

**INFLUENCIA DEL ACEITE RESIDUAL LUBRICANTE DE MOTOR DE  
VEHICULOS EN EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS  
DE UN SUELO ARCILLOSO**

**OMAR EDUARDO MANTILLA BERMUDEZ**

**JONH EDISON CORREDOR BAEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2016**

**INFLUENCIA DEL ACEITE RESIDUAL LUBRICANTE DE MOTOR DE  
VEHICULOS EN EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS  
DE UN SUELO ARCILLOSO**

**OMAR EDUARDO MANTILLA BERMUDEZ  
JONH EDISON CORREDOR BAEZ**

**Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Civil**

**Director  
LUZ MARINA TORRADO GÓMEZ  
Magister en Geotecnia**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2016**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a nuestra directora de proyecto la ingeniera Luz Marina Torrado Gomes, quien estuvo brindándonos su conocimiento y apoyo para poder lograr la realización de esta investigación.

Agradecemos a Germán Hernández auxiliar de laboratorio quien nos brindó su apoyo durante la realización de las pruebas.

Agradecemos a los docentes vinculados en el área de suelos de la escuela de ingeniería civil por su disponibilidad de tiempo ante cualquier inquietud.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	11
1. OBTENCIÓN DE LA MUESTRA	13
1.1. DESCRIPCIÓN DEL SUELO UTILIZADO	14
2. DESCRIPCIÓN DEL ACEITE	15
3. DOSIFICACIÓN DEL SUELO CON EL ACEITE	17
4. LABORATORIOS REALIZADOS	19
4.2 LÍMITES DE ATTERBERG	21
4.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA	23
4.4 ÍNDICE DE EXPANSIÓN LIBRE (IEL)	24
4.5 POTENCIAL DE CAMBIO VOLUMÉTRICO	25
4.6 PROCTOR MODIFICADO	26
4.7 CORTE DIRECTO	27
4.8 CONSOLIDACIÓN	30
4.8.1. Método de Taylor o raíz cuadrada del tiempo	31
4.9. COMPRESIÓN INCONFINADA	34
4.10. VARIACIÓN EN LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE FILTRADA A TRAVÉS DEL SUELO ÓPTIMO	35
5. DISCUSIÓN	38
6. CONCLUSIONES	40
BIBLIOGRAFÍA	42

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Muestra de arcilla del municipio de Barrancabermeja Santander.	14
Figura 2. Cálculo de la densidad del aceite.	15
Figura 3. Punto de ignición a 110° C.	16
Figura 4. Muestra con aceite antes de ser mezclada.	17
Figura 5. Muestras de suelo mezclado y estabilizado	18
Figura 6. Muestra intentando ser lavada por el tamiz No 200 antes de aplicar el surfactante.	19
Figura 7. Muestra lavada con el surfactante	20
Figura 8. Muestras secas listas para su tamizado	20
Figura 9. Granulometrías de cada tipo de muestra [Ver Anexo A]. Fuente:	21
Figura 10. Carta de plasticidad con cada tipo de suelo analizado [Ver anexo A].	22
Figura 11. Extracción de los anillos de muestra.	28

## RESUMEN

**TITULO:** INFLUENCIA DEL ACEITE RESIDUAL LUBRICANTE DE MOTOR DE VEHICULOS EN EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE UN SUELO ARCILLOSO\*

**AUTORES:** OMAR EDUARDO MANTILLA BERMUDEZ  
JONH EDISON CORREDOR BAEZ\*\*

**PALABRAS CLAVES:** suelo arcilloso de alta plasticidad, aceite residual, propiedades mecánicas del suelo.

En este proyecto de investigación se plantea el mejoramiento de un suelo arcilloso de alta plasticidad con aceite lubricante de motor. el cual se mezcló con aceite residual lubricante de motor de vehículos, mediante dosificaciones de 5% 10% y 15 %, de aceite, con el fin de estudiar la influencia del aceite residual en las propiedades mecánicas del suelo, y determinar cuál proporción presenta mejores comportamientos mediante las pruebas de laboratorio realizadas.

El suelo analizado en este estudio procede del municipio de Barrancabermeja, para el suelo natural y las tres diferentes mezclas de suelo y aceite se le realizaron ensayos con el fin de verificar la clasificación el mismo, en primera instancia se estudió el tamaño de las partículas mediante ensayos de granulometría, posteriormente se analizaron los límites de Atterberg e índice de plasticidad, posteriormente, se determinó la humedad optima de cada mezcla realizando ensayos de Proctor modificado, se estudiaron las propiedades expansivas del suelo mediante ensayos de Potencial de cambio volumétrico (PCV) e Índice de expansión libre (IEL). Adicionalmente, por medio de ensayos de corte directo se determinaron los parámetros de ángulo de fricción y cohesión.

Con los datos obtenidos se concluyó que la mezcla que presenta mejores comportamientos mecánicos corresponde a la mezcla de 95% suelo y 5% aceite, la cual se denominó mezcla óptima. Finalmente se estudiaron para el suelo natural y la mezcla optima, el coeficiente de consolidación (Cv) y la resistencia a la compresión inconfínada.

Finalmente, se realizó un proceso de infiltración de agua a través de la mezcla óptima para analizar los niveles de contaminación con plomo, calcio, grasas y PH de los suelos mejorados con aceite residual de motor, evidenciando el cambio más drástico en el contenido de grasas y aceite.

---

\* Proyecto de grado

\*\* Facultad de Ingenieras Físico Mecánicas Escuela de Ingeniería Civil Director: M.Sc Luz Marina Torrado Gomez

## ABSTRACT

**TITLE:** INFLUENCE OF LUBRICANT RESIDUAL OIL OF VEHICLE ENGINES ON IMPROVING THE MECHANICAL PROPERTIES OF A CLAY SOIL\*

**AUTHORS:** OMAR EDUARDO MANTILLA BERMUDEZ  
JONH EDISON CORREDOR BAEZ\*\*

**KEY WORDS:** high plasticity clay soil, residual oil, mechanical properties of the soil

In this research project it was raised the improvement of a high plasticity clay soil with engine lubricant oil which was mixed with lubricating residual oil of vehicle engine by dosages of 5%, 10% and 15%, in oil, in order to study the influence of the residual oil in the mechanical properties of the soil, and to determine what proportion has better behaviors through laboratory tests.

The soil used in this study comes from Barrancabermeja municipality, for natural soil and three different mixtures of soil and oil, there were performed tests in order to verify the classification of it, in the first instance it was studied the size of the particles by granulometry assays, subsequently, Atterberg limits and plasticity index were analyzed, then it was determined the optimal moisture of each mixture by modified Proctor test, the expansive properties of the soil were studied by testing potential of volumetric change (PCV) and free expansion index (IEL). Additionally, there were determined through direct cutting testing friction angle and cohesion parameters.

