suelos.

### **1.2 Problemática.**

El conocimiento de las propiedades constitutivas de los suelos de fundación son de principal importancia al momento de entender el macro comportamiento, los cuales son dependiente en el caso de suelos finos tanto de su ambiente de depositación así como las propiedades químicas mineralógicas, las cuales son motivo de análisis y estudio en la presente investigación.



### **1.3. Justificación e importancia de la investigación.**

El estado de arte actual de la ingeniería geotécnica, considera un análisis profundo a establecer los modelos constitutivos de los suelos de cimentación. Para el estudio de zonas con un macro comportamiento gobernado por suelos finos se estudia su microestructura.

En la actualidad se han realizado estudios de suelos finos sin el análisis de su ambiente de depositación ni estructura del material, lo que incurre en conclusiones muchas veces erróneas de comportamiento, es por ello que se vio la necesidad de realizar la investigación correspondiente.

### **1.4 Objetivos.**

- Realizar el “estudio del comportamiento microestructural de las arcillas del campus universitario de la UTPL”
- Demostrar la importancia del comportamiento de los suelos finos a través del estudio de la microestructura según su ambiente de depositación lo que nos ayudara a predecir comportamientos en un ambiente geológico similar.
- Caracterizar los diferentes tipos de arcillas existentes en el campus universitario.
- Investigar y aplicar nuevos conocimientos para saber cómo influye las arcillas en el comportamiento geotécnico, conociendo las características peculiares de composición y formación mineralógica y propiedades de los suelos arcillosos.

### **1.5 Organización de la investigación.**

La siguiente investigación se compone de 4 capítulos:

- En el capítulo 1 se realiza la descripción general del proyecto.
- En el capítulo 2 se da a conocer conceptos generales referentes a la investigación.



- En el capítulo 3 se muestra el proceso de los ensayos de laboratorio utilizados en la presente investigación y los resultados que se obtuvieron.
- En el capítulo 4 se presenta conclusiones y recomendaciones obtenidas en la presente investigación.

**CAPÍTULO**

**II**

**MARCO TEÓRICO**



## 2. MARCO TEÓRICO.

El comportamiento mecánico de las arcillas se ve decisivamente influido por su estructura en general y constitución mineralógica en particular. Es por ello que esta investigación pretende analizar las arcillas existentes en el campus universitario de la U.T.P.L. como proyecto piloto para implementación de estudios futuros en la ciudad de Loja o cualquier lugar del país.

### 2.1 Comportamiento geomecánico de las arcillas.

Las propiedades mecánicas de los suelos se fundamentan en la composición química de los mismos y de las propiedades físicas de las partículas que los constituyen. Particularmente, su dinámica y el inicio de un desplazamiento de tierra o ladera están estrechamente relacionados con la variación de algunas características como son, la composición química, estructura, las propiedades de cohesión y adhesión entre partículas constituyentes de los suelos.

Para poder comprender la variación espacial de las propiedades mecánicas de las series arcillosas, es necesario citar varios conceptos básicos para el entendimiento de dicha variación.

### 2.2 Estructura molecular de las arcillas (microestructura).

Para comprender el comportamiento de los suelos finos es necesario tener un conocimiento profundo de su estructura molecular, por lo que es necesario describir las siguientes definiciones de los términos que se usaran en el desarrollo de la presente investigación.

**Átomo:** Es la unidad más pequeña del elemento, con una combinación especial de protones (carga +), electrones (carga -), y neutrones (neutro). El átomo es neutro en carga eléctrica.

**Iones:** Es la forma desequilibrada de un átomo o grupos de átomos, pueden ser:

Si se incrementa un electrón más, entonces el Ion será de carga negativa (-), denominado Anión.

Si tiene un electrón menos, entonces el Ion será de carga positiva, (+) denominado Cation.



**Compuesto:** Son combinaciones de átomos de elementos, logrados principalmente a través de la unión de iones. La molécula es la unidad más pequeña de un compuesto.

**Enlaces atómicos:** El término valencia se usa comúnmente para explicar los enlaces tanto iónicos como covalentes. La valencia de un elemento es la medida de su capacidad para formar enlaces químicos. Hablamos de electrones de valencia cuando nos referimos a los electrones que toman parte en las uniones químicas. Estos electrones son los que se acomodan en la capa electrónica más externa del átomo, la capa de valencia.

**Enlaces primarios:** (de alta energía), Se realiza con los electrones de valencia, ligan los átomos, y son:

**Iónicos:** Cationes o Aniones.

**Covalentes:** Los enlaces covalentes se comparten uno o más electrones por dos núcleos, con el objeto de completar su orbita exterior.

**Enlaces secundarios:** (de baja energía), Son relativamente débiles, ligan moléculas.

**Enlaces de Van der. Waals-Landon:** Son debidas al movimiento de los electrones en sus orbitas, lo cual induce campos eléctricos, capaces de interactuar con el campo eléctrico de otros átomos, lo cual origina fuerza de atracción.

**Enlaces eléctricos:** Aunque una molécula es eléctricamente neutra, el centro de gravedad de las cargas positivas y negativas pueden no coincidir, dando lugar a un dipolo (Ejea: la molécula de agua.)

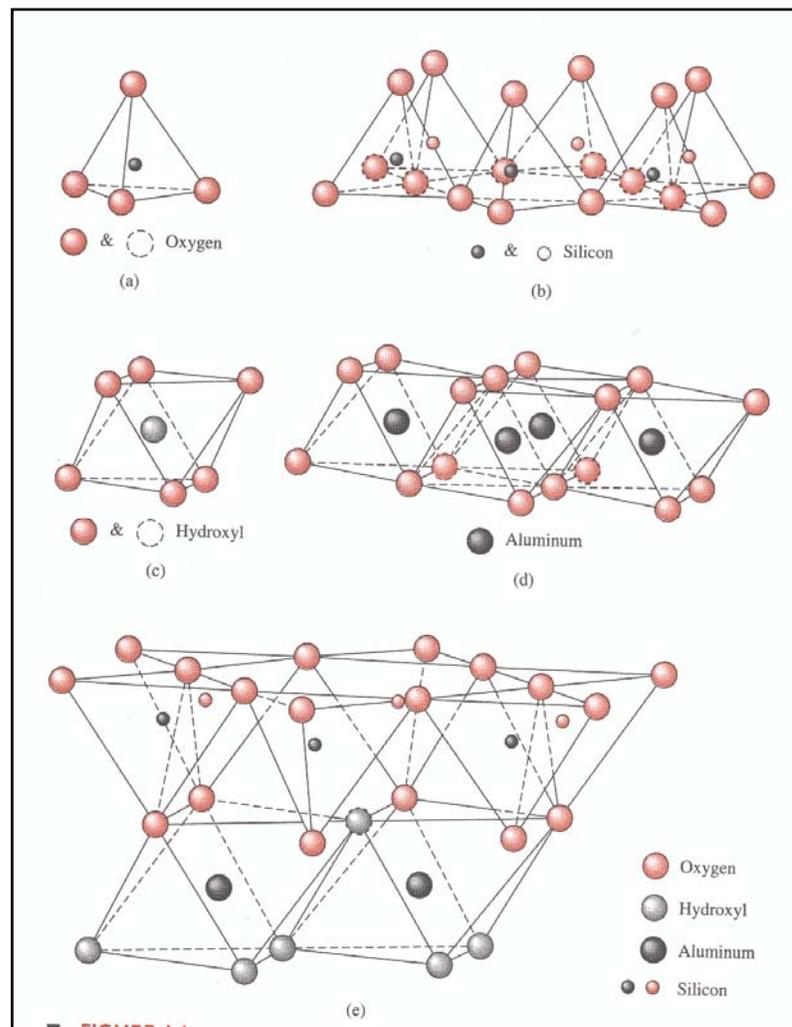
### 2.2.1 Estructura atómica de las arcillas.

Los minerales de arcilla son silicio aluminatos hidratados en forma cristalina relativamente compleja. Aunque la estructura molecular de los minerales de arcilla es complicada, las investigaciones han demostrado que ellos están constituidos por dos tipos de láminas u hojas:

**Lámina silícica:** La unidad básica silícica ( $\text{SiO}_2$ ) está formado por un átomo de silicio, rodeado de cuatro de oxígeno, disponiéndose el conjunto en forma de tetraedro. Los tetraedros se agrupan en unidades hexagonales con un átomo de

oxígeno de enlace entre cada tetraedro lo cual origina la formación de una lámina de Silca.

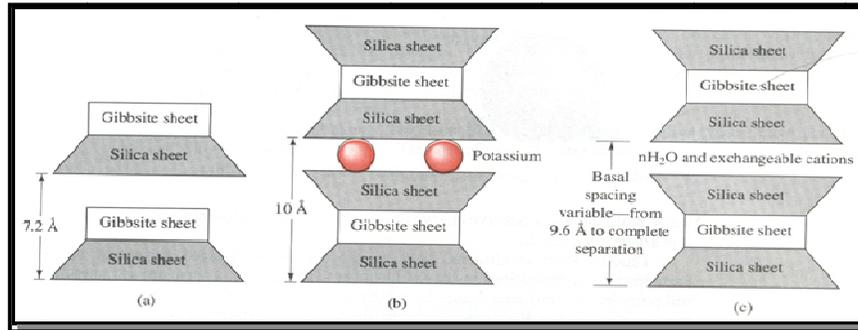
**Lámina alumínica:** La unidad básica alumínica  $(Al OH)_3$  formada por un átomo de aluminio y seis de oxígeno o hidróxido. Alrededor de él se dispone el conjunto en forma de octaedro. Al agruparse los octaedros con un átomo de oxígeno como nexos entre octaedros, da lugar a una lámina alumínica, que también es llamada como lámina de Gibosita. Algunas veces el magnesio reemplaza al átomo de aluminio en el octaedro, en ese caso, la lámina de octaedro se llama lámina de brucita.



**Figura 2.1** (a) tetraedro de silíca, (b) lámina de silíca, (c) octaedro de aluminio, (d) lámina del octaedro de gipsita, (e) lámina elemental de silca-gipsita.

Fuente: [Grim. 1959]

**Los minerales de arcilla son:** Caolinitas, hallosita, illitas, montmorilonitas, Pyriphyllite, Chlorite, Vermiculite. Pero las más comunes se agrupan, según su estructura reticular en: Caolinitas, illitas, montmorilonitas y hallosita, figura 2.2



**Figura 2.2** Estructuras de las arcillas, a) Caolinita, b) Illitas, c) Montmorilonitas.  
Fuente: [Das. 1993] [2]

**Caolinitas:** Están formadas por una unidad silícica y una unidad alumínica, pegadas fuertemente entre ellas. Estas unidades se repiten indefinidamente hasta formar una red o malla, su composición química general se expresa mediante la formula:  $(OH)_8Al_4Si_4O_{10}$

La caolinita es el mineral más prevalente en los suelos. Es muy estable, con poca tendencia al cambio de volumen cuando está expuesto al agua. Las láminas de Caolinitas se unen unas con otras para formar partículas relativamente pequeñas. Las partículas tienen forma plana. Son formadas por la cristalización de las rocas en zonas húmedas.

**Hallosita:** Están formadas por una unidad de silícica y una unidad alumínica, teniendo una unidad o lámina de moléculas de agua entre ellas. Es similar a la caolinita, excepto que están unidas por una lámina de agua.

La lámina de hallosita es una espiral en tubos. La resistencia y la plasticidad son significativamente afectadas por el secado y remoción del agua. Después del secado, el mineral de arcilla no reintegrará la lámina o capa de agua, si esta es expuesta nuevamente al agua. La hallosita seca tiene características de Caolinitas. Se debe de tener cuidado en el laboratorio ya que las hallositas remodeladas parecen ser más fuertes y menos plásticas que las hallositas naturales.



**Illitas:** Están formadas por una unidad alumínica entre dos unidades silícicas para formar una capa o lámina. El potasio provee la unión entre láminas o capas. La composición química es:  $(OH)_4 Ky (Al_4 Fe_4 Mg_4 Si_{8-y}) O_{20}$ .

La illita tiene una forma irregular de copo. Generalmente es más plástica que la Caolinita. No se expande cuando está expuesto al agua, al menos que tenga una deficiencia en potasio. Las illitas prevalecen en depósitos marinos y en suelos derivados de rocas micáceas.

**Montmorilonitas:** Están formadas por una unidad alumínica entre dos unidades silícicas, lo cual forma una lámina o capa de montmorilonita. El hierro o el magnesio pueden remplazar al aluminio en la lámina alumínica. El aluminio puede remplazar a algunos silicios en la lámina silícica. Tiene una débil unión entre láminas o capas. La composición química es:  $(OH)_4 Al_4 Si_8 O_{20} nH_2O$

La montmorilonita tiene forma irregular plana o fibrosa. Debido a su débil unión o ligadura entre sus láminas y la carga negativa producto de sustitución isomórfica, la arcilla fácilmente absorbe agua entre las capas o láminas. Debido a esta propiedad, la arcilla mineral tiene una gran tendencia a producir grandes cambios de volumen, expansión. Las montmorilonitas son formadas comúnmente por rocas ferromagnesianas, en áreas donde existen altas temperaturas y donde el agua de lluvia es abundante; también de la descomposición de las cenizas volcánicas como la Bentonita.

### 2.3 Capacidad de intercambio catiónico.

La sustitución de un ión por otro en la estructura cristalina de un mineral de arcilla o en las imperfecciones de su superficie ocasiona que las partículas de arcilla tengan carga eléctrica negativa. Los cationes del agua de poro son atraídos por la partícula de arcilla para mantener su electro neutralidad, es decir, que la capacidad de intercambio catiónico es la capacidad de atraer cationes a la lámina de suelo o superficie.

El intercambio catiónico en los suelos es una reacción química reversible. Los cationes son retenidos por la superficie de los minerales del suelo y pueden ser

intercambiados. La CEC se expresa usualmente en mili equivalentes por 100g de suelo me/100g) A mayor superficie específica,  $S_e$ , el mineral arcilloso tendrá más capacidad de generar el CEC, tal como se muestra en la figura 2.3, la variación del  $S_e$  con el tipo de minerales. [1]

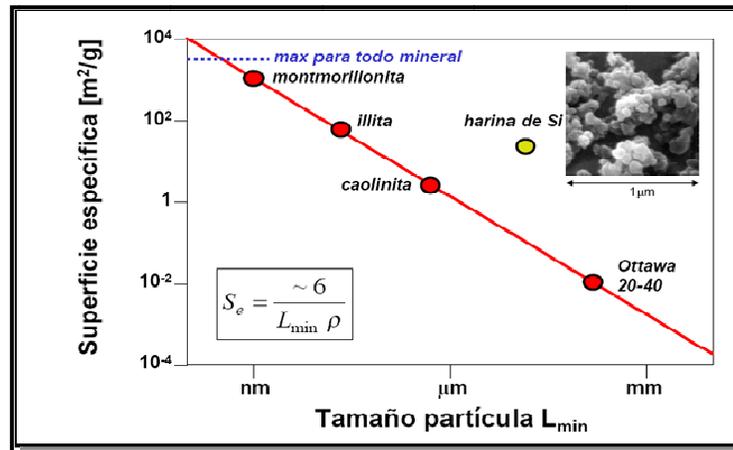


Figura 2.3 Superficie específica en función del tamaño del mineral.  
Fuente: [Santamarina. 2004]

En arcillas secas, la carga negativa es balanceada por un intercambio catiónico como  $Ca^{2+}$  (calcio),  $Mg^{2+}$  (magnesio),  $Na^+$  (sodio) y  $K^+$  (potasio) alrededor de las partículas que están siendo agarradas por la atracción electrostática.