With the data obtained it was concluded that the mixture has better mechanical behavior that corresponds to the mixture of 95% oil and 5% soil, which is called optimal mixture. Finally, they were studied for the natural soil and optimal mixture, the consolidation coefficient (Cv) and the unconfined compressive strength.

Finally, a process of water infiltration was performed using the optimum mixture for analyzing levels of contamination with lead, calcium, fat and PH-enhanced with residual oil of vehicle engines, showing the most dramatic change in the fat and oil content..

---

\* Project of grade

\*\* Faculty of Mechanical Engineering Mechanical School of Civil Engineering Director: M.Sc Luz Marina Torrado Gomez

## INTRODUCCIÓN

La no-reutilización del aceite lubricante de motor en nuestro país afecta en gran medida nuestro ecosistema, debido a la gran cantidad de contaminantes que contienen este tipo de fluido, las fuentes hídricas se ven afectadas de manera dramática, ya que el 75% de este tipo de aceites se desechan sin ningún tipo de control, debido al desconocimiento de procedimientos técnicos o por ausencia de una normativa sobre su reutilización a pequeña o a gran escala [1].

En el ejercicio de la ingeniería cuando se habla de cimentaciones, una de las preguntas claves que se suele realizar es. ¿En qué tipo de suelo se va a trabajar?, pregunta muy compleja de contestar sin realizarse un debido análisis de las propiedades mecánicas del suelo donde se va a construir, en ocasiones suelen ser buenas las respuestas, pero esto solo depende del tipo de suelo sobre el que se vaya a trabajar, pues no siempre se encontraran unas condiciones favorables para la estructura, con lo cual se pueda brindar un apoyo rígido, en el cual no cambien considerablemente las propiedades del suelo con el pasar del tiempo [2].

Actualmente existen diferentes formas de mejorar las propiedades mecánicas de un suelo, ya sea mediante la realización de algún proceso mecánico, o, manipulando la estructura química del suelo mediante la adición de alguna sustancia estabilizante [3], la decisión de alterar las propiedades de un suelo depende del tipo de suelo que se va a mejorar, debido a que cada método solo es aplicable en determinados suelos, y los métodos varían según el tipo de uso que se le va dar al suelo tratado [4].

Las arcillas con alta plasticidad son el tipo de suelo que presenta mayores problemas cuando está en contacto con el agua, debido a sus propiedades físico-químicas, ellas cambian notablemente su volumen, dada la posibilidad de cambios volumétricos excesivos y altas deformaciones frente a la aplicación de cargas, una manera de modificar la arcilla expansiva, es transformándola en una masa rígida y granular cuyas partículas están lo suficientemente ligadas para resistir la presión interna bien sea expansiva o de contracción por parte de la arcilla, evitando así que ella produzca grandes presiones sobre las estructuras existentes en este tipo de suelo [5].

Mediante el presente proyecto se estudia el comportamiento de un suelo arcilloso de alta plasticidad con la adición de aceite, el cual se mezcló en diferentes dosificaciones con aceite residual lubricante de motor, y posteriormente se analizó en qué medida afectaba el aceite las propiedades mecánicas del suelo, mediante la realización de una serie de ensayos de laboratorio, donde se estudian las principales características físicas de los suelos arcillosos.

## 1. OBTENCIÓN DE LA MUESTRA

Inicialmente se buscó un suelo procedente de la Mesa de los Santos y del municipio de Girón, los cuales se caracterizaron mediante los ensayos de granulometría y límites de Atterberg, se decide no trabajar con esos suelos debido a su baja plasticidad. A continuación, se muestra los resultados obtenidos y su caracterización física [6].

**Tabla 1. Datos obtenidos suelo de la Mesa de los Santos**

<b>SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE LOS SUELOS USCS</b>	
<b>Pasa 200</b>	<b>91.56%</b>
<b>Limite liquido</b>	<b>40.80%</b>
<b>Limite Plastico</b>	<b>25.87%</b>
<b>Indice de Plasticidad</b>	<b>14.93%</b>
<b>CL - Arcilla de baja plasticidad</b>	

**Tabla 2. Datos obtenidos suelo de Girón**

<b>SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE LOS SUELOS USCS</b>	
<b>Pasa 200</b>	<b>87.35%</b>
<b>Limite liquido</b>	<b>41.20%</b>
<b>Limite Plastico</b>	<b>34.63%</b>
<b>Indice de Plasticidad</b>	<b>6.57%</b>
<b>ML - Limo organico arcilloso ligeramente plastico</b>	

El suelo que se trabajó en el presente proyecto fue traído del municipio de Barrancabermeja ubicado en el Departamento de Santander.

**Figura 1. Muestra de arcilla del municipio de Barrancabermeja Santander.**



### **1.1. DESCRIPCIÓN DEL SUELO UTILIZADO**

La muestra de suelo utilizada posee colores amarillos con una baja tonalidad de rojo y algunos tonos grises y blancos. Para determinar de forma cuantitativa la distribución de las partículas se realizó un análisis granulométrico por tamizado. Realizada la caracterización se determinó que poseía:

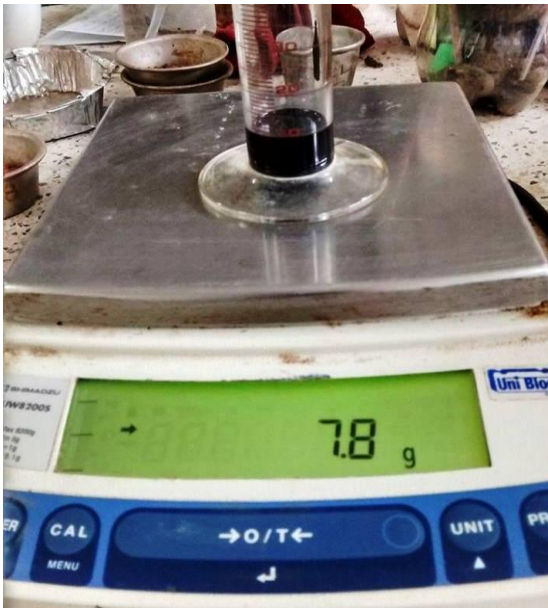
**Tabla 3. Datos granulometría suelo traído del municipio de Barrancabermeja**

<b>SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE LOS SUELOS USCS</b>	
<b>Pasa 200</b>	<b>93.65</b>
<b>Limite liquido</b>	<b>54.2</b>
<b>Limite Plastico</b>	<b>27.76</b>
<b>Indice de Plasticidad</b>	<b>26.44</b>
<b>CH - Arcilla de alta plasticidad</b>	

## 2. DESCRIPCIÓN DEL ACEITE

Para este estudio se trabajó con un aceite residual, dicho aceite fue brindado por la Empresa Holcim, el cual se obtuvo del cambio periódico que la empresa le practica a sus vehículos Mixer cuando estas cumplen 300 horas de uso. Este aceite es un material viscoso, de color negro, densidad de 0.78 gr/ml y con base mineral.

**Figura 2. Cálculo de la densidad del aceite.**



Este material contiene calcio, hierro y varios metales pesados contaminantes [7]. Durante el estudio, el aceite usado se trabajó a temperaturas de 60° C, el material mostró ignición al haberse llevado a temperaturas de 110° C.

**Figura 3. Punto de ignición a 110° C.**



### 3. DOSIFICACIÓN DEL SUELO CON EL ACEITE

La preparación de la muestra con el fin de llevar a cabo cada uno de los ensayos de laboratorios se realizó según lo especifica la Norma INVIAS 2013, posteriormente se añadió el aceite en porcentajes de masa del 5%, 10% y 15% a una temperatura de 60° directamente sobre el suelo el totalmente seco, tal como se muestra en la Figura 4.

**Figura 4. Muestra con aceite antes de ser mezclada.**



Luego de añadido el porcentaje de aceite se dejaron estabilizar las muestras por un tiempo de 7 días para que la mezcla quedara homogénea.

**Figura 5. Muestras de suelo mezclado y estabilizado**



## 4. LABORATORIOS REALIZADOS

### 4.1 GRANULOMETRÍA

Para la determinación de la granulometría se trabajó bajo lo reglamentado en la norma INV E - 123-13[8], se partió de 1000 g de material, en el caso del material natural se procedió a secar en el horno con una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , y en el caso de los suelos mezclados con el aceite se procedió a lavar con surfactante para poder tamizar la muestra debido a que la muestra queda como una pasta densa que es prácticamente imposible de tamizar y para su secado se procedió a secar en el horno con una temperatura de  $60^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  durante 48 horas. Ver Figuras 6, 7 y 8.

**Figura 6. Muestra intentando ser lavada por el tamiz No 200 antes de aplicar el surfactante.**



**Figura 7. Muestra lavada con el surfactante**

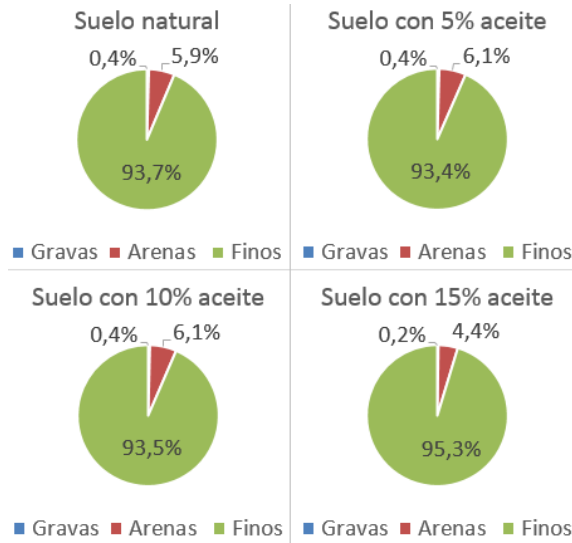


**Figura 8. Muestras secas listas para su tamizado**



En la Figura 9 se puede observar los diferentes porcentajes de gravas, arenas, finos y aceite utilizado en el proyecto.

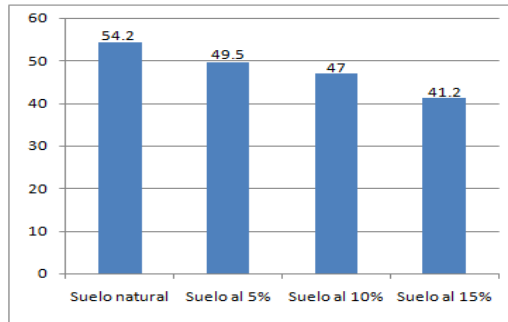
**Figura 9. Granulometrías de cada tipo de muestra [Ver Anexo A]. Fuente:**



#### 4.2 LÍMITES DE ATTERBERG

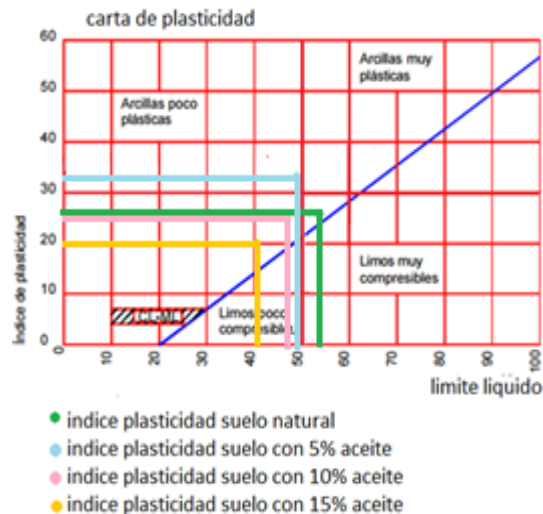
En el ensayo de límite líquido se trabajó bajo lo establecido en la norma INV E 125-13 [9], se parte de una muestra de aproximadamente 150 g, la muestra es tamizada por el tamiz No. 40, luego a la muestra se le añade agua hasta formar una pasta uniforme de consistencia dura, en el caso de los suelos mezclados con el aceite, el proceso tiende a tardar más debido a las propiedades impermeables adquiridas por el aceite, esto provoca que la adición de agua se haga de forma cuidadosa y homogénea, de no realizarlo de esa manera partes de la muestra quedan con humedad diferente. Se evidencia que a medida que el suelo contiene más cantidad de aceite el límite líquido va disminuyendo, lo cual se debe a que el aceite reemplaza la cantidad de agua requerida para que el suelo cambie su consistencia.

**Gráfica 1. Limite liquido**



En el ensayo de límite plástico se trabajó bajo lo establecido en la norma INV E 126 - 13 [10], se observó que al aumentar el porcentaje de aceite el suelo repele el agua, y al momento de amasar la muestra para formar los rollos se convierte en un proceso tedioso, se recomienda realizar el ensayo muy despacio y mezclando muy bien el material cada vez que se le añade agua, de tal manera que la arcilla logre tener la maleabilidad requerida para realizar los rollos de 3 mm de grosor exigidos en la norma.

**Figura 10. Carta de plasticidad con cada tipo de suelo analizado [Ver anexo A].**



Se evidenció que, mediante la adición de aceite al suelo, este deja de ser una arcilla muy plástica y se convierte en una arcilla con baja plasticidad.