Cuando a la arcilla se le agrega agua, estos cationes (del agua) con los pequeños cantidades de aniones flotan alrededor de la partícula de arcilla. Esto se refiere a la doble capa difusa, en la figura 2.4.

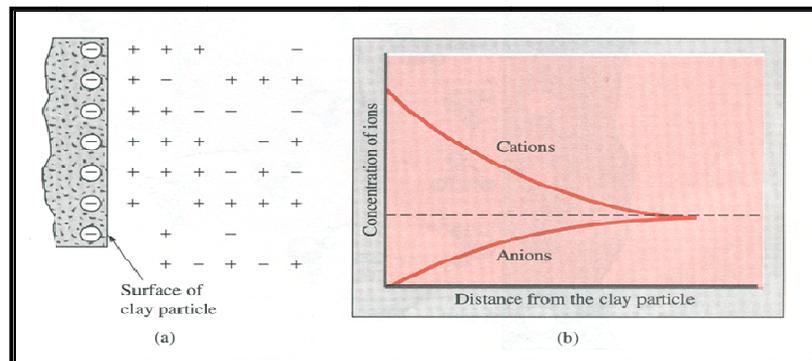


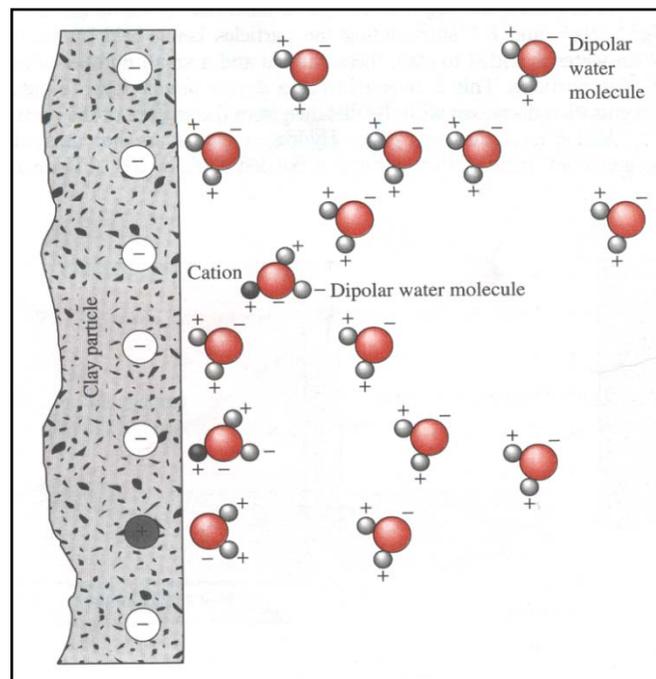
Figura 2.4 (a) Esquema de la doble capa difusa y la figura (b) se muestra como la concentración de cationes decrece con la distancia de la superficie de la partícula.

Fuente: [Das. 1993] [2]

Las moléculas de agua son polares. Los átomos de hidrógeno no son asimétricos alrededor del átomo de oxígeno; en ves de eso, ellos están pegados con un ángulo de  $105^\circ$ . Como resultado, la molécula de agua tiene una carga positiva en uno de sus lados y una carga negativa en el otro lado, por eso se lo conoce como bipolar.

El agua bipolar es atraída por dos razones, por la carga negativa en la superficie de la arcilla y por los cationes en la doble capa difusa (CEC), los cationes en movimiento son atraídos a la partícula de suelo. Un tercer mecanismo en el cual el agua es atraída a la partícula de arcilla es el hidrógeno pegado (hydrogen bonding), donde los átomos de hidrógeno de la molécula de agua comparten con los átomos de oxígeno de la superficie de la arcilla.

Algunos cationes parcialmente hidratados en el agua de poro, son también atraídos a la partícula de arcilla. Estos cationes atraen las moléculas bipolares de agua. Todos estos posibles mecanismos de atracción del agua a la arcilla se muestran en la figura 2.5

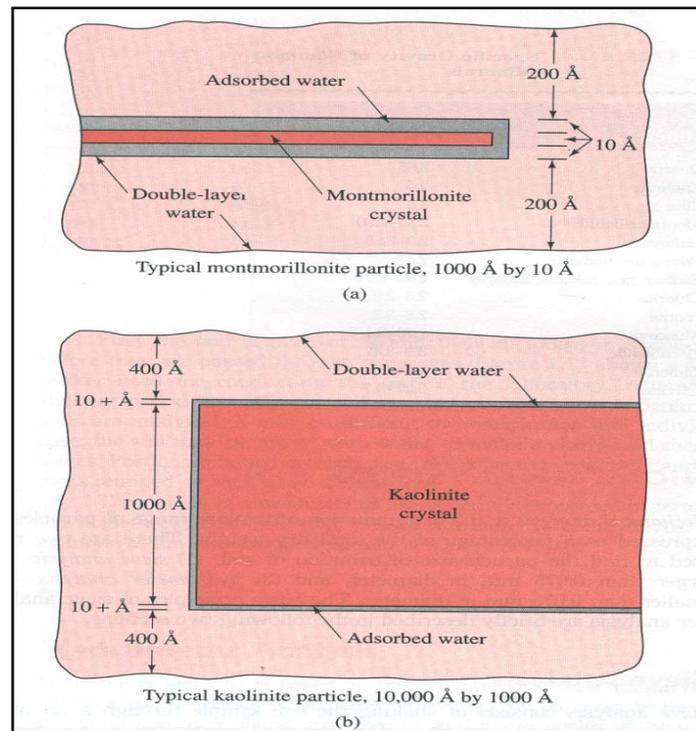


**Figura 2.5** Posibles mecanismos de atracción del agua a la arcilla en la zona de la doble capa difusa.  
Fuente:[Das. 1993] [2]

## 2.4 Atracción de las moléculas de agua bipolares en doble capa difusa.

La fuerza de atracción entre el agua y la arcilla decrece con la distancia desde la superficie de la partícula. Toda el agua que es sostenida a la partícula de arcilla por la fuerza de atracción es conocida como agua de doble capa (double-layer water).

La capa más profunda de la doble capa de agua, donde está ligada o sostenida muy fuertemente a la partícula de arcilla, se la conoce como el agua absorbida (agua de cristalización). Esta agua absorbida es mas viscosa que el agua libre, se encuentra dentro de las partículas de la arcilla.



**Figura 2.6** se muestra el agua adsorbida y la doble capa de agua para una típica partícula de montmorillonita, a) y caolinita, b). La orientación del agua alrededor de la partícula de arcilla es lo que genera al suelo arcilloso las propiedades de plasticidad.

Fuente: [Das. 1993] [2]

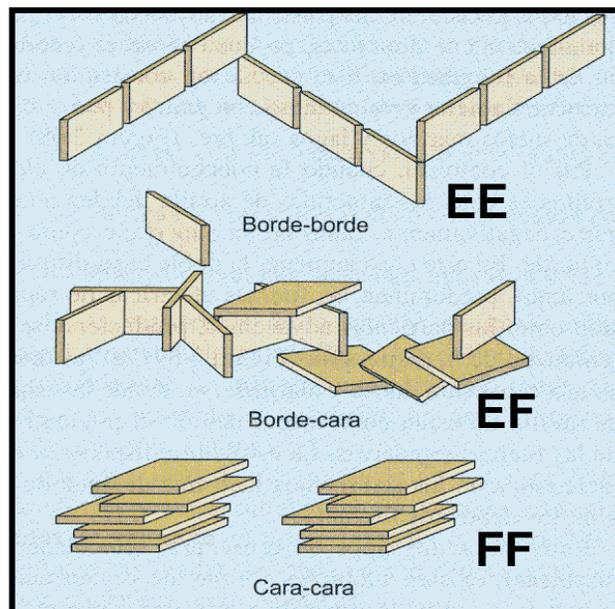
Por lo tanto, la arcilla es capaz de desarrollar la cohesión, debido a la atracción y unión entre la lámina de suelo y el agua. El tipo de mineral arcilloso es el responsable en desarrollar la alta cohesión y plasticidad en el suelo.

## 2.5 Microestructura de las arcillas.

La microestructura “Fabric” se la conoce como el arreglo relativo de las partículas depende de las fuerzas interparticulares y de la forma de las partículas. La carga en la superficie y bordes del mineral dependen **de la concentración iónica y del PH del fluido** que lo rodea y es compensada por la nube de contorno que rodea la partícula, tal como se ha descrito en los párrafos anteriores.

El resultado de las fuerzas eléctricas ínter particulares incluye la atracción Coulomb entre bordes cargados positivamente y caras cargadas negativamente, doble capa de repulsión, y la atracción de van der Waals. Las dos primeras dependen de la concentración de iones y PH, mientras que la de van der Waals no.

Entonces se pueden identificar los siguientes arreglos de partículas, figura 2.7:



**Figura 2.7** Tipos de arreglo de microestructuras de las arcillas  
Fuente: Tesis Ing. Eddie Tandazo[4]

**Disperso:** Fluido de poro con poca concentración iónica y PH lejos del mineral (doble repulsión de capas previene la asociación de partículas).

**Bordes a caras (EF):** Cuando el PH está entre los puntos isoeléctricos entonces estos bordes y caras tienen diferentes cargas. Las partículas deben ser espesas



entonces las caras de doble capa no oculten la carga de los bordes. (e.g. kaolinite), caso contrario la floculación EF no es visible (e.g montmorillonite- rand et al. 1980, Chen et al 1990).

**Cara a cara (FF)** Cuando la atracción de van der Waals prevalece a una alta concentración de iones.

**Bordes a bordes (EE):** Condición intermedia entre floculación EF. Y la agregación (FF).

**CAPÍTULO**

**III**

**MEDICIÓN DE LAS PROPIEDADES  
GEOTÉCNICAS EN CAMPO**

### 3. MEDICIÓN DE LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS EN CAMPO LABORATORIO.

A todos los geomateriales muestreados, se les realizó los ensayos básicos de clasificación de suelos, los resultados se presentan en los anexos.

En las muestras de arcilla seleccionadas, se realizó la estimación de la superficie específica mediante la técnica del Azul de Metileno, (Santamarina et al 2004).

#### 3.1 Metodología de los ensayos de campo.

La campaña de exploración complementaria de campo, esta definida por ensayos “in situ” para estimar propiedades y características geotécnicas del subsuelo. Debido a que estos ensayos fueron realizados según la norma ASTM (American Society for Testing and Materials), se ha detallado su procedimiento según la misma, se trataran en general los procedimientos y se comentara con más detalle aspectos relevantes de cada prueba, las cuales se indican a continuación:

#### 3.2 Ensayo de penetración estándar SPT

El ensayo de penetración estándar (SPT) es quizás el ensayo de campo más utilizado en la caracterización geotécnica. La prueba consiste en dejar caer en forma repetida un peso de 140 lbf (623 N) desde una caída de 30 pulgadas (76 cm) en un yunque (anvil) que esta conectado con unas barras conectadas con un muestreador tipo cuchara partida (ASTM D 1586). En cada caída del martillo se tiene una energía potencial ( $E^*$ ) que es teóricamente equivalente a 475J (350 lbf-ft). El Número de golpes que se necesita dar con el martillo para penetrar los últimos 30 cm de un total de 45 cm de penetración, se lo conoce como  $N_{spt}$ .

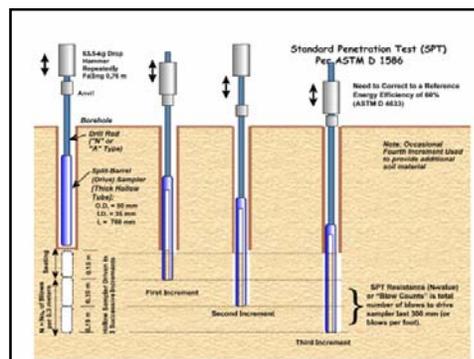
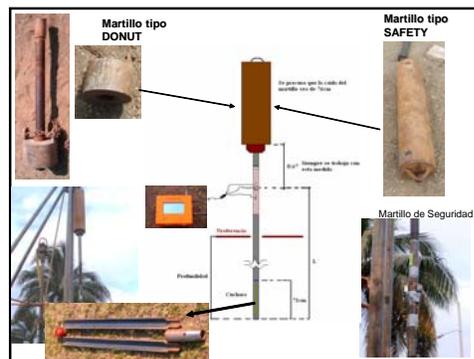


Fig. 3.1 Esquema del proceso en campo del ensayo de penetración estándar, SPT  
Fuente: Tesis Ing. Eddie Tandazo [4]

Por lo general, este ensayo se lo utiliza para caracterizar depósitos de suelos granulares y en arcillas de consistencia rígida, en las cuales la penetración del tubo shelby se vuelve complicada. Debido a la pérdida de energía que se genera en los diferentes componentes mecánicos, la medición de la energía transmitida a las barras y al muestreador es de gran importancia, debido a que el valor de N durante un intervalo de prueba en un depósito de suelo es inversamente proporcional a la energía transmitida al muestreador, Schmertmann y Palacio, 1979.

### 3.2.1 Procedimiento de ejecución.

- 1.- Preparar la cuchara partida, limpiarla de impurezas, colocarle el retenedor y anexarlas a las barras Aw.
- 2.- Introducir las barras con el muestreador en el final hasta la profundidad deseada.
- 3.- Se toma el número de golpes en 3 incrementos de 15cm, donde los primeros 15cm no son de consideración. Como resultado, se registran el número de golpes acumulados en los últimos 30 cm de cada intervalo de muestreo.



**Fig. 3.2** Esquema del sistema instrumentado del ensayo SPT en campo.  
Fuente: Tesis Ing. Eddie Tandazo[4]

### 3.2.2 Extracción de muestras “inalteradas” (Tubo Shelby)

El muestreo por medio de tubo shelby se lo realiza para suelos finos. Las profundidades de muestreo serán cada 1.5m, cada vez que existan cambios de estratos evidenciados por el lavado y por la caracterización previa del sitio por medio

del ensayo CPT. En la figura 3.3 se muestra un tubo de pared delgada utilizado en el proyecto, según lo establecido en la norma ASTM D 1587.



**Fig. 3.3** Vista del tubo de pared delgada y el proceso de colocación en las barras de extensión  
Fuente: La autora

1.- Perforación hasta la profundidad de muestreo con una posteadora de un diámetro mayor al del tubo shelby.



**Figura 3.4** Perforación con posteadora.  
Fuente: La autora

2.- Una vez libre de impurezas el muestreador, se lo coloca con las barras, (debe estar en buen estado y poseer válvula que forme un vacío para mantener la muestra en el tubo al momento de extraerla del suelo).

3.- Se introduce el muestreador hasta la profundidad deseada.