#### **4.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA**

La gravedad específica es la relación de un volumen determinado de partículas, y una masa de un mismo volumen de agua destilada a una temperatura determinada y libre de gases [11], para nuestra investigación recopilamos estudios anteriores y se encontró, que los valores de gravedad específica de arcillas suelen estar en un rango bastante amplio, esto se debe a las diferentes composiciones químicas que puede tener una arcilla [12], motivo por el cual se decidió realizar este ensayo siguiendo las recomendaciones de la norma INV E - 128 - 13 [11], la realización del laboratorio se implementó solo para la arcilla en su estado natural, para ello se dispuso de una muestra representativa de suelo seco, donde el resultado obtenido fue una gravedad específica de 2.621 en la siguiente tabla se muestra los resultados obtenidos

**Tabla 4. Datos laboratorio gravedad especifica**

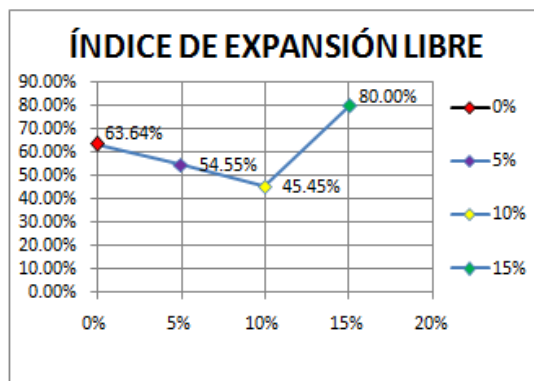
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA INV E - 128-13</b>	
suelo virgen	
masa de los solidos secos al horno Ms	69,6
Masa picnometro lleno de agua $M_{pw,c}$	263,55
Masa picnometro seco $M_p$	125,4
densidad agua temperatura ensayo $g_w$	0,99652
Coeficiente de corrección por temperatura K a 27°C	0,99831
Volumen calibrado picnometro $V_p$	138,632
masa picnometro lleno de agua temperatura ensayo $M_{pw}$	263,55
Gravedad especifica de las particulas solidas a la temperatura de ensayo $G_t$	2,62147
Gravedad especifica de las particulas solidas a 20° C $G_{20}^c$	2,61704

#### **4.4 ÍNDICE DE EXPANSIÓN LIBRE (IEL)**

La realización de este ensayo se llevó a cabo siguiendo todas las instrucciones dadas en la norma INV E - 132 - 13 [13]; Se utilizaron probetas de vidrio las cuales facilitaron la lectura al finalizar cada ensayo, se evidencia que el suelo experimenta una tendencia a disminuir su IEL a medida que aumenta la cantidad de aceite, hasta un punto en el cual la tendencia se invierte, y donde esta comienza es a aumentar, esto se debe a que en un principio de la tendencia, el aceite en pequeñas dosis funciona como agente impermeabilizador de la arcilla, impidiendo que esta absorba el agua depositada en el probeta, ayudando a disminuir el IEL de la arcilla, pero luego si la dosis de aceite se continúa

aumentado, la tendencia muestra un efecto contrario, y esto se debe, a que la densidad del aceite es menor que la del agua, lo cual provoca que cuando se adiciona agua a la probeta y luego esta sea agitada, las partículas de suelo con aceite al 15% no son decantadas con la misma fuerza y rapidez que las otras partículas de arcilla con el 10% y 5%, provocando el aumento del volumen del suelo en condición saturada.

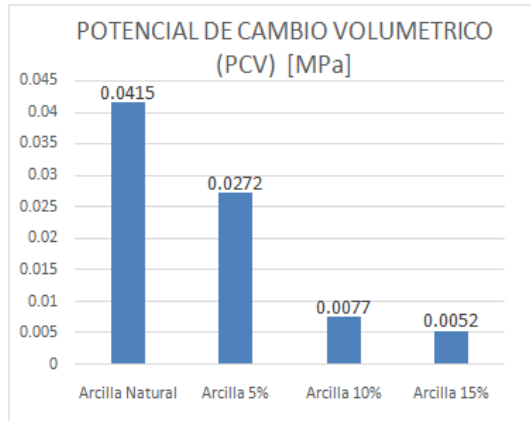
**Gráfica 2. Tendencia del índice de expansión libre [Ver Anexo D].**



#### 4.5 POTENCIAL DE CAMBIO VOLUMÉTRICO

Mediante la realización de este ensayo el cual se llevó a cabo siguiendo las indicaciones de la norma INV E - 120 - 13 [14], se evaluó la capacidad que presenta la arcilla de ejercer grandes presiones durante su expansión cuando entra en contacto con el agua, por medio de este ensayo se logró evidenciar que a medida que aumentaba la dosificación del aceite, disminuida la fuerza expansiva de la arcilla, la cual mediante el uso del aparato de lambe de logro medir en Newtons [N], en la gráfica se muestra como disminuye el esfuerzo ejercido por la arcilla a medida que aumenta la dosificación del aceite, esto se debe a que la mayor parte de los poros de la arcilla se van llenando de aceite, el cual impide la absorción de agua por parte de la arcilla.

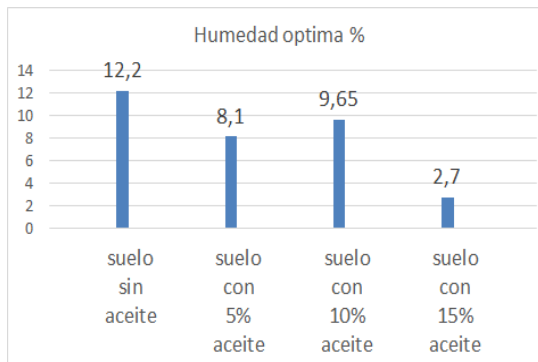
**Gráfica 3. Variación del potencial de cambio volumétrico de cada muestra [Ver anexo C].**



#### 4.6 PROCTOR MODIFICADO

este ensayo se realizó bajo las indicaciones establecidas en la norma INV E - 142 - 13 [15], para la determinación de la humedad óptima y su densidad máxima, tanto para el suelo natural y el suelo con 5%,10% y 15% de aceite.

**Gráfica 4. Humedad óptima de cada muestra [Ver Anexo B].**

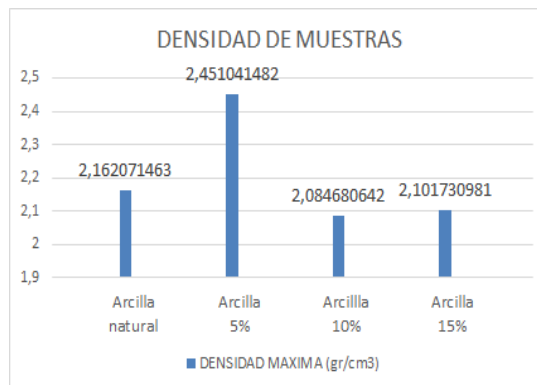


El gráfico muestra la humedad óptima necesaria para que cada muestra de suelo alcance su densidad máxima, a continuación se muestra las densidades obtenidas con cada una de las humedades anteriormente mencionadas, es claro notar que la

mezcla de 95% suelo y 5% aceite es la que alcanza una mejor compactación logrando tener una mayor densidad, lo cual indica que el aceite agregado en pequeñas dosis ayuda disminuir los vacíos presente en el suelo.

En el ensayo de Proctor realizado al suelo del 15% de aceite, se evidenció que su densidad máxima era en el punto 0 sin agregarle nada de agua, por tal motivo, y por su complejidad al momento de la compactación, para este ensayo se añadió agua cada 1% y no cada 2% como lo establece la norma.

**Gráfica 5. Densidades con la humedad óptima [Ver Anexo B].**



#### 4.7 CORTE DIRECTO

Para la realización del ensayo de corte directo se siguieron todas las indicaciones dadas en la norma INV E - 154 - 13 [16], teniendo como base los resultados obtenidos de los ensayos realizados de Proctor Modificado, se decide realizar una muestra remoldeada de suelo con la humedad óptima de compactación, y así lograr tener las muestras compactadas con la mayor densidad posible, la compactación de esta muestra se realizó en un molde cilíndrico de 6 pulgadas de diámetro, con el fin de poder extraer los tres anillos de muestra de la misma capa, y así, poder garantizar que todas la muestras tuvieran el mismo grado de compactación, ya que durante la etapa de investigación, notamos que si

trabajamos con un molde de 4 pulgadas de diámetro, era imposible extraer los tres anillos de muestra de la misma capa, lo cual, nos obligaba a tener que fallar muestras con diferentes grados de compactación, pues los anillos eran extraídos a diferentes profundidades del cilindro, y esto, nos dio a evidenciar que si aumentamos el grado de compactación de la muestra, ella, va a tender a aumentar más su resistencia, y al momento de hacer la correlación de los datos será evidente la incoherencia de los mismos.

**Figura 11. Extracción de los anillos de muestra.**

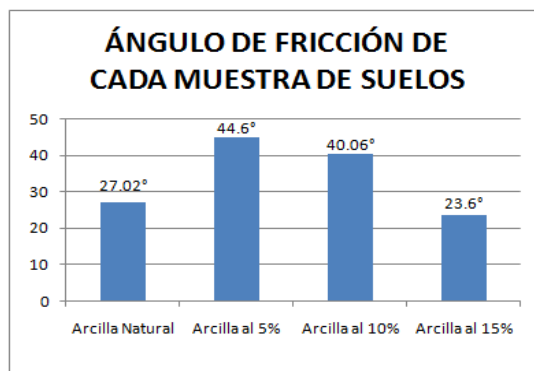


El ensayo de corte directo proporciona información acerca de la resistencia y cohesión de un suelo, parámetros los cuales se pueden utilizar para estudiar la capacidad de carga, dichos datos son obtenidos mediante la representación grafica donde se ubican los datos de esfuerzos normal y esfuerzo cortante, formando una serie de tres puntos los cuales se interpolan linealmente, mostrando así, una recta la cual nos deja ver la fuerza de cohesión, que se puede interpretar como el punto donde la recta corta el eje de la ordenada, y cuya pendiente nos da a conocer el ángulo de fricción de las partículas del suelo analizado, rectas con grandes pendientes, nos garantizan ángulos grandes, los cuales indican que la

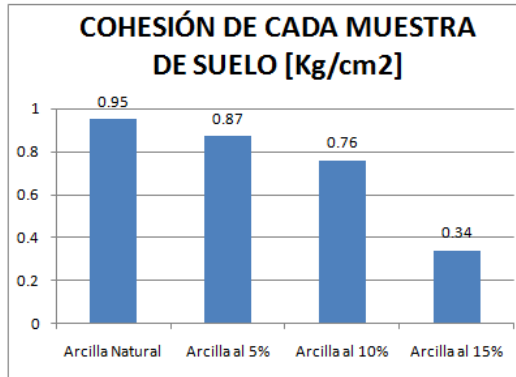
capacidad de carga del suelo es buena pues son valores directamente proporcionales, caso contrario con la cohesión, donde sucede lo opuesto, ya que si se tiene un ángulo de fricción grande, eso quiere decir que la recta tiene una gran pendiente lo cual afecta directamente la cohesión la cual se va a ver disminuida [17].

El suelo estudiado muestra un ángulo de fricción bastante bueno, algo fácil de notar ya que se trata de una arcilla de alta plasticidad remoldeada y compactada en condiciones de humedad óptima, durante la investigación se observó que la mezcla con el mayor ángulo de fricción, fue la que contenía un 95% de suelo y 5% de aceite, esto se debe a que el aceite en pequeñas cantidades funciona como ligante entre las partículas más pequeñas de arcilla logrando que la arcilla pase de tener una textura de granos muy pequeños, a tener una textura más gruesa, similar a la de una arena fina, también se evidencio que no es saludable seguir aumentando la dosificación de aceite pues la tendencia con las demás mezclas las cuales contenían dosificaciones mayores de aceite, fue una tendencia negativa, a tal punto que deja casi inservible el suelo para soportar carga, que fue lo sucedido con la muestra de 85% suelo y 15% aceite, donde se evidencio que el aceite satura por completo la arcilla afectando en forma negativa sus propiedades naturales de soportar carga y cohesión entre sus partículas.

**Gráfica 6. Ángulos de Fricción obtenidos del ensayo de corte directo [Ver Anexo E].**



**Gráfica 7. Cohesión de cada muestra de suelo obtenida del ensayo de corte directo [Ver Anexo E].**



#### **4.8 CONSOLIDACIÓN**

Mediante este ensayo se analiza el comportamiento del suelo natural y la mezcla de 95% suelo y 5% aceite a la cual hemos denominado como mezcla óptima dichos suelos se evaluaron bajo diferentes cargas unidimensionales en un periodo determinado de tiempo, utilizando el edómetro, el cual posee dentro del paquete de ensayos, el ensayo de consolidación, donde se obtuvo la deformación causada por cada uno de los escalones de carga y descarga aplicados sobre la muestra de suelo natural y suelo óptimo [18].

El ensayo se realizó extrayendo una muestra dentro de un anillo de un molde remoldeado y compactado con la humedad óptima calculada por medio del ensayo de Proctor modificado, con el fin de lograr extraer el anillo que contenga una muestra con la mayor densidad posible obtenida por medio de compactación.

**Tabla 5. Datos laboratorio Proctor Modificado [Ver Anexo B].**

PROCTOR MODIFICADO	HUMEDAD OPTIMA %	DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)
suelo arcilloso sin contaminación	12,2	2,162
suelo arcilloso contaminado con 5%	8,1	2,451

Antes de iniciar el laboratorio se le aplicó una carga de asentamiento de 5 [KPa], por un lapso de 5 minutos, se llenó el recipiente con agua. se le aplicaron una serie de cargas periódicamente denominados escalones de carga, cada escalón de carga tenía una duración de 24 horas método A establecido en la norma INV E - 151-13 [19], las cargas aplicadas al suelo fueron las siguientes:

**Tabla 6. Cargas aplicadas [Ver anexo G].**

carga aplicada
0,3 kg
0,6 kg
1,2 kg
2,45 kg
5 kg

A partir de los datos tiempo-deformación registrados durante cada uno de los escalones de carga se determinó el coeficiente de consolidación  $C_v$  para cada uno de los incrementos de carga. para el cálculo del coeficiente de consolidación se utilizó el método de Taylor o raíz cuadrada del tiempo.