**Figura 3.6** Introducción del muestreador.  
Fuente: La autora

4.- Se le aplica una presión axial para hundir el muestreador 45cm.

5.- Se debe esperar de 5 a 10 min cuando el suelo es muy blando, de esta forma se garantiza que el suelo se adhiera a las paredes del tubo y no se pierda la muestra. Para suelos muy duros no es necesario esperar para retirar la muestra.

6.- Antes de extraer la muestra, se giran las barras en el sentido de las manecillas del reloj, para cortar el suelo en la parte inferior.

7.- Una vez que se extrae el muestreador, se procede a tomar la muestra de suelo, que se idealiza inalterada.

### 3.3 Metodología de los ensayos de laboratorio

Se realizaron los ensayos de laboratorio de rutina, siguiendo las normas ASTM, se adjuntan en el apéndice.

- |   |                              |                  |
|---|------------------------------|------------------|
| ➤ | Contenido de humedad natural | norma ASTM D2216 |
| ➤ | Límites de Atterberg         | norma ASTM D4318 |
| ➤ | Granulometría                | norma ASTM D422  |
| ➤ | Clasificación de Suelos      | norma ASTM D2487 |
| ➤ | Ensayo de azul de Metileno.  |                  |

### 3.3.1 Determinación del límite líquido por medio del equipo Casagrande (ASTM-D 4318)

En primer lugar procedemos a preparar la muestra de ensayo.

- 1.- Se limpia el área donde se va a triturar la muestra y procedemos a disgregar las partículas y tamizarlas a través de la malla # 40.



**Figura 3.7** Tamizado de muestra.  
Fuente: La autora

- 2.- Se calibra el equipo Casagrande con ayuda del ranurador, esta calibración se la hace para controlar que la altura de caída de la copa sea igual a 1.00cm.



a)



b)

**Figura 3.8** Calibración del equipo. a) Equipo necesario; b) Calibración de altura de caída de la copa.

Fuente: La autora

- 3.- Se toma 150gr de la muestra tamizada, se mezcla la muestra con suficiente cantidad de agua, para obtener una masa uniforme.



a)



b)



c)

**Figura 3.9** Preparación de la muestra: a) Selección de muestra; b) Mezclado de la muestra; c) Pasta homogénea.

Fuente: La autora

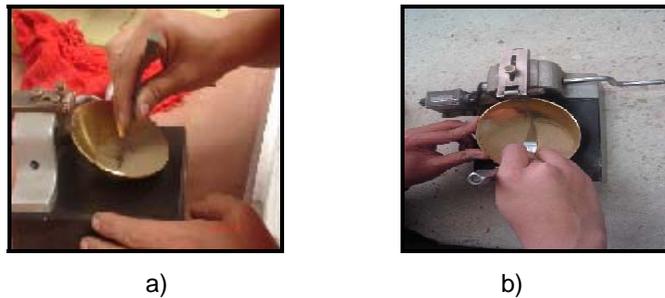
- 4.- Se coloca una pequeña cantidad de ésta masa en la copa, se apisona el material con ayuda de la espátula hasta emparejar la superficie, asegurándose siempre que la altura de ésta sea de 1.00 cm.



**Figura 3.10** Colocación de muestra en equipo: a) Colocación de muestra; b) Enrasado de muestra.

Fuente: La autora

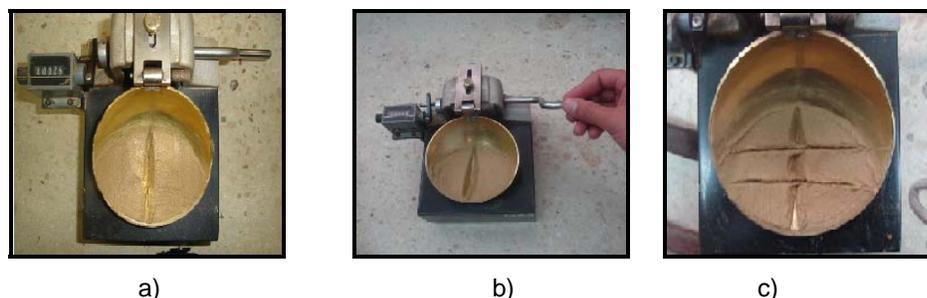
- 5.- Se traza un canal sobre el eje de la copa con el ranurador (puede ser el ranurador ASTM ó el Casagrande)



**Figura 3.11** Trazo de canal en la muestra: a) Acanalador Casagrande; b) Acanalador ASTM

Fuente: La autora

- 6.- Se rota la palanca a dos revoluciones por segundo, hasta que la muestra se una en la parte inferior del canal, en una longitud de ½ pulgada, se registra el número de golpes; se toma una parte de la muestra, exactamente donde se unió la ½ pulgada y se coloca en un recipiente adecuado.



**Figura 3.12** Unión del canal: a) Inspección del contador; b) Registro de N° de golpes; c) Unión de canal

Fuente: La autora

7.- Se registra el peso de la muestra húmeda.



**Figura 3.13** Peso de muestra húmeda.  
Fuente: La autora

8.- Se coloca el recipiente más muestra en el horno a una temperatura constante de 110° C durante 24 horas y luego se pesa.



a)



b)

**Figura 3.14** Muestra seca: a) Muestra húmeda; b) Peso muestra seca.  
Fuente: La autora.

9.- Se retira el material sobrante de la copa y se lo coloca en el recipiente de preparación; la copa, la espátula y el ranurador se limpian para iniciar un nuevo punto.



a)



b)

**Figura 3.15** Limpieza de Equipo: a) Limpieza de Copa; b) Limpieza de Accesorios.  
Fuente: La Autora

10.- Se repite por lo menos tres veces más el procedimiento anterior, añadiendo en cada caso una pequeña cantidad de agua, a fin de obtener una resistencia de la masa más suave. El propósito de éste procedimiento es obtener por lo menos una muestra cuya consistencia produzca resultados dentro de cada uno de los siguientes límites de golpes, 15-20, 20-25, 30-35, 35-40.

### 3.3.2 Determinación del límite plástico.

- 1.- Se selecciona 20 g de porción de mezcla sobrante del material preparado para el ensayo de límite líquido.
- 2.- Se agrega agua destilada a la muestra de suelo hasta que la masa se vuelva plástica y pueda formarse fácilmente una esfera. Se Toma una porción de esta esfera de aproximadamente 8 g de masa para el ensayo.



**Figura 3.16** Selección de material.  
Fuente: La autora.

- 3.- Se toma 1,5 a 2 g de la masa de suelo y se forma con esta una masa elipsoidal.
- 4.- Se rola la masa de suelo entre la palma o los dedos de la mano y el plato de vidrio con presión suficiente hasta obtener un hilo de diámetro uniforme a una velocidad de 80 a 90 ciclos por minuto.



**Figura 3.17** Rolado de material.  
Fuente: La autora.

- 5.- El hilo se irá deformando hasta que su diámetro alcance 3 mm o 3,20 mm. Se trata de producir fisuramientos tanto transversales como longitudinales, esto no debe tomar más de 2 minutos.



**Figura 3.18** Fisuramiento de material.  
Fuente: La autora.

- 6.- Cuando el hilo de suelo obtiene un diámetro de 3mm, se lo rompe en seis u ocho pedazos. Se aprieta los pedazos entre los dedos para formar una masa uniforme en forma elipsoidal y reenrole.
- 7.- Se continúa con este procedimiento hasta que el hilo se rompa en tres segmentos precisamente en el momento de alcanzar dicho diámetro.



**Figura 3.19** Muestra fisurada  
Fuente: La Autora.

- 8.- Se recoge las porciones de suelo disgregado y se coloca en un recipiente seco, y se determina el contenido de humedad del suelo.



a)



b)

**Figura 3.19** Contenido de Humedad: a) Peso Muestra Húmeda; b) Peso Muestra Seca.  
Fuente: La Autora.

### 3.3.3 Granulometría (ASTM-D422)

A fin determinar la distribución granulométrica de los suelos se procedió a realizar el ensayo de granulometría de acuerdo a la NORMA ASTM D 422.

- 1.- Se toma la cantidad de suelo representativo, según lo indique la Norma de la muestra a analizarse.



**Figura 3.20** Peso de la muestra  
Fuente: La autora

2.- Se sumerge la muestra en agua durante 24 horas.



**Figura 3.21** Sumergimiento de muestra  
Fuente: La autora

3.- Se coloca la muestra en el tamiz #200, como protección de éste se puede colocar un tamiz (tamiz #40), y se la disuelve por medio de agua a presión.



a)



b)



c)



d)

**Figura 3.22** Protección del tamiz: a) Tamiz protector b) Lavado de muestra c) Lavado de muestra retenida de tamiz #40 d) Muestra retenida en tamiz #200.

Fuente: La autora

4.- Con movimientos giratorios lavamos la muestra retenida en el tamiz #200 hasta que el agua que pasa a través del tamiz sea nítida, esto nos indicará que las partículas menores al tamiz #200 han pasado en su totalidad por éste.



**Figura 3.23** Lavado muestra  
Fuente: La autora

5.- El material retenido en ambos tamices se coloca en un recipiente con ayuda del agua.



**Figura 3.24** Muestra lavada: a) Colocación de muestra en recipiente b) Identificación de muestra  
Fuente: La autora

6.- La muestra es secada totalmente en el horno a una temperatura de 105 °C, posteriormente se toma su peso.



**Figura 3.25** Secado de muestra: Proceso de secado  
Fuente: La autora

7.- Se coloca la muestra en los tamices ordenados en forma ascendente, los cuales se ubican en el tamizador mecánico por un tiempo mínimo de 5 minutos



**Figura 3.26** Tamizado de muestra: a) Muestra lista para tamizar b) Proceso de tamizado.  
Fuente: La autora

8.- Se determina los pesos retenidos en cada tamiz y los pesos del tamiz respectivamente y determinamos pesos retenidos parciales.



a) b)  
**Figura 3.27** Pesos retenidos parciales: a) Peso de muestra más tamiz; b) Peso del tamiz.  
 Fuente: La autora.

9.- Se calculan los porcentajes retenidos acumulados.

10.- Se determina el porcentaje que pasa por cada tamiz y se lo obtiene por la diferencia de 100 del porcentaje retenido acumulado.

### 3.3.4 Estimación de la superficie específica ( $S_e$ ) de los suelos finos.

La superficie específica  $S_e$  es definida como la relación entre la superficie de una partícula  $A_p$  y su masa  $m$ . Resulta independiente y complementaria al análisis granulométrico y su valor determina el balance entre fuerzas capilares, eléctricas y gravimétricas actuado sobre las partículas (Santamarina et al 2001).

La tabla 3.1 muestra la superficie específica teórica para diferentes formas o geometrías de granos finos; las ecuaciones en esta tabla confirman que la  $S_e$  está controlada por la menor dimensión de las partículas.

Forma o Geometría	Dimensiones	Ejemplos	Superficie específica
 Esferas y cubos	Diámetro (o lado) $D$	Alofanos	$S_e = \frac{6}{D \cdot \rho_w \cdot G_s}$
 Cilindros y primas	Diámetro (o lado) $D$ , largo $L$ (con $L \gg D$ )	Halosita, Imogolita	$S_e = \frac{4}{D \cdot \rho_w \cdot G_s}$
 Formas aplanadas	Espesor $t$ , ancho $D$ , y largo $L$ (con $t \gg L > D$ )	Montmorillonita, Caolinita, Mica	$S_e = \frac{2}{t \cdot \rho_w \cdot G_s}$

$\rho_w$  = densidad del agua,  $G_s$  = gravedad específica,  $S_e$  = superficie específica

**Tabla 3.1** Superficie específica teórica para diferentes formas o geometrías de granos finos.  
 Fuente: [Santamarina 2004][1].

El catión de Azul de Metileno, AM, tiene forma prismática de dimensiones  $17 \text{ \AA} \times 7.6 \text{ \AA} \times 3.25 \text{ \AA}$ . La superficie máxima cubierta por un catión de AM es  $\sim 130$ , aunque puede ser menor dependiendo de la orientación del catión con respecto a la superficie de la arcilla que absorbe.

Los cationes de una solución acuosa del cloruro azul de metileno (peso molecular  $319.87 \text{ g/mol}$ ) son absorbidos por las caras negativas de la superficie de arcilla.

1.- Preparar la solución acuosa de Azul de Metileno (AM) mezclando  $1.0 \text{ g}$  de polvo seco de AM con  $200 \text{ ml}$  de agua desionizada.



**Figura 3.28** Mezclado del AM con el agua desionizada

Fuente: La autora

2.- Preparar una superficie de suelo mezclando  $10 \text{ g}$  de suelo secado a horno con  $30 \text{ ml}$  de agua desionizada.



**Figura 3.29** Mezclado el suelo con el agua desionizada

Fuente: La autora

3.- Agregar la solución de AM a la suspensión de suelo.



**Figura 3.30** Mezclado del AM con el suelo

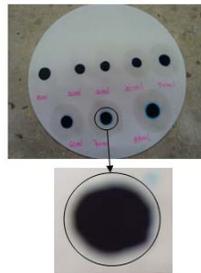
Fuente: La autora

- 4.- Mezclar la suspensión para dar tiempo al catión AM de ser absorbido sobre la superficie mineral, reemplazando los cationes en la capa difusa.



**Figura 3.28** Absorción del catión AM sobre la superficie mineral  
Fuente: La autora

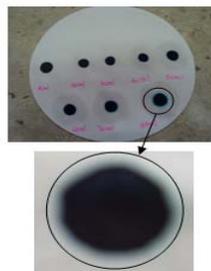
- 5.- Colocar una gota de la suspensión sobre papel de filtro. La gota se absorbe por capilaridad formando una marca circular.



Antes del “punto final”

**Figura 3.29** Resultados del ensayo del AM  
Fuente: La autora

- 6.- Terminar el ensayo cuando un halo azul claro se forma concéntricamente alrededor de la gota sobre el papel, como se muestra. Este “punto final” indica exceso de AM en el fluido, es decir, saturación de la superficie del mineral.



Después del “punto final”

**Figura 3.30** Después del punto final  
Fuente: La autora

7.- Registrar el número N de incrementos en ml de AM necesarios para alcanzar el “punto final” y computar la  $S_e$  como:

$$S_e = \frac{1gr}{319.87gr/mol} \cdot \frac{1}{200ml} \cdot (N) \cdot N_{AV} \cdot A_{AM} \cdot \frac{1}{10gr}$$

Donde:

$N_{AV} = 6.02 \times 10^{23}$  moléculas/mol es el Número de Avogadro

$A_{AM}$  es el área cubierta por un catión de AM, asumida generalmente en

$130 \text{ \AA}^2$ .