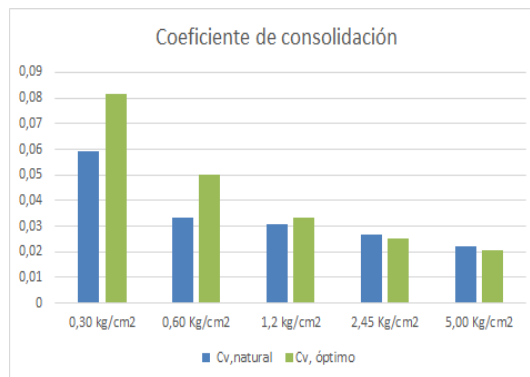
**4.8.1. Método de Taylor o raíz cuadrada del tiempo** Este método realiza un gráfico deformación Vs raíz cuadrada de tiempo para una serie de cargas que van incrementando, además requiere de una serie de construcciones gráficas que se muestran en la siguiente figura.

- Dibujar una línea AB a través de la porción inicial de la curva.
- Dibujar una línea AC de tal forma que  $OC=1.15OB$ . La abscisa del punto D, la cual es la intersección de AC y la curva de consolidación, nos da la raíz cuadrada del tiempo correspondiente al 90% de consolidación ( $t_{90}$ ).
- Para 90% de la consolidación,  $T_{90}=0.848$

**Tabla 7. Datos laboratorio consolidación, coeficiente de consolidación suelo natural y mezcla óptima.**

ESCALONES DE CARGA	COEFICIENTE DE CONSOLIDACION $C_{v,natural}$	COEFICIENTE DE CONSOLIDACION, óptimo
0,30 kg/cm <sup>2</sup>	0,059325694	0,0814698
0,60 Kg/cm <sup>2</sup>	0,033514862	0,050067447
1,2 kg/cm <sup>2</sup>	0,030772232	0,033162804
2,45 Kg/cm <sup>2</sup>	0,026482006	0,024943175
5,00 Kg/cm <sup>2</sup>	0,022097446	0,020516721

**Gráfica 8. Coeficientes de consolidación.**



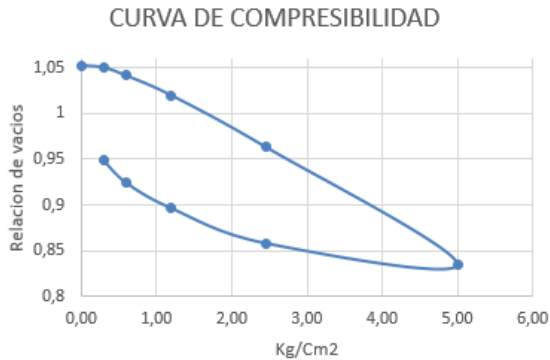
Se observa un aumento en el coeficiente de consolidación de los tres primeros escalones de la mezcla óptima con respecto al suelo natural, varía por la

interacción que hay entre el agua aplicada a la muestra y el aceite, Debido a la homogeneización que hubo entre suelo y aceite.

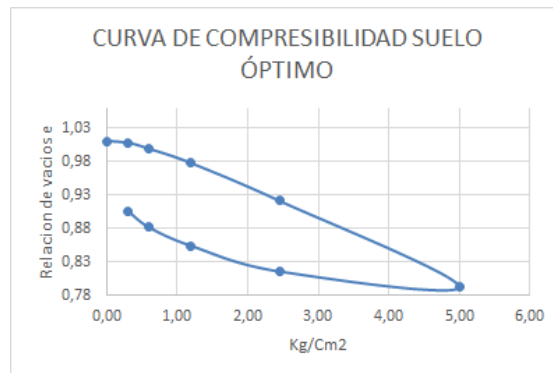
De esta manera cuando el suelo empieza a experimentar tensiones de fricción y el agua al no poder mezclarse en su totalidad con el suelo debido a que este posee aceite, el agua sale más rápido aumentando el coeficiente de consolidación.

Por el contrario, en los dos últimos escalones se observa disminución en el coeficiente de consolidación, debido a que el aceite ocupó vacíos que el agua debía llenar permitiendo que los granos comiencen a tocarse entre sí más rápido generando fricción, permitiéndole a ellos tomar la totalidad de la carga, para que de esa manera disminuya por completo la presión neutra.

**Gráfica 9. Datos laboratorio consolidación, Curva de compresibilidad suelo natural [Ver anexo G].**



**Gráfica 10. Datos laboratorio consolidación, Curva de compresibilidad de la mezcla óptima [Ver anexo G].**



Como se observa en los gráficos hubo disminución en la relación de vacíos de la mezcla óptima con respecto al suelo arcilloso natural debido a que el aceite ocupó vacíos existentes en el suelo.

#### **4.9. COMPRESIÓN INCONFINADA**

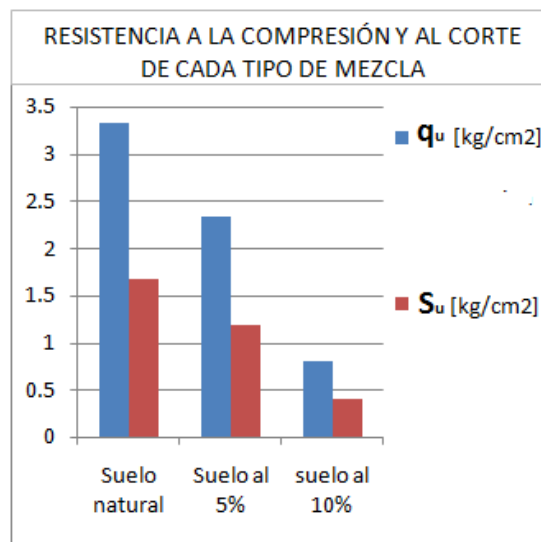
Mediante la realización del ensayo de compresión inconfiada de suelos, se logra obtener de forma ágil datos de la resistencia mínima a la compresión que puede soportar un suelo en condición inconfiada, y también, se logra obtener un valor aproximado de la resistencia al corte que presenta dicho suelo, lo cual puede interpretarse también como un valor que nos puede dar un aproximado de que tan cohesivo es el suelo que se está estudiando.

Durante nuestra investigación realizamos el ensayo de corte directo siguiendo todos los parámetros establecidos por la norma INV E 152 - 13 [19], dichos ensayos de laboratorio se realizaron solo para las muestra de suelo natural y la muestra de composición 95% suelo y 5%, la cual nombramos como mezcla óptima, se analizó también la mezcla de composición 90% suelo y 10% aceite, con el fin de corroborar la tendencia que se presentó entre los dos suelos

anteriormente mencionados, se decide no realizar el ensayo a la muestra de composición 85% suelo y 15% aceite debido a que era evidente por su apariencia y textura su incapacidad para soportar carga en condición inconfiada.