### 3.4 Resultados

#### 3.4.1 Sector: Planta de lácteos de la U.T.P.L. pozo 1

Tabla 3.5 Tabla de resultados de los ensayos realizados

ENSAYO	W (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	#200	CLASIFICACIÓN		SE
						SUCS	AASHTO	
1	30,49	43,21	31,13	12	100	OL	A-7-5	61.16547
2	24,93	43,45	30,65	12	91	OL	A-7-5	61.16547
3	28,94	43,40	27,22	16	91	OL	A-7-6	73.39857
4	23,48	56,84	37,68	19	87	OH	A-7-5	85.63166

#### 3.4.2 Sector: Planta de lácteos de la U.T.P.L. pozo 2

Tabla 3.6 Tabla de resultados de los ensayos realizados en laboratorio

ENSAYO	W (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	#200	CLASIFICACIÓN		SE
						SUCS	AASHTO	
1	30,86	81,35	32,23	49	96	CH	A-7-5	73.39857
2	26,12	67,67	21,52	46	91	CH	A-7-6	61.16547
3	22,08	56,92	22,45	35	73	CH	A-7-6	73.39857
4	21,18	37,15	20,82	16	94	CL	A-6	85.63166

### 3.4.3 Sector: Invernadero de la U.T.P.L. pozo 3

Tabla 3.7 Tabla de resultados de los ensayos realizados en laboratorio

ENSAYO	W (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	#200	CLASIFICACIÓN		SE
						SUCS	AASHTO	
1	13,86	44,05	19,14	25	85	CL	A-7-6	61.16547
2	12,99	44,93	19,30	26	85	CL	A-7-6	97.86476
3	9,21	41,87	23,65	18	83	CL	A-7-6	97.86476
4	13,84	60,50	26,61	33	96	CH	A-7-6	97.86476

### 3.4.4 Sector: Plataforma de lavado de la U.T.P.L. pozo 4

Tabla 3.8 Tabla de resultados de los ensayos realizados en laboratorio

ENSAYO	W (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	#200	CLASIFICACION		SE
						SUCS	AASHTO	
1	16,63	40,96	24,70	16	91	CL	A-7-6	85.63166
2	17,07	48,00	27,89	20	89	CL	A-7-6	73.39857
3	14,59	37,22	17,97	19	84	CL	A-6	73.39857
4	11,31	37,50	17,30	21	84	CL	A-6	97.86476

### 3.4.5. Resultados obtenidos aplicando las ecuaciones de correlación

$$W = \frac{Se - 118.32}{-1.7757}$$

$$LP = \frac{Se - 103.97}{-1,1897}$$

Tabla 3.9 Planta de lácteos de la UTPL Pozo 1

Muestra	Se	W (%)	LP (%)
1	61.1654735	32.18704	35.97926076
2	61.1654735	32.18704	35.97926076
3	73.3985682	25.297872	25.69675702
4	85.6316629	18.408705	15.41425329

Tabla 3.10 Planta de lácteos de la UTPL Pozo 2

Muestra	Se	W (%)	LP (%)
1	73.3985682	25.297872	25.69675702
2	61.1654735	32.18704	35.97926076
3	73.3985682	25.297872	25.69675702
4	85.6316629	18.408705	15.41425329

Tabla 3.11 Invernadero de la UTPL Pozo 3

Muestra	Se	W (%)	LP (%)
1	61.1654735	32.18704	35.97926076
2	97.8647576	11.519537	5.131749552
3	97.8647576	11.519537	5.131749552
4	97.8647576	11.519537	5.131749552

Tabla 3.12 Plataforma de lavado de la UTPL Pozo 4

Muestra	Se	W (%)	LP (%)
1	85.6316629	18.408705	15.41425329
2	73.3985682	25.297872	25.69675702
3	73.3985682	25.297872	25.69675702
4	97.8647576	11.519537	5.131749552

### 3.4.6. Cuadro de resultados entre los valores obtenidos en ensayos de laboratorio y ecuaciones de correlación.

Tabla 3.13 Planta de lácteos de la UTPL Pozo 1.

MUESTRA	ENSAYOS DE LABORATORIO		FÓRMULAS EMPÍRICAS	
	W (%)	LP (%)	W (%)	LP (%)
1	30,49	31,13	32.18704	35.97926
2	24,93	30,65	32.18704	35.97926
3	28,94	27,22	25.29787	25.69676
4	23,48	37,68	18.40871	15.41425

Tabla 3.14 Planta de lácteos de la UTPL Pozo 2

MUESTRA	ENSAYOS DE LABORATORIO		FÓRMULAS EMPÍRICAS	
	W (%)	LP (%)	W (%)	LP (%)
1	30,86	32,23	25.29787	25.69676
2	26,12	21,52	32.18704	35.97926
3	22,08	22,45	25.29787	25.69676
4	21,18	20,82	18.40871	15.41425

Tabla 3.15 Invernadero de la UTPL Pozo 3

MUESTRA	ENSAYOS DE LABORATORIO		FÓRMULAS EMPÍRICAS	
	W (%)	LP (%)	W (%)	LP (%)
1	13,86	19,14	32.18704	35.97926
2	12,99	19,30	11.51954	5.13175
3	9,21	23,65	11.51954	5.13175
4	13,84	26,61	11.51954	5.13175

Tabla 3.16 Plataforma de lavado de la UTPL Pozo 4

MUESTRA	ENSAYOS DE LABORATORIO		FÓRMULAS EMPÍRICAS	
	W (%)	LP (%)	W (%)	LP (%)
1	16,63	24,70	18.40871	15.41425
2	17,07	27,89	25.29787	25.69676
3	14,59	17,97	25.29787	25.69676
4	11,31	17,30	11.51954	5.13175

**CAPÍTULO**

**IV**

**CONCLUSIONES  
Y  
RECOMENDACIONES**



## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 4.1 Conclusiones

- En las zonas estudiadas existe un comportamiento similar lo cual describe un macrocomportamiento a través de su estructura molecular mediante un ensayo alternativo no tradicional como lo es el Azul de Metileno.
- Los resultados obtenidos de las muestra en el pozo 1 (Exterior planta de lácteos de la U.T.P.L.) en su macrocomportamiento tienen valores promedios de W: 26,96%; LL: 46,72%; LP: 31,67% dependientes de su profundidad (Pozo 1: 4m).
- Los resultados obtenidos de las muestras del pozo 2, (Interior de la planta de lácteos de la U.T.P.L.) en su macrocomportamiento tienen valores promedios de W: 25,06%; LL: 60,77%; LP: 24,25% dependientes de su profundidad (Pozo 2: 4m).
- Los resultados obtenidos de las muestras del pozo 3 (Invernadero de la U.T.P.L.) en su macrocomportamiento tienen valores promedios de W: 12,47%; LL: 47,83%; LP: 22,17% dependientes de su profundidad (Pozo#3: 4m).
- Los resultados obtenidos de las muestras obtenidas en el pozo 4, (Plataforma de lavado de la U.T.P.L.) en su macrocomportamiento tienen valores promedios de W: 14,90%; LL: 40,92%; LP: 21,96% dependientes de su profundidad (Pozo#4: 4m).

Los valores promedios del contenido de humedad, límite líquido y límite plástico fueron calculados en base a todos los datos de las muestras obtenidas y con los ensayos tradicionales. Fueron separados por sectores.

- Las muestras de suelos extraídos del pozo 1 (Exterior de la planta de lácteos de la U.T.P.L.) fueron clasificadas de acuerdo al método SUCS y AASHTO dando como resultado un suelo OL, OH y A-7-5, A-7-6 respectivamente.



- Las muestras de suelos extraídos del pozo 2 (Interior de la planta de lácteos de la U.T.P.L.) fueron clasificadas de acuerdo al método SUCS y AASHTO dando como resultado un suelo CH, CL y A-7-5, A-7-6, A-6 respectivamente
- Las muestras de suelos extraídos del pozo 3 (Invernadero de la U.T.P.L.) fueron clasificadas de acuerdo al método SUCS y AASHTO dando como resultado un suelo CL, CH y A-7-6 respectivamente.
- Las muestras de suelos extraídos del pozo 4 (Plataforma de lavado de la U.T.P.L.) fueron clasificadas de acuerdo al método SUCS y AASHTO dando como resultado un suelo CH, CL y A-7-6, A-6 respectivamente.
- La correlación obtenida entre los contenidos de humedad de las muestras de los diferentes pozos y su superficie específica fue válida ya que el valor de  $r$  es de 0,91 y está dentro de los rangos aceptables para la correlación de datos ( $0,7 < r < 1,0$ ).
- La ecuación de correlación entre el contenido de humedad ( $w$ ) y la superficie específica ( $Se$ ) para cada uno de los suelos analizados está dada por la siguiente expresión:

$$W = (Se - 118.32) / -1.7757$$

- Los valores de contenido de humedad ( $w$ ) obtenidos mediante la ecuación determinada son similares a los valores obtenidos mediante ensayos tradicionales.
- Los valores de límite plástico con la superficie específica se correlacionan linealmente, aunque numéricamente sean un poco diferentes. Esta



correlación es válida ya que el valor de  $r$  se encuentra dentro del rango de 0,70 a 1,00.

- La ecuación de correlación entre el límite plástico (LP) y la superficie específica (Se) para cada uno de los suelos analizados está dada por la siguiente expresión:

$$LP = (Se - 103.97) / -1.1897$$

- Los valores de Límite Plástico obtenidos a través de la ecuación de correlación, son diferentes a los valores obtenidos mediante ensayos tradicionales.
- La correlación que se realizó entre el límite líquido y la superficie específica no fue válida dado que el valor de  $r$  no está dentro del rango de 0,70 a 1,00.



## 4.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar el cálculo de los valores del contenido de humedad, límite líquido y límite plástico con los ensayos tradicionales ya que haciéndolo a través de la superficie específica no pudimos obtener datos del límite plástico y límite líquido.
  
- Se recomienda realiza los ensayos físico – químicos de composición mineralogía de las arcillas para comprobar los intercambios catiónicos y de esta forma ver el nivel de atracción entre partículas y poder de esta manera discretizar de una mejor forma las zonas de estudio.
  
- Es necesario complementar esta investigación con el estudio geomorfológico y geológico que definan el macró dominio en el estudio.



### 4.3 Referencias bibliográficas.

- [1].- SANTAMARINA, Carlos. 2001. **“Soil Behavior at the Microscale”**.
- [2].- DAS, Braja. 2005 **“Fundamentos de la Ingeniería Geotécnica”**.
- [4].-RAMÍREZ C., Jenny, TANDAZO, Eddie. 2006. **“OBTENCION DE ECUACIONES DE CORRELACION PARAESTIMAR LAS VELOCIDADES DE LAS ONDAS DE CORTE EN LOS SUELOS DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL”**
- [5].- GUILLERMO A., Narsilio, SANTAMARINA, Carlos. 2005. **“Clasificación de los suelos: fundamento físico, prácticas actuales y recomendaciones”**.
- [6].- ASTM D 4318 Método de Ensayo para determinar Límite Líquido, Límite Plástico.
- [7].- ASTM D 422 Método de Ensayo para determinar Granulometría.
- [8].- SABELLI, Alejandro; RODRÍGUEZ, Esteban; RAGO, Walter; PÉREZ, Celeste; AIELLO, Ernesto. **“Informe de Avance N° 1 Límites de Atterberg”. Arcillas Activas en Argentina. Diagnóstico y Remediación”**.

**ANEXOS**

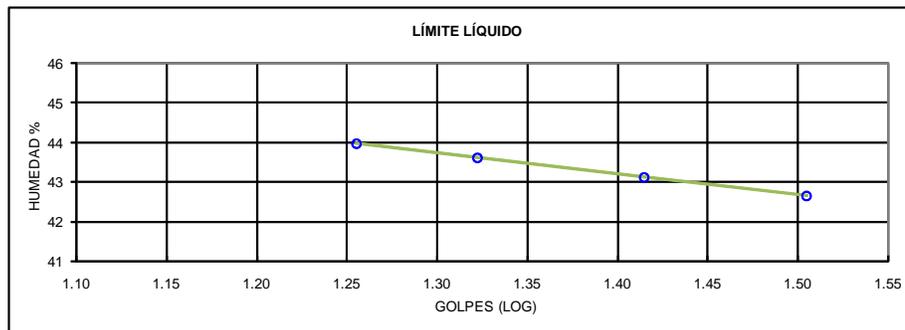


**UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA**  
**LABORATORIOS UCG**  
**ENSAYO DE CLASIFICACIÓN**



PROYECTO: TESIS DE GRADO NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27  
 LOCALIZ: PLANTA DE LACTEOS POZO: 1  
 FECHA: 15-10-08 MUESTRA: 1  
PROFUNDIDAD: 1.0 a 1,50 m.

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		265.63 280.84	218.60 232.82	72.46 66.04	32.18 28.79	30.49
2.- LÍM. LÍQUIDO	18 21 26 32	81.87 78.21 83.84 82.17	77.88 73.88 79.59 78.16	68.82 63.90 69.78 68.74	44.04 43.39 43.32 42.57	43.21
3.- LÍMITE PLÁSTICO		15.33 13.63	14.90 13.38	13.53 12.57	31.39 30.86	31.13
4.- GRANULOMETRÍA				5.- CLASIFICACIÓN		
PESO IN= 423.02 (H/S) S				GRAVA 0		
PESO INICIAL DE CÁLCULO: 423.02				ARENA 0		
				FINOS 100		
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 43.00		
1"	0.00	0	100	LP = 31.00		
3/4"	0.00	0	100	IP = 12.00		
1/2"	0.00	0	100	CLASIFICACIÓN		
3/8"	0.00	0	100	SUCS : OL		
No. 4	0.00	0	100	AASHTO: A-7-5		
No. 10	0.00	0	100	IG(86): 16		
No. 40	0.06	0	100	IG(45): 9		
No. 200	0.16	0	100			



CLASIFICACIÓN SUCS: Limo orgánico de compresibilidad media (OL).

Ing. Belizario Zarate  
DIRECTOR DE TESIS

Julia Jhoana Delgado G.  
TESISTA



**UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA**  
**LABORATORIOS UCG**  
**ENSAYO DE CLASIFICACIÓN**



PROYECTO: TESIS DE GRADO

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27

LOCALIZ: PLANTA DE LACTEOS

POZO: 1

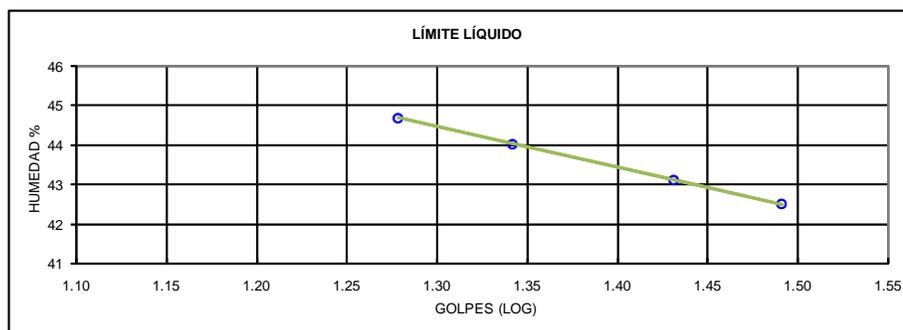
FECHA: 15-10-08

MUESTRA: 2

PROFUNDIDAD: 2.0 a 2,50 m.

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		315.12 286.76	267.60 241.74	70.72 66.72	24.14 25.72	24.93
2.- LÍM. LÍQUIDO	19 22 27 31	81.89 78.31 83.81 82.15	77.86 73.88 79.58 78.15	68.80 63.88 69.76 68.72	44.48 44.30 43.08 42.42	43.45
3.- LÍMITE PLÁSTICO		15.31 13.62	14.89 13.37	13.51 12.56	30.43 30.86	30.65

4.- GRANULOMETRÍA				5.- CLASIFICACIÓN	
PESO IN=	555.28	(H/S)	S	GRAVA	0
PESO INICIAL DE CÁLCULO:			555.28	ARENA	9
				FINOS	91
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL =	43.00
1"	0.00	0	100	LP =	31.00
3/4"	0.00	0	100	IP =	12.00
1/2"	0.00	0	100		
3/8"	0.00	0	100		
No. 4	0.00	0	100	CLASIFICACIÓN	
No. 10	0.08	0	100	SUCS :	OL
No. 40	0.16	0	100	AASHTO:	A-7-5
No. 200	50.69	9	91	IG(86):	14
				IG(45):	9



CLASIFICACIÓN SUCS: Limo orgánico de compresibilidad media (OL).

Ing. Belizario Zarate  
DIRECTOR DE TESIS

Julia Jhoana Delgado G.  
TESISTA



**UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA**  
**LABORATORIOS UCG**  
**ENSAYO DE CLASIFICACIÓN**



PROYECTO: TESIS DE GRADO

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27

LOCALIZ: PLANTA DE LACTEOS

POZO: 1

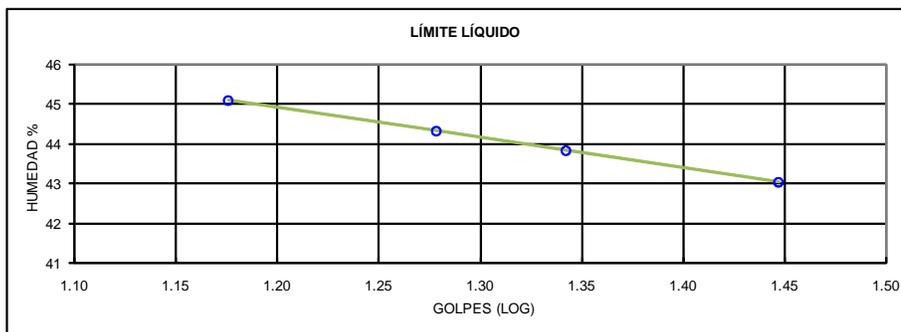
FECHA: 15-10-08

MUESTRA: 3

PROFUNDIDAD: 3.0 a 3,50 m.

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		288.64 309.28	234.29 259.49	63.93 67.87	31.90 25.98	28.94
2.- LÍM. LÍQUIDO	15 19 22 28	85.34 78.04 77.46 79.69	80.80 74.20 73.19 75.75	70.75 65.50 63.46 66.60	45.17 44.14 43.88 43.06	43.40
3.- LÍMITE PLÁSTICO		15.80 16.56	15.55 16.11	14.63 14.46	27.17 27.27	27.22

4.- GRANULOMETRÍA				5.- CLASIFICACIÓN	
PESO IN=	555.28	(H/S)	S	GRAVA	0
PESO INICIAL DE CÁLCULO:			555.28	ARENA	9
				FINOS	91
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL =	43.00
1"	0.00	0	100	LP =	27.00
3/4"	0.00	0	100	IP =	16.00
1/2"	0.00	0	100	<b>CLASIFICACIÓN</b>	
3/8"	0.00	0	100	SUCS :	OL
No. 4	0.00	0	100	AASHTO:	A-7-6
No. 10	1.01	0	100	IG(86):	17
No. 40	12.77	2	98	IG(45):	11
No. 200	50.69	9	91		



CLASIFICACIÓN SUCS: Limo orgánico de compresibilidad media (OL).

Ing. Belizario Zarate  
DIRECTOR DE TESIS

Julia Jhoana Delgado G.  
TESISTA

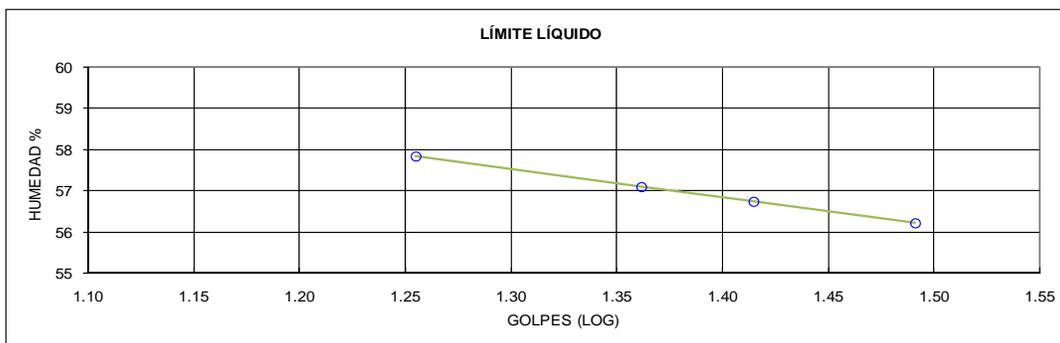


**UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA**  
**LABORATORIOS UCG**  
**ENSAYO DE CLASIFICACIÓN**



PROYECTO: TESIS DE GRADO NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27  
 LOCALIZ.: PLANTA DE LACTEOS POZO: 1  
 FECHA: 15-10-08 MUESTRA: 4  
PROFUNDIDAD: 4.0 a 4,50 m.

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		298.92 306.55	254.30 261.55	63.42 70.80	23.38 23.59	23.48
2.- LÍM. LÍQUIDO	18 23 26 31	80.02 81.32 72.85 27.10	75.44 77.51 68.82 22.26	67.52 70.85 61.69 13.66	57.83 57.21 56.52 56.28	56.84
3.- LÍMITE PLÁSTICO		14.62 12.17	14.05 11.76	12.54 10.67	37.75 37.61	37.68
4.- GRANULOMETRÍA			5.- CLASIFICACIÓN			
PESO IN= 555.28 (H/S)		S		GRAVA		0
PESO INICIAL DE CÁLCULO:		555.28		ARENA		13
				FINOS		87
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 57.00		
1"	0.00	0	100	LP = 38.00		
3/4"	0.00	0	100	IP = 19.00		
1/2"	0.00	0	100	CLASIFICACIÓN		
3/8"	0.00	0	100	SUCS : OH		
No. 4	0.00	0	100	AASHTO: A-7-5		
No. 10	0.29	0	100	IG(86): 21		
No. 40	9.97	2	98	IG(45): 15		
No. 200	72.44	13	87			



CLASIFICACIÓN SUCS: Arcilla orgánica de elevada compresibilidad (OH).

Ing. Belizario Zarate  
DIRECTOR DE TESIS

Julia Jhoana Delgado G.  
TESISTA



**UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA**  
**LABORATORIOS UCG**  
**ENSAYO DE CLASIFICACIÓN**



PROYECTO: TESIS DE GRADO

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27

LOCALIZ: PLANTA DE LACTEOS

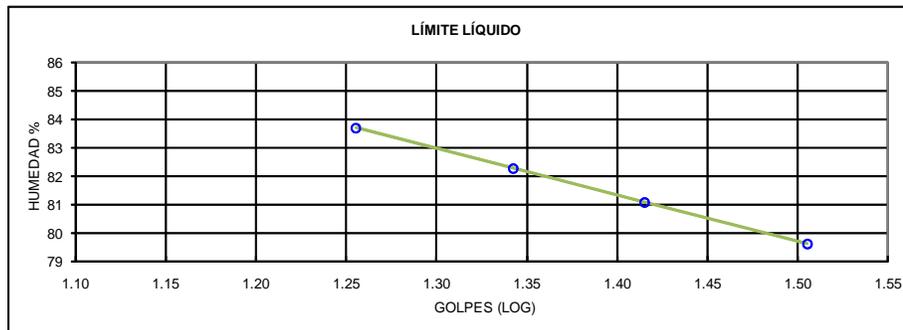
POZO: 2

FECHA: 15-10-08

MUESTRA: 1

PROFUNDIDAD: 1.0 a 1,50 m.

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		216.90 230.70	181.96 193.22	70.00 70.40	31.21 30.52	30.86
2.- LÍM. LÍQUIDO	18 22 26 32	82.93 72.44 84.88 80.37	77.24 67.60 79.35 75.76	70.44 61.73 72.50 69.98	83.68 82.45 80.73 79.76	81.35
3.- LÍMITE PLÁSTICO		15.05 15.43	14.83 15.08	14.15 13.99	32.35 32.11	32.23
4.- GRANULOMETRÍA				5.- CLASIFICACIÓN		
PESO IN= 475.30 (H/S) S				GRAVA 0		
PESO INICIAL DE CÁLCULO: 475.30				ARENA 4		
				FINOS 96		
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 81.00		
1"	0.00	0	100	LP = 32.00		
3/4"	0.00	0	100	IP = 49.00		
1/2"	0.00	0	100	<b>CLASIFICACIÓN</b> SUCS : CH AASHTO: A-7-5 IG(86): 56 IG(45): 20		
3/8"	0.00	0	100			
No. 4	1.46	0	100			
No. 10	2.26	0	100			
No. 40	4.16	1	99			
No. 200	19.99	4	96			



CLASIFICACIÓN SUCS: Arcilla inorgánica de elevada plasticidad (CH).

Ing. Belizario Zarate  
DIRECTOR DE TESIS

Julia Jhoana Delgado G.  
TESISTA



# UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA

LABORATORIOS UCG  
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN



PROYECTO: TESIS DE GRADO

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27

LOCALIZ.: PLANTA DE LACTEOS

POZO: 2

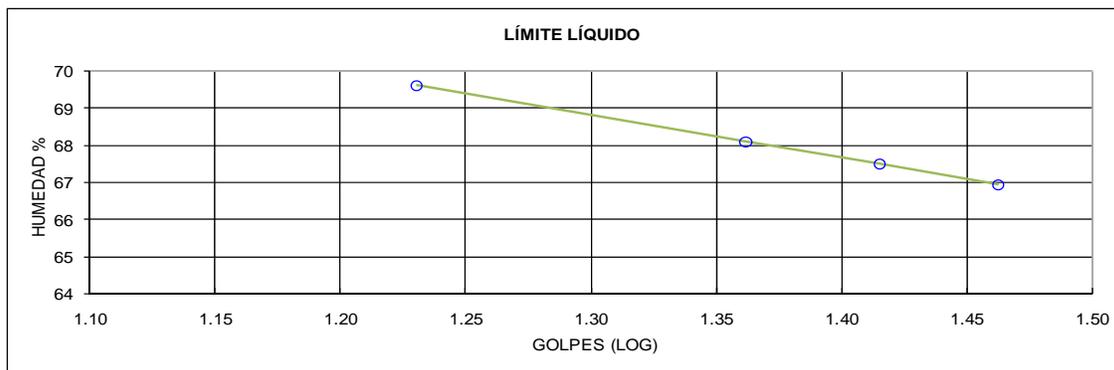
FECHA: 15-10-08

MUESTRA: 2

PROFUNDIDAD: 2.0 a 2,50 m.

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		241.40 238.11	204.50 202.93	62.60 68.80	26.00 26.23	26.12
2.- LÍM. LÍQUIDO	17 23 26 29	79.79 73.13 76.46 82.82	75.14 69.31 71.90 77.81	68.45 63.71 65.16 70.30	69.51 68.21 67.66 66.71	67.67
3.- LÍMITE PLÁSTICO		21.33 20.83	21.18 20.60	20.47 19.55	21.13 21.90	21.52

4.- GRANULOMETRÍA				5.- CLASIFICACIÓN	
PESO IN= 505.51 (H/S)		S		GRAVA	0
PESO INICIAL DE CÁLCULO:		505.51		ARENA	9
				FINOS	91
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA		
1"	0.00	0	100	LL =	68.00
3/4"	0.00	0	100	LP =	22.00
1/2"	0.00	0	100	IP =	46.00
3/8"	1.42	0	100	CLASIFICACIÓN	
No. 4	2.48	0	100	SUCS : CH	
No. 10	3.64	1	99	AASHTO: A-7-6	
No. 40	5.81	1	99	IG(86):	47
No. 200	44.58	9	91	IG(45):	20



CLASIFICACIÓN SUCS: Arcilla inorgánica de elevada plasticidad (CH).

Ing. Belizario Zarate  
DIRECTOR DE TESIS

Julia Jhoana Delgado G.  
TESISTA



# UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA

LABORATORIOS UCG  
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN



PROYECTO: TESIS DE GRADO

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27

LOCALIZ.: PLANTA DE LACTEOS

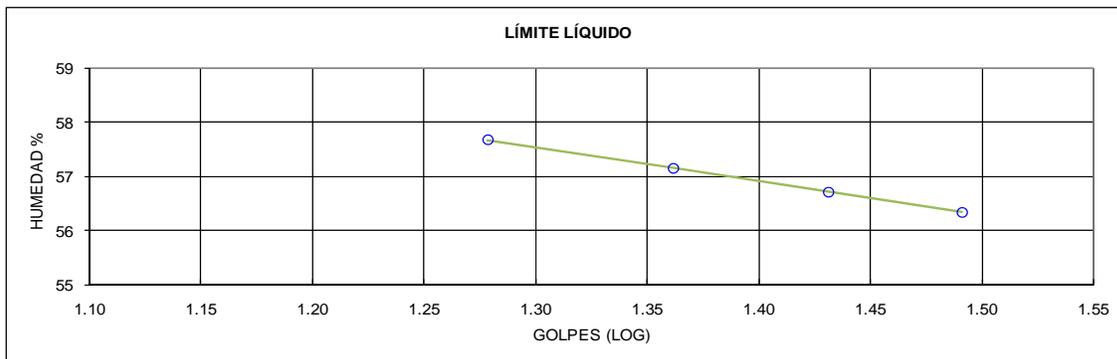
POZO: 2

FECHA: 15-10-08

MUESTRA: 3

PROFUNDIDAD: 3.0 a 3,50 m.

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		251.00 277.60	216.56 240.10	64.70 65.60	22.68 21.49	22.08
2.- LÍM. LÍQUIDO	19 23 27 31	78.67 75.86 78.74 75.82	74.05 71.79 73.91 71.76	66.03 64.68 65.39 64.55	57.61 57.24 56.69 56.31	56.92
3.- LÍMITE PLÁSTICO		15.49 19.62	15.30 19.49	14.44 18.92	22.09 22.81	22.45
4.- GRANULOMETRÍA			5.- CLASIFICACIÓN			
PESO IN= 503.92 (H/S)		S		GRAVA		7
PESO INICIAL DE CÁLCULO:		503.92		ARENA		20
				FINOS		73
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 57.00 LP = 22.00 IP = 35.00		
1"	0.00	0	100			
3/4"	0.00	0	100	CLASIFICACIÓN SUCS : CH AASHTO: A-7-6 IG(86): 25 IG(45): 19		
1/2"	23.91	5	95			
3/8"	29.59	6	94			
No. 4	35.93	7	93			
No. 10	42.89	9	91			
No. 40	62.37	12	88			
No. 200	137.47	27	73			



CLASIFICACIÓN SUCS: Arcilla inorgánica de elevada plasticidad (CH).