Se evidencio una disminuci3n en la capacidad del suelo en condici3n inconfiada de soportar carga a medida que aumentaba la dosis de aceite, lo cual es coherente debido a la p3rdida de resistencia por cohesi3n del suelo evidenciada en los ensayos de corte directo, ya que, en dosis peque1as de aceite, el suelo tiende a tener un comportamiento m1s similar al de una arena fina, la cual es incapaz de soportar grandes cargas en condiciones confinadas [20].

**Gr1fica 11. Resistencia a la compresi3n inconfiada y al corte de cada tipo de suelo analizado [Ver anexo F].**

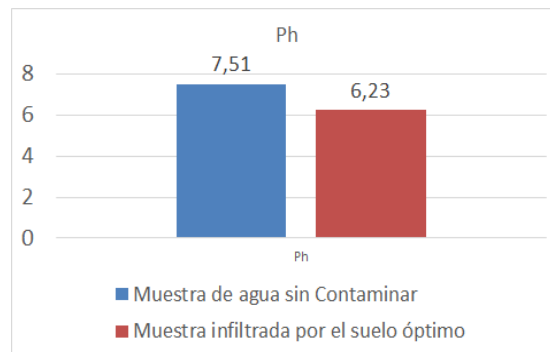


#### 4.10. VARIACI3N EN LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE FILTRADA A TRAV3S DEL SUELO 3PTIMO

los datos obtenidos de los an1lisis realizados al agua, se compararon con lo establecido en la resoluci3n 0631 de 2015, por la cual se establecen los

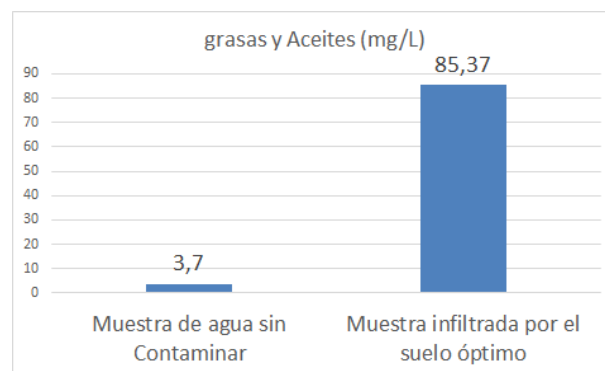
parámetros y los valores límites máximos permisible en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales, el agua que es infiltrada por el suelo óptimo se comparara con el capítulo V de esta resolución, donde se establecen los parámetros físico - químicos y sus valores máximos permisibles de aguas residuales domésticas, de una vivienda unifamiliar.

**Gráfica 12. PH del agua [Ver anexo H].**



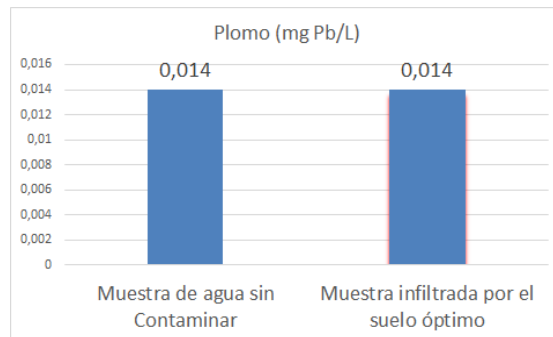
Se evidencia que el agua infiltrada por el suelo con un contenido del 5% de aceite disminuye su PH alrededor de un 17%, el agua cumple este parámetro que establece como valor límite máximo de 9.00.

**Gráfica 13. Grasas y aceites [Ver anexo H].**



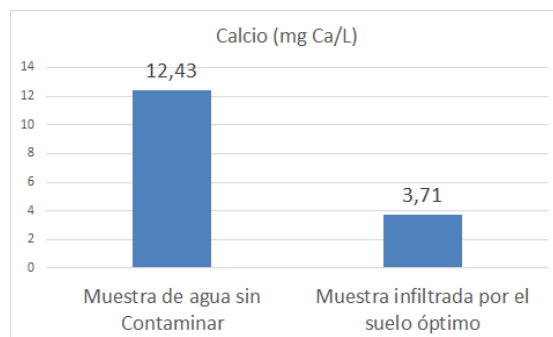
Se evidencia que el agua infiltrada por el suelo con un contenido del 5% de aceite aumenta alrededor de un 2300% .el agua no cumple este parámetro, el cual establece como valor límite máximo para grasas y aceites de 20.00 mg/L .

**Gráfica 14. Plomo [Ver anexo H].**



Se evidencia que el agua infiltrada por el suelo con un contenido del 5% al igual que el agua sin contaminar no presentar cantidades de plomo mayores de 0.014 (Pb/L).el agua cumple este parámetro, el cual establece como valor límite máximo para plomo de 0.50 mg/L.

**Gráfica 15. Calcio [Ver anexo H].**



Se observa que el agua infiltrada por el suelo con un contenido del 5% de aceite, disminuye su contenido de calcio alrededor de un 8%.

## 5. DISCUSIÓN

Actualmente se está comenzando a tomar conciencia de hacia dónde se dirige el mundo y que cantidad y calidad de recursos se dejará a las futuras generaciones, día a día diferentes personas luchan con la intención de que más personas adopten este pensamiento, y así poder construir ciudades más sostenibles y amigables con el ecosistema, debido a esto cada día se piensan en nuevas y posibles soluciones que mejoren las problemáticas que se viven en la mecánica de suelos. En el medio de la construcción es difícil trabajar de una manera amigable con el medio ambiente, pero no es una tarea imposible, por ello se buscan nuevas alternativas que nos ayuden a mejorar las posibles problemáticas existentes en los suelos, y sobre todo que dichas problemáticas se solucionen con material existente, y así, no aumentar la contaminación con la creación de nuevos compuestos químicos contaminantes.

Es necesario incentivar la constante realización de estudios de investigación, que puedan ser aplicados y permitan mejorar las características mecánicas de los suelos, ya que el tipo de suelo es uno de los factores determinantes para la realización de un proyecto constructivo, pues no siempre el suelo base sobre el cual se va a trabajar bien sea, la cimentación de una estructura, o la subrasante de una vía, podrá ser una roca, sino que tal vez pueda ser algún tipo de agregado fino, y en los peores casos, una arcilla de alta plasticidad, y si se trata de áreas considerablemente grandes, estabilizar el suelo puede resultar demasiado costoso tanto que en algunos casos llega a ser causal para la no realización del proyecto [21].

La realización de esta investigación abre una serie de posibles usos que se le pueden dar al suelo arcilloso mezclado con aceite, actualmente se sabe que lo

que mejor ha funcionado para estabilizar suelos arcillosos problemáticos ha sido la adición de cal [22]. Pero en función de la necesidad de estabilidad, y magnitud del proyecto, el uso de aceite residual puede llegar a ser conveniente para la estabilización de un suelo arcilloso de alta plasticidad, mas sin embargo se recomienda realizar un estudio más profundo y detallado debido a que los rangos de mezclas aquí trabajados son bastante amplios, y el enfoque no era estabilizar el suelo, sino saber, en qué medida se afectan las propiedades mecánicas de una arcilla expansiva con la adición de aceite residual.