Ing. Belizario Zarate  
DIRECTOR DE TESIS

Julia Jhoana Delgado G.  
TESISTA



**UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA**  
**LABORATORIOS UCG**  
**ENSAYO DE CLASIFICACIÓN**



PROYECTO: TESIS DE GRADO

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27

LOCALIZ.: PLANTA DE LACTEOS

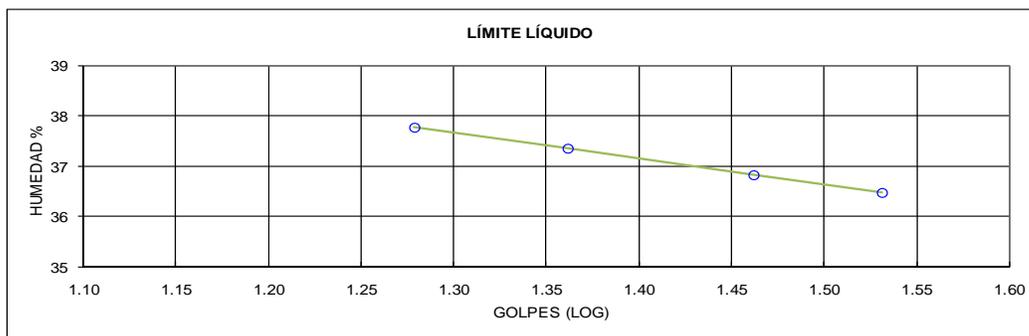
POZO: 2

FECHA: 15-10-08

MUESTRA: 4

PROFUNDIDAD: 4.0 a 4,50 m.

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		281.30 294.60	243.40 255.11	64.60 68.50	21.20 21.16	21.18
2.- LÍM. LÍQUIDO	19 23 29 34	83.19 78.85 81.91 87.29	79.49 75.23 78.40 83.32	69.67 65.58 68.84 72.44	37.68 37.51 36.72 36.49	37.15
3.- LÍMITE PLÁSTICO		17.85 14.45	17.69 14.30	16.91 13.59	20.51 21.13	20.82
4.- GRANULOMETRÍA				5.- CLASIFICACIÓN		
PESO IN= 472.79 (H/S) S				GRAVA 0		
PESO INICIAL DE CÁLCULO: 472.79				ARENA 6		
				FINOS 94		
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 37.00		
1"	0.00	0	100	LP = 21.00		
3/4"	0.00	0	100	IP = 16.00		
1/2"	0.00	0	100	CLASIFICACIÓN SUCS : CL AASHTO: A-6 IG(86): 16 IG(45): 10		
3/8"	0.00	0	100			
No. 4	0.00	0	100			
No. 10	1.81	0	100			
No. 40	5.15	1	99			
No. 200	30.32	6	94			



CLASIFICACIÓN SUCS: Arcilla inorgánica de plasticidad media (CL).

Ing. Belizario Zarate  
DIRECTOR DE TESIS

Julia Jhoana Delgado G.  
TESISTA



**UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA**  
**LABORATORIOS UCG**  
**ENSAYO DE CLASIFICACIÓN**



PROYECTO: TESIS DE GRADO

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27

LOCALIZ.: INVERNADERO DE LA UTPL

POZO: 3

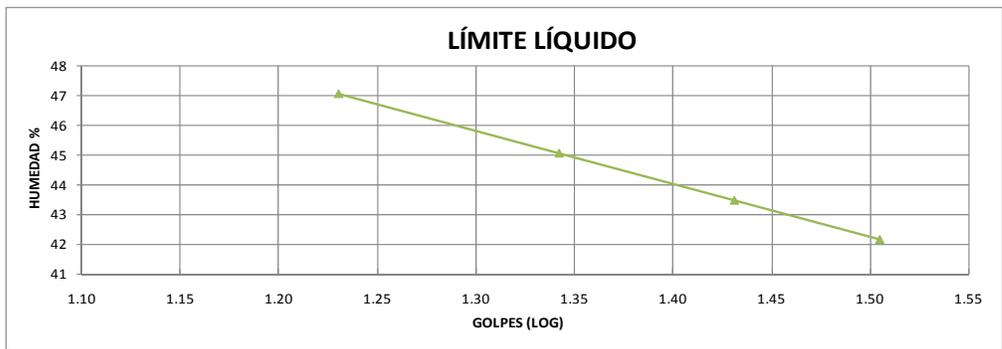
FECHA: 15-10-08

MUESTRA: 1

PROFUNDIDAD: 1.0 a 1,50 m.

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		288.42	275.33	179.95	13.72	13.86
		315.00	301.77	207.19	13.99	
2.- LÍM. LÍQUIDO	32	186.66	184.67	179.96	42.25	44.05
	27	216.38	213.60	207.19	43.37	
	22	206.41	203.70	197.67	44.94	
	17	221.71	219.09	213.53	47.12	
3.- LÍMITE PLÁSTICO		214.78	214.62	213.79	19.28	19.14
		216.83	216.64	215.64	19.00	

4.- GRANULOMETRÍA				5.- CLASIFICACIÓN	
PESO IN=	475.30	(H/S)	S	GRAVA	0
PESO INICIAL DE CÁLCULO:			475.30	ARENA	14
				FINOS	85
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 44.00	
1"	0.00	0	100	LP = 19.00	
3/4"	0.00	0	100	IP = 25.00	
1/2"	0.00	0	100	CLASIFICACIÓN SUCS : <b>CL</b> AASHTO: A-7-6 IG(86): 22 IG(45): 15	
3/8"	0.00	0	100		
No. 4	0.85	0	100		
No. 10	1.97	0	100		
No. 40	7.09	1	99		
No. 200	69.01	15	85		



CLASIFICACIÓN SUCS: Arcilla inorgánica de plasticidad media (CL).

Ing. Belizario Zarate  
DIRECTOR DE TESIS

Julia Jhoana Delgado G.  
TESISTA



# UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA

LABORATORIOS UCG  
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN



**UCG**

PROYECTO: TESIS DE GRADO

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27

LOCALIZ.: INVERNADERO DE LA UTPL

POZO: 3

FECHA: 15-10-08

MUESTRA: 2

PROFUNDIDAD: 2.0 a 2,50 m.

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		308.81	295.65	195.00	13.08	12.99
		296.49	285.90	203.86	12.91	
2.- LÍM. LÍQUIDO	33	202.27	200.09	195.01	42.91	44.93
	28	211.44	209.12	203.86	44.11	
	22	203.27	200.42	194.20	45.82	
	18	208.38	206.15	201.44	47.35	
3.- LÍMITE PLÁSTICO		138.52	138.36	137.53	19.28	19.30
		139.76	139.59	138.71	19.32	

4.- GRANULOMETRÍA				5.- CLASIFICACIÓN	
PESO IN=	475.30	(H/S)	S	GRAVA	0
PESO INICIAL DE CÁLCULO:			475.30	ARENA	15
				FINOS	85
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 45.00 LP = 19.00 IP = 26.00	
1"	0.00	0	100		
3/4"	0.00	0	100	CLASIFICACIÓN SUCS : <b>CL</b> AASHTO: A-7-6 IG(86): 22 IG(45): 15	
1/2"	0.00	0	100		
3/8"	0.00	0	100		
No. 4	1.33	0	100		
No. 10	2.93	1	99		
No. 40	10.89	2	98		
No. 200	70.86	15	85		



CLASIFICACIÓN SUCS: Arcilla inorgánica de plasticidad media (CL).

Ing. Belizario Zarate  
DIRECTOR DE TESIS

Julia Jhoana Delgado G.  
TESISTA



**UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA**  
**LABORATORIOS UCG**  
**ENSAYO DE CLASIFICACIÓN**



PROYECTO: TESIS DE GRADO

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27

LOCALIZ.: INVERNADERO DE LA UTPL

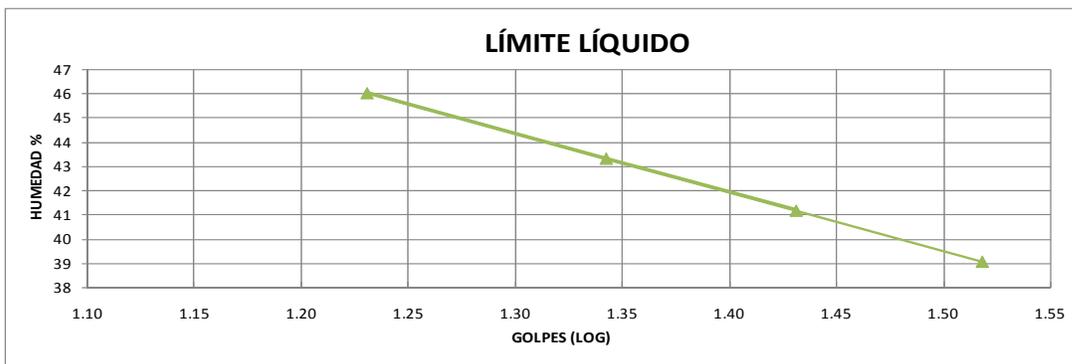
POZO: 3

FECHA: 15-10-08

MUESTRA: 3

PROFUNDIDAD: 3.0 a 3,50 m.

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		236.54 243.33	228.05 234.66	137.53 138.74	9.38 9.04	9.21
2.- LÍM. LÍQUIDO	33 27 22 17	189.30 215.81 207.50 222.95	186.67 213.30 204.52 219.98	179.95 207.17 197.67 213.52	39.14 40.95 43.50 45.98	41.97
3.- LÍMITE PLÁSTICO		139.16 140.27	138.85 139.97	137.53 138.71	23.48 23.81	23.65
4.- GRANULOMETRÍA			5.- CLASIFICACIÓN			
PESO IN= 475.30 (H/S) S			GRAVA 0			
PESO INICIAL DE CÁLCULO: 475.30			ARENA 17			
			FINOS 83			
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 42.00		
1"	0.00	0	100	LP = 24.00		
3/4"	0.00	0	100	IP = 18.00		
1/2"	0.00	0	100	<b>CLASIFICACIÓN</b> SUCS : <b>CL</b> AASHTO: A-7-6 IG(86): 15 IG(45): 12		
3/8"	0.00	0	100			
No. 4	0.19	0	100			
No. 10	1.00	0	100			
No. 40	11.91	3	97			
No. 200	82.29	17	83			



CLASIFICACIÓN SUCS: Arcilla inorgánica de plasticidad media (CL).

Ing. Belizario Zarate  
DIRECTOR DE TESIS

Julia Jhoana Delgado G.  
TESISTA



**UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA**  
**LABORATORIOS UCG**  
**ENSAYO DE CLASIFICACIÓN**



PROYECTO: TESIS DE GRADO

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27

LOCALIZ.: INVERNADERO DE LA UTPL

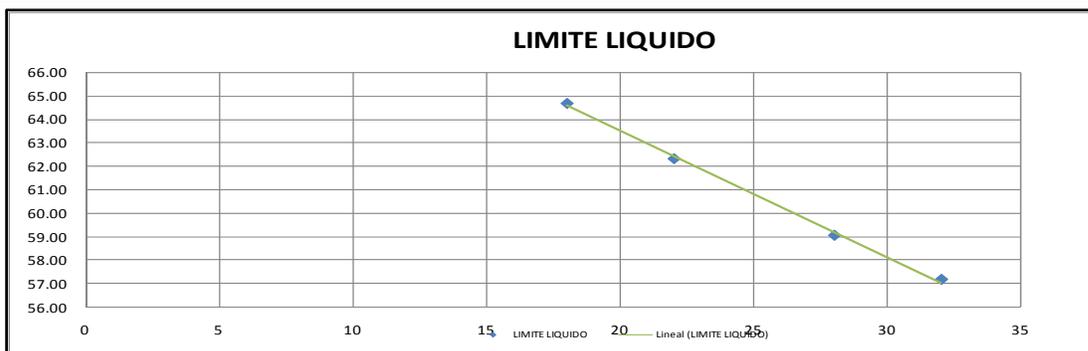
POZO: 3

FECHA: 15-10-08

MUESTRA: 4

PROFUNDIDAD: 4.0 a 4,50 m.

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		333.20 320.53	318.72 307.74	213.78 215.63	13.80 13.89	13.84
2.- LÍM. LÍQUIDO	32 28 22 18	203.23 211.59 201.31 208.96	200.24 208.72 198.58 206.01	195.01 203.86 194.20 201.45	57.17 59.05 62.33 64.69	60.50
3.- LÍMITE PLÁSTICO		215.21 216.17	214.91 215.97	213.78 215.22	26.55 26.67	26.61
4.- GRANULOMETRÍA				5.- CLASIFICACIÓN		
PESO IN= 645.16 (H/S)		S		GRAVA		0
PESO INICIAL DE CÁLCULO:		645.16		ARENA		4
				FINOS		96
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 60.00		
1"	0.00	0	100	LP = 27.00		
3/4"	0.00	0	100	IP = 33.00		
1/2"	0.00	0	100	CLASIFICACIÓN		
3/8"	0.00	0	100	SUCS : CH		
No. 4	0.56	0	100	AASHTO: A-7-6		
No. 10	2.39	0	100	IG(86): 37		
No. 40	6.71	1	99	IG(45): 20		
No. 200	23.56	4	96			



CLASIFICACIÓN SUCS: Arcilla inorgánica de elevada plasticidad (CH).

Ing. Belizario Zarate  
DIRECTOR DE TESIS

Julia Jhoana Delgado G.  
TESISTA



**UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA**  
**LABORATORIOS UCG**  
**ENSAYO DE CLASIFICACIÓN**



PROYECTO: TESIS DE GRADO

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27

LOCALIZ.: PLATAFORMA DE LAVADO

POZO: 4

FECHA: 15-10-08

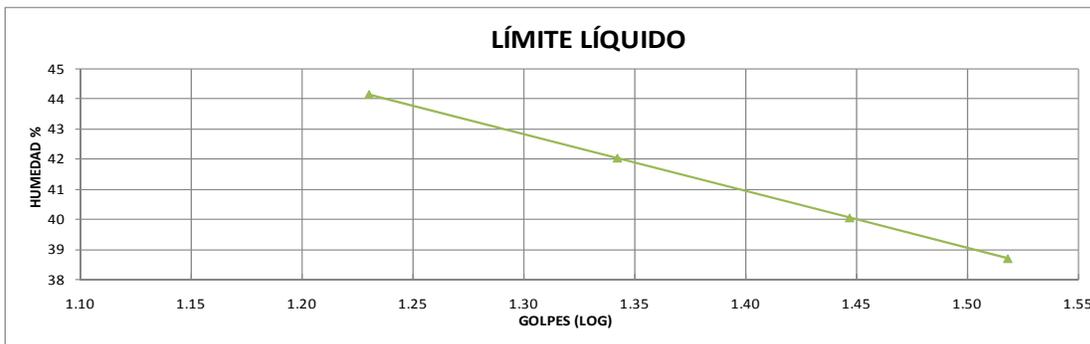
MUESTRA: 1

PROFUNDIDAD: 1.0 a 1,50 m.

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		277.60 310.11	263.67 294.08	179.95 197.67	16.64 16.63	16.63
2.- LÍM. LÍQUIDO	33 28 22 17	203.18 211.45 200.93 208.88	200.90 209.28 198.94 206.60	195.01 203.86 194.19 201.44	38.71 40.04 41.89 44.19	40.96
3.- LÍMITE PLÁSTICO		216.65 216.24	216.45 216.03	215.64 215.18	24.69 24.71	24.70

4.- GRANULOMETRÍA	5.- CLASIFICACIÓN
PESO IN= 672.32 (H/S) S PESO INICIAL DE CÁLCULO: 672.32	GRAVA 0 ARENA 9 FINOS 91

TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	
1"	0.00	0	100	LL = 41.00 LP = 25.00 IP = 16.00
3/4"	0.00	0	100	
1/2"	0.00	0	100	
3/8"	0.00	0	100	
No. 4	0.23	0	100	CLASIFICACIÓN SUCS : <b>CL</b> AASHTO: A-7-6 IG(86): 16 IG(45): 11
No. 10	4.25	1	99	
No. 40	10.75	2	98	
No. 200	58.88	9	91	



CLASIFICACIÓN SUCS: Arcilla inorgánica de plasticidad media (CL).

Ing. Belizario Zarate  
DIRECTOR DE TESIS

Julia Jhoana Delgado G.  
TESISTA



## UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA

LABORATORIOS UCG  
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN



PROYECTO: TESIS DE GRADO

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27

LOCALIZ.: PLATAFORMA DE LAVADO

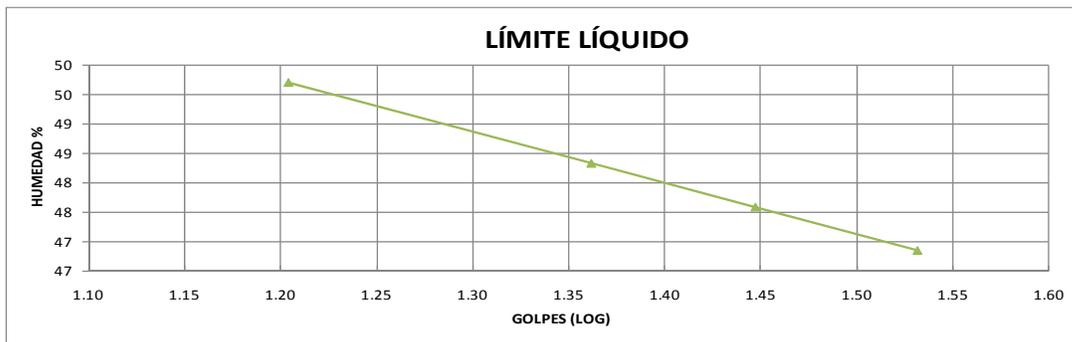
POZO: 4

FECHA: 15-10-08

MUESTRA: 2

PROFUNDIDAD: 2.0 a 2,50 m.

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		318.18 301.95	300.26 287.62	195.01 203.86	17.03 17.11	17.07
2.- LÍM. LÍQUIDO	34 28 23 16	188.06 214.97 205.49 220.30	185.47 212.46 202.94 218.05	179.94 207.18 197.67 213.52	46.84 47.54 48.39 49.67	48.00
3.- LÍMITE PLÁSTICO		139.02 140.11	138.70 139.81	137.52 138.73	27.12 27.78	27.45
4.- GRANULOMETRÍA				5.- CLASIFICACIÓN		
PESO IN= 554.71 (H/S)		S		GRAVA		0
PESO INICIAL DE CÁLCULO:		554.71		ARENA		9
				FINOS		91
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 48.00 LP = 27.00 IP = 21.00		
1"	0.00	0	100			
3/4"	0.00	0	100	CLASIFICACIÓN SUCS : <b>CL</b> AASHTO: A-7-6 IG(86): 22 IG(45): 14		
1/2"	0.00	0	100			
3/8"	0.00	0	100			
No. 4	0.92	0	100			
No. 10	2.13	0	100			
No. 40	5.78	1	99			
No. 200	49.65	9	91			



CLASIFICACIÓN SUCS: Arcilla inorgánica de plasticidad media (CL).

Ing. Belizario Zarate  
DIRECTOR DE TESIS

Julia Jhoana Delgado G.  
TESISTA



# UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA

LABORATORIOS UCG  
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN



PROYECTO: TESIS DE GRADO

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27

LOCALIZ.: PLATAFORMA DE LAVADO

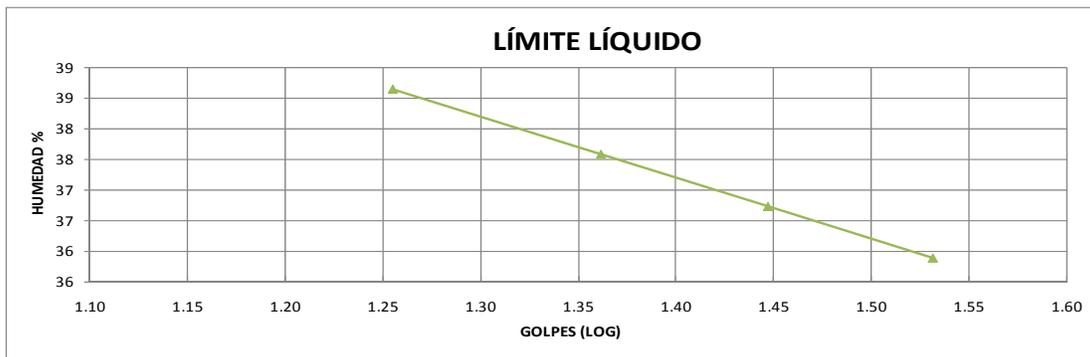
POZO: 4

FECHA: 15-10-08

MUESTRA: 3

PROFUNDIDAD: 3.0 a 3,50 m.

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		311.29 338.79	298.92 323.30	215.65 215.23	14.86 14.33	14.59
2.- LÍM. LÍQUIDO	34 28 23 18	188.87 216.13 205.92 221.71	186.51 213.73 203.67 219.43	179.95 207.18 197.67 213.54	35.98 36.64 37.50 38.71	37.22
3.- LÍMITE PLÁSTICO		140.76 140.36	140.45 140.11	138.71 138.73	17.82 18.12	17.97
4.- GRANULOMETRÍA			5.- CLASIFICACIÓN			
PESO IN= 607.72 (H/S) S			GRAVA 1			
PESO INICIAL DE CÁLCULO: 607.72			ARENA 15			
			FINOS 84			
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 37.00		
1"	0.00	0	100	LP = 18.00		
3/4"	0.00	0	100	IP = 19.00		
1/2"	0.00	0	100	CLASIFICACIÓN SUCS : <b>CL</b> AASHTO: A-6 IG(86): 16 IG(45): 12		
3/8"	0.00	0	100			
No. 4	5.57	1	99			
No. 10	8.78	1	99			
No. 40	18.17	3	97			
No. 200	98.40	16	84			



CLASIFICACIÓN SUCS: Arcilla inorgánica de plasticidad media (CL).

Ing. Belizario Zarate  
DIRECTOR DE TESIS

Julia Jhoana Delgado G.  
TESISTA



## UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA

LABORATORIOS UCG  
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN



PROYECTO: TESIS DE GRADO

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27

LOCALIZ.: PLATAFORMA DE LAVADO

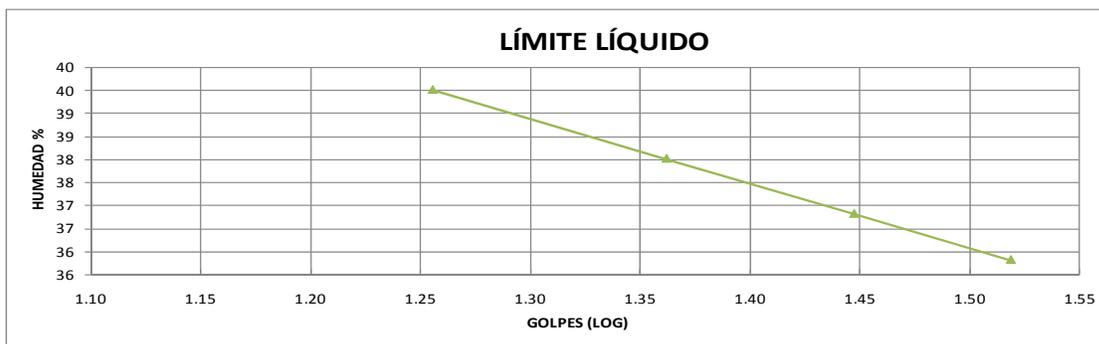
POZO: 4

FECHA: 15-10-08

MUESTRA: 4

PROFUNDIDAD: 4.0 a 4,50 m.

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		224.14 230.92	215.48 221.54	138.72 138.76	11.28 11.33	11.31
2.- LÍM. LÍQUIDO	33 28 23 18	188.90 217.00 206.00 221.00	176.00 214.36 203.70 218.89	139.95 207.18 197.67 213.54	35.78 36.77 38.14 39.44	37.50
3.- LÍMITE PLÁSTICO		140.80 141.39	140.49 141.00	138.71 138.73	17.42 17.18	17.30
4.- GRANULOMETRÍA			5.- CLASIFICACIÓN			
PESO IN= 610.27 (H/S) S			GRAVA 1			
PESO INICIAL DE CÁLCULO: 610.27			ARENA 15			
			FINOS 84			
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 38.00		
1"	0.00	0	100	LP = 17.00		
3/4"	0.00	0	100	IP = 21.00		
1/2"	0.00	0	100	CLASIFICACIÓN SUCS : <b>CL</b> AASHTO: A-6 IG(86): 17 IG(45): 12		
3/8"	0.00	0	100			
No. 4	5.59	1	99			
No. 10	8.74	1	99			
No. 40	18.08	3	97			
No. 200	98.71	16	84			



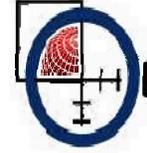
CLASIFICACIÓN SUCS: Arcilla inorgánica de plasticidad media (CL).

Ing. Belizario Zarate  
DIRECTOR DE TESIS

Julia Jhoana Delgado G.  
TESISTA



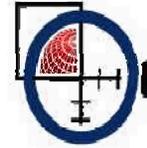
UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
 PLANTA DE LACTEOS DE LA UTPL POZO 1  
 PERFIL ESTATIGRAFICO



perfil del suelo	contenido de agua				LIMITE LIQUIDO				INDICE DE PLASTICIDAD				N° GOLPES				N° GOLPES CORREG.				ÁNGULO DE FRICCIÓN ( $\phi$ )				COHESIÓN (Cu) kg./cm <sup>2</sup>			
	0	10	20	30	0	30	50	70	0	20	40	60	0	20	40	60	0	20	40	60	0	20	40	60	0	1	2	3
1				x				x	x							x				x				x				x
2				x				x	x				x				x				x				x			
3			x				x		x				x				x				x				x			
4				x				x	x							x				x				x				x

Ing. Belizario Zarate  
 DIRECTOR DE TESIS

Julia Jhoana Delgado G  
 TESISTA



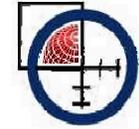
perfil del suelo	contenido de agua				LIMITE LIQUIDO				INDICE DE PLASTICIDAD				N° GOLPES				N° GOLPES CORREG.				ÁNGULO DE FRICCIÓN ( $\phi$ )				COHESIÓN ( $C_u$ ) kg./cm <sup>2</sup>			
	0	10	20	30	0	30	60	90	0	20	40	60	0	20	40	60	0	20	40	60	0	20	40	60	0	1	2	3
1																												
2																												
3																												
4																												

Ing. Belizario Zarate  
DIRECTOR DE TESIS

Julia Jhoana Delgado G  
TESISTA



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
 INVERNADERO DE LA UTPL POZO 3  
 PERFIL ESTADIGRAFICO



perfil del suelo	contenido de agua				LIMITE LIQUIDO			INDICE DE PLASTICIDAD			N° GOLPES				N° GOLPES CORREG.			ÁNGULO DE FRICCIÓN ( $\phi$ )				COHESIÓN ( $C_u$ ) kg./cm <sup>2</sup>						
	0	10	20	30	0	20	40	60	0	20	40	60	0	20	40	60	80	0	20	40	60	0	20	40	60	0	1	2
1	x				x			x			x				x			x				x						
2	x				x			x			x				x			x				x						
3	x				x			x			x				x			x				x						
4	x				x			x			x				x			x				x						

Ing. Belizario Zarate  
 DIRECTOR DE TESIS

Julia Jhoana Delgado G  
 TESISISTA



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
 PLATAFORMA DE LAVADO DE LA UTPL POZO 4  
 PERFIL ESTATIGRAFICO



UCG

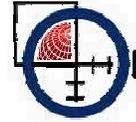
perfil del suelo	contenido de agua				LIMITE LIQUIDO			INDICE DE PLASTICIDAD			N° GOLPES				N° GOLPES CORREG.			ÁNGULO DE FRICCIÓN ( $\phi$ )			COHESIÓN (Cu) kg./cm <sup>2</sup>							
	0	10	20	30	0	20	40	60	0	20	40	60	0	20	40	60	80	0	20	40	60	0	20	40	60	0	1	2
1																												
2																												
3																												
4																												

Ing. Belizario Zarate  
 DIRECTOR DE TESIS

Julia Jhoana Delgado G  
 TESISISTA



UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA  
LABORATORIOS UCG  
CONSISTENCIA DE LAS ARCILLAS



UCG

PROYECTO: TESIS DE GRADO

**Pozo # 1: Planta de Lacteos parte externa de la U.T.P.L**

Pozo	Profundidad	N del ensayo	N corregido	consistencia
Pozo # 3	1 - 1,45	5	5	Blanda
		10	10	Medio Firme
		13	13	Firme
	2 - 2,45	4	4	Muy Blanda
		7	7	Medio Firme
		11	11	Firme
	3 - 3,45	7	7	Medio Firme
		15	15	Firme
		20	18	Firme
	4 - ,4.45	9	9	Medio Firme
		16	16	Firme
		19	17	Firme

**Pozo # 2: Planta de Lacteos parte interna de la U.P.T.L.**

Pozo	Profundidad	N del ensayo	N corregido	consistencia
Pozo # 4	1 - 1,45	3	3	Blanda
		7	7	Medio Firme
		12	12	Firme
	2 - 2,45	5	5	Blanda
		12	12	Firme
		19	17	Firme
	3 - 3,45	7	7	Medio Firme
		14	14	Firme
		19	17	Firme
	4 - ,4.45	7	7	Medio Firme
		12	12	Firme
		20	18	Firme

Ing. Belizario Zarate  
DIRECTOR DE TESIS

Julia Jhoana Delgado G  
TESISTA



UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA  
LABORATORIOS UCG  
CONSISTENCIA DE LAS ARCILLAS



UCG

PROYECTO: TESIS DE GRADO

**Pozo # 3: Invernadero de la U.T.P.L**

Pozo	Profundidad	N del ensayo	N corregido	consistencia
Pozo # 1	1 - 1,5	14	14	Firme
		17	16	Firme
		22	19	Firme
	2 - 2,5	15	15	Firme
		18	17	Firme
		23	19	Firme
	3 - 3,5	28	22	Muy Firme
		35	25	Muy Firme
		53	34	Dura
	4 - ,4.5	12	12	Firme
		26	21	Muy Firme
		29	22	Muy Firme

**Pozo # 4: Plataforma de Lavado de la U.P.T.L.**

Pozo	Profundidad	N del ensayo	N corregido	consistencia
Pozo # 2	1 - 1,5	5	5	Blanda
		6	6	Medio Firme
		8	8	Medio Firme
	2 - 2,5	7	7	Medio Firme
		13	13	Firme
		17	16	Firme
	3 - 3,5	8	8	Medio Firme
		9	9	Medio Firme
		12	12	Firme
	4 - ,4.5	13	13	Firme
		20	18	Firme
		21	18	Firme

Ing. Belizario Zarate  
DIRECTOR DE TESIS

Julia Jhoana Delgado G  
TESISTA

LOCALIZAC: CAMPUS U.T.P.L.  
MUESTRA: SUELO NATURAL

### Calculo de la Superficie Especifica

$$S_e = \frac{1 \text{ gr}}{319 \cdot 87 \text{ gr / mol}} \cdot \frac{1}{200 \text{ ml}} \cdot (N) \cdot N_{AV} \cdot A_{AM} \cdot \frac{1}{10 \text{ gr}}$$

#### Muestras de la Planta de Lacteos UTPL Pozo1

N	N Av	A	Se
50	6.02E+23	1.30E-18	61.16547347
50	6.02E+23	1.30E-18	61.16547347
60	6.02E+23	1.30E-18	73.39856817
70	6.02E+23	1.30E-18	85.63166286

#### Muestras de la Planta de Lacteos UTPL pozo 2

N	N Av	A	Se
60	6.02E+23	1.30E-18	73.39856817
50	6.02E+23	1.30E-18	61.16547347
60	6.02E+23	1.30E-18	73.39856817
70	6.02E+23	1.30E-18	85.63166286

#### Muestras del Invernadero de la UTPL

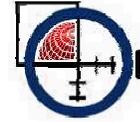
N	N Av	A	Se
50	6.02E+23	1.30E-18	61.16547347
80	6.02E+23	1.30E-18	97.86475756
80	6.02E+23	1.30E-18	97.86475756
80	6.02E+23	1.30E-18	97.86475756

#### Muestras de la Plataforma de lavado de la UTPL

N	N Av	A	Se
70	6.02E+23	1.30E-18	85.63166286
60	6.02E+23	1.30E-18	73.39856817
60	6.02E+23	1.30E-18	73.39856817
80	6.02E+23	1.30E-18	97.86475756



UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA  
LABORATORIOS UCG  
CONSISTENCIA DE LAS ARCILLAS



**UCG**

PROYECTO: TESIS DE GRADO

**Pozo # 1: Planta de Lacteos parte externa de la U.T.P.L**

Pozo	Profundidad	N del ensayo	N corregido	consistencia
Pozo # 3	1 - 1,45	5	5	Blanada
		10	10	Medio Firme
		13	13	Firme
	2 - 2,45	4	4	Muy Blanda
		7	7	Medio Firme
		11	11	Firme
	3 - 3,45	7	7	Medio Firme
		15	15	Firme
		20	18	Firme
	4 - ,4.45	9	9	Medio Firme
		16	16	Firme
		19	17	Firme

**Pozo # 2: Planta de Lacteos parte interna de la U.P.T.L.**

Pozo	Profundidad	N del ensayo	N corregido	consistencia
Pozo # 4	1 - 1,45	3	3	Blanda
		7	7	Medio Firme
		12	12	Firme
	2 - 2,45	5	5	Blanda
		12	12	Firme
		19	17	Firme
	3 - 3,45	7	7	Medio Firme
		14	14	Firme
		19	17	Firme
	4 - ,4.45	7	7	Medio Firme
		12	12	Firme
		20	18	Firme

Ing. Belizario Zarate  
DIRECTOR DE TESIS

Julia Jhoana Delgado G  
TESISTA



UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA  
LABORATORIOS UCG  
CONSISTENCIA DE LAS ARCILLAS



UCG

PROYECTO: TESIS DE GRADO

**Pozo # 3: Invernadero de la U.T.P.L**

Pozo	Profundidad	N del ensayo	N corregido	consistencia
Pozo # 1	1 - 1,5	14	14	Firme
		17	16	Firme
		22	19	Firme
	2 - 2,5	15	15	Firme
		18	17	Firme
		23	19	Firme
	3 - 3,5	28	22	Muy Firme
		35	25	Muy Firme
		53	34	Dura
	4 - ,4,5	12	12	Firme
		26	21	Muy Firme
		29	22	Muy Firme

**Pozo # 4: Plataforma de Lavado de la U.P.T.L.**

Pozo	Profundidad	N del ensayo	N corregido	consistencia
Pozo # 2	1 - 1,5	5	5	Blanda
		6	6	Medio Firme
		8	8	Medio Firme
	2 - 2,5	7	7	Medio Firme
		13	13	Firme
		17	16	Firme
	3 - 3,5	8	8	Medio Firme
		9	9	Medio Firme
		12	12	Firme
	4 - ,4,5	13	13	Firme
		20	18	Firme
		21	18	Firme

Ing. Belizario Zarate  
DIRECTOR DE TESIS

Julia Jhoana Delgado G  
TESISTA



PROYECTO: TESIS DE GRADO

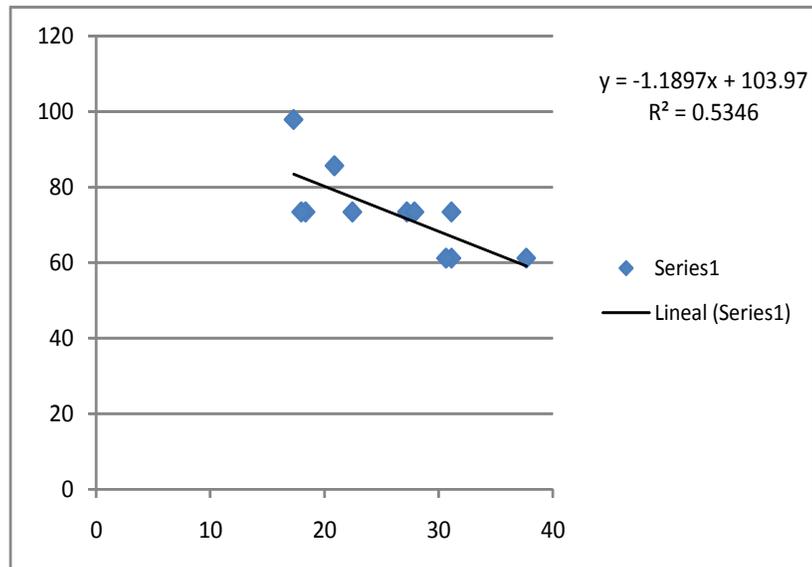
**Ecuaciones semi empíricas de correlación para la estimación indirecta del limite plastico**

Se	LP
61.17	31.13
61.17	30.65
73.40	27.22
61.17	37.68
85.63	20.88
73.40	18.35
73.40	27.89
73.40	17.97
97.86	17.3
73.40	31.13
73.40	22.45

$R^2 =$	0.5346
$R =$	<b>0.73</b>

$$Se = -1.1897LP + 103.97$$

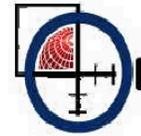
$$LP = (Se - 103.97) / -1.1897$$





UNIVERSIDAD TÉCNICA  
PARTICULAR DE LOJA  
*La Universidad Católica de Loja*

UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA  
LABORATORIOS UCG



UCG

PROYECTO: TESIS DE GRADO

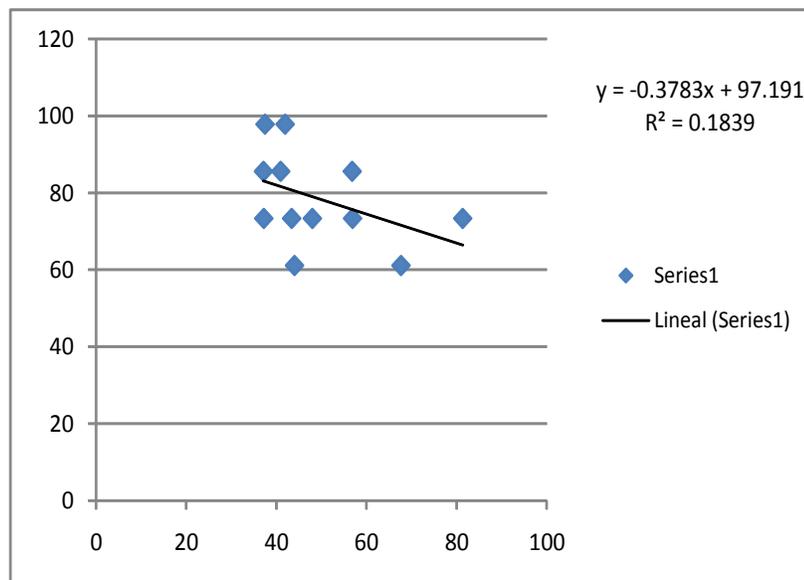
**Ecuaciones semi empíricas de correlación para la estimación indirecta del limite liquido**

Se	LL
73.40	43.4
61.17	67.67
73.40	56.92
85.63	37.15
85.63	40.96
73.40	48
73.40	37.22
97.86	41.97
61.17	44.05
73.40	81.35
85.63	56.84
97.86	37.5

$R^2 =$	0.1839
$R =$	<b>0.43</b>

$$Se = -0.3783LL + 97.191$$

$$LP = (Se - 97.191) / -0.3783$$

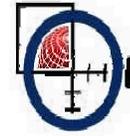


Ing. Belizario Zarate  
DIRECTOR DE

Julia Jhoana Delgado G.  
TESISTA



UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA  
LABORATORIOS UCG



UCG

PROYECTO: TESIS DE GRADO

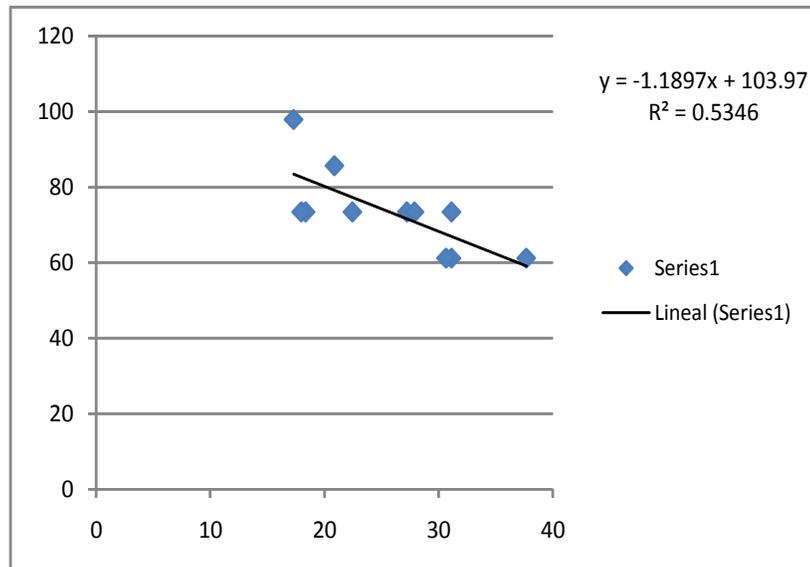
Ecuaciones semi empíricas de correlación para la estimación indirecta del limite plastico

Se	LP
61.17	31.13
61.17	30.65
73.40	27.22
61.17	37.68
85.63	20.88
73.40	18.35
73.40	27.89
73.40	17.97
97.86	17.3
73.40	31.13
73.40	22.45

$R^2 =$	0.5346
$R =$	<b>0.73</b>

$$Se = -1.1897LP + 103.97$$

$$LP = (Se - 103.97) / -1.1897$$



Ing. Belizario Zarate  
DIRECTOR DE

Julia Jhoana Delgado G.  
TESISTA



PROYECTO: TESIS DE GRADO

$$W = \frac{Se - 118.32}{-1.7757}$$

$$LP = \frac{Se - 10397}{-11897}$$

Muestra	Se	W	LP
1	61.16547347	32.18703977	35.97926076
2	61.16547347	32.18703977	35.97926076
3	73.39856817	25.29787229	25.69675702
4	85.63166286	18.40870481	15.41425329

Cuadro Comparativo de las Muestras de la Planta de Lacteos POZO 2 U.T.P.L.

Muestra	Se	W	LP
1	73.39856817	25.29787229	25.69675702
2	61.16547347	32.18703977	35.97926076
3	73.39856817	25.29787229	25.69675702
4	85.63166286	18.40870481	15.41425329

Cuadro Comparativo de las Muestras del Invernadero de la U.T.P.L.

Muestra	Se	W	LP
1	61.16547347	32.18703977	35.97926076
2	97.86475756	11.51953733	5.131749552
3	97.86475756	11.51953733	5.131749552
4	97.86475756	11.51953733	5.131749552

Cuadro Comparativo de las Muestras de La Plataforma de Lavado de la U.T.P.L.

Muestra	Se	W	LP
1	85.63166286	18.40870481	15.41425329
2	73.39856817	25.29787229	25.69675702
3	73.39856817	25.29787229	25.69675702
4	97.86475756	11.51953733	5.131749552



UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA  
LABORATORIOS UCG

PROYECTO : ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MICROESTRUCTURAL DE LAS ARCILLAS EN EL CAMPUS DE LA U.T.P.L.  
LOCALIZAC: CAMPUS U.T.P.L.  
MUESTRA: SUELO NATURAL

**Cuadro Comparativo de las Muestras de la Planta de Lacteos U.T.P.L.**

$$W = \frac{Se - 126,43}{-2,2383} \quad LL = \frac{Se - 107,05}{-0,6032} \quad LP = \frac{Se - 100,12}{-1,2272}$$

Muestra	Se	W	LL	LP
1	61.1654735	29.1580782	76.0685121	31.7426063
2	61.1654735	29.1580782	76.0685121	31.7426063
3	73.3985682	23.6927274	55.7881827	21.7743088
4	85.6316629	18.2273766	35.5078533	11.8060113
5	85.6316629	18.2273766	35.5078533	11.8060113

**Cuadro Comparativo de las Muestras del Canchas U.T.P.L.**

$$W = \frac{Se - 35,756}{0,9365} \quad LL = \frac{Se - 98,425}{-1,242} \quad LP = \frac{Se - 34,203}{0,768}$$

Muestra	Se	W	LL	LP
1	61.1654735	27.1323796	29.9996188	35.0982472
2	48.9323788	14.0698119	39.8491314	19.1738854
3	61.1654735	27.1323796	29.9996188	35.0982472
4	48.9323788	14.0698119	39.8491314	19.1738854

**Cuadro Comparativo de las Muestras del invernadero U.T.P.L.**

$$W = \frac{Se - 16,911}{2,6397} \quad LL = \frac{Se - 115,39}{-1,1942} \quad LP = \frac{Se - 48,086}{1,1306}$$

Muestra	Se	W	LL	LP
1	73.3985682	21.3992379	35.1628134	22.3886151
2	73.3985682	21.3992379	35.1628134	22.3886151
3	85.6316629	26.0335125	24.9190564	33.2086175
4	73.3985682	21.3992379	35.1628134	22.3886151