El suelo compuesto por la mezcla de 95% arcilla y 5% aceite, se le denomino mezcla óptima, debido a que se evidencia una notable disminución en la necesidad de adicionar agua con el fin de cambiar de consistencia el suelo, lo cual influye positivamente en la compactación, obteniendo una así una masa de suelo más densa con un menor consumo de agua, logrando disminuir los vacíos e impermeabilizando la arcilla, evitando así que esta absorba agua y produzca cambios notorios de volumen, también, logra aumentar el ángulo de fricción de las partículas de la arcilla, lo cual me garantiza mayor capacidad de carga al momento de pensar en usar el suelo para la cimentación de una estructura.

## 6. CONCLUSIONES

Mediante la realización de esta investigación se logra estudiar y establecer, que existe una buena relación al mezclar una arcilla con porcentajes pequeños de aceite residual, ya que este influye de manera positiva en el mejoramiento de sus propiedades mecánicas, logrando disminuir su característica expansiva y aumentar su resistencia al corte, brindando así un mejor comportamiento la arcilla mezclada con pequeñas cantidades de aceite residual, que una arcilla es su estado natural, cuando se tenga este tipo de suelo como extracto de cimentación donde se apoye una estructura, se recomienda realizar un estudio más detallado en dirección al uso que se le vaya a dar al suelo mezclado con el aceite.

La mezcla que presentó mejores resultados fue la que estaba compuesta por 95% arcilla y 5% aceite, esto se debe a que en pequeñas cantidades el aceite llena los poros de la arcilla sin saturar por completo su matriz, actuando como cementante entre sus partículas y así dándole una textura más similar a la de una arena fina, ayudándole a repeler el agua quién es la principal causa por la cual la arcilla tiene un comportamiento tan inestable.

El cambio en la textura de la arcilla una vez esta es mezclada con el aceite es evidente, pues tiende a parecer un suelo más granular, y esto se logra evidenciar con la pérdida de la cohesión, lo cual afecta directamente la capacidad que tiene la arcilla de resistir carga en condición inconfiada, esto deja en evidencia la importancia que tiene la cohesión en las arcillas.

Mediante la realización de infiltrar agua a través de la mezcla optima, se logra determinar los contenidos de plomo, calcio, grasas y PH del agua infiltrada, comparándola con agua potable, se establece que el contenido de grasas es el

más destacado y perjudicial para el agua, frente a los contenidos de plomo en los cuales no se observa variación alguna, y el contenido de calcio en el cual se evidencia una disminución, al mismo tiempo que también se observa una disminución en el PH lo cual no resulta perjudicial para el agua.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Unidad de planeación Minero Energética, “Transformación de los aceites usados para su utilización como energéticos en procesos de combustión”, República de Colombia – Ministerio de minas y energía, Bogotá D.C. Octubre 2001. Disponible en: [http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/ure/estudios/EstudiosEficiencia\\_AceitesUsados.pdf](http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/ure/estudios/EstudiosEficiencia_AceitesUsados.pdf)

[2] Patrone J. y Prefumo J. E. “La acción de los suelos expansivos sobre las cimentaciones”, LIBRUIS – Memorias de trabajos de grado de difusión científica y técnica, pp. (52 – 74), Nov 2005, ISSN 1510 – 7450.

[3] Thomas M. Petry and Dallas N. Little. “Review of Stabilization of Clays and Expansive Soils in Pavements and Lightly Loaded Structures—History, Practice, and Future” Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 14, No. 6, December 1, 2002. pp. 447 - 450 ©ASCE, ISSN 0899-1561

[4] John P. Turner, “Soil Stabilization using oil – shale solid waste.” Journal of geotechnical engineering. Vol. 120. No 4, April, 1994, pp. 658 – 659, ©ASCE, ISSN 0733-9410.

[5] L. Beltrán Moreno “Expansión de los suelos arcillosos parcialmente saturados Primera parte.” Ingeniería e investigación, Primer encuentro nacional de ingenieros de suelos y estructuras. Santa fe de Bogotá, Septiembre 4 al 6 de 1991. pp. 36 – 43

[6] Juárez Badillo E. y Rico Rodríguez A. Mecánica de suelos I. Tomo I, Noriega Editores, México 2005 Capítulo VII, Clasificación e identificación de suelos pp. 153- 155.

[7] Dirección de desarrollo sectorial sostenible, “Gestión de aceites usado en Colombia”, Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, Bogotá D.C. Nov 2005, Disponible en: [http://www.si3ea.gov.co/si3ea/Documentos/Ciure/Documentos/Septima\\_Sesion/PRESENTACION\\_MAVDT.pdf](http://www.si3ea.gov.co/si3ea/Documentos/Ciure/Documentos/Septima_Sesion/PRESENTACION_MAVDT.pdf)

[8] Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos. INV E – 123 – 13. Instituto nacional de vías. Disponible en <http://www.invias.gov.co/index.php/documentos-tecnicos-izq/139-documento-tecnicos/1988-especificaciones-generales-de-construccion-de-carreteras-y-normas-de-ensayo-para-materiales-de-carreteras>

[9] Determinación del límite líquido de los suelos INV E – 125 – 13 Instituto nacional de vías. Disponible en <http://www.invias.gov.co/index.php/documentos-tecnicos-izq/139-documento-tecnicos/1988-especificaciones-generales-de-construccion-de-carreteras-y-normas-de-ensayo-para-materiales-de-carreteras>

[10] Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos INV E – 126 – 13 Instituto nacional de vías. Disponible en <http://www.invias.gov.co/index.php/documentos-tecnicos-izq/139-documento-tecnicos/1988-especificaciones-generales-de-construccion-de-carreteras-y-normas-de-ensayo-para-materiales-de-carreteras>

[11] Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y el llenante mineral, empleando un picnómetro con agua INV E - 128 – 13 Instituto nacional de vías. Disponible en <http://www.invias.gov.co/index.php/documentos-tecnicos-izq/139-documento->

[tecnicos/1988-especificaciones-generales-de-construccion-de-carreteras-y-normas-de-ensayo-para-materiales-de-carreteras](#)

[12] Nieto Leal A. Camacho Tauta A. F. Ruiz Blanco E. F. “determinación de parámetros para los modelos elastoplásticos mohr-coulomb y hardening soil en suelos arcillosos” Revista Ingenierías Universidad de Medellín, Vol 8, No. 15, julio-diciembre de 2009. pp. 78 - 83 ISSN 1692-3324

[13] Determinación de suelos expansivos INV E – 132 – 13 Instituto nacional de vías. Disponible en <http://www.invias.gov.co/index.php/documentos-tecnicos-izq/139-documento-tecnicos/1988-especificaciones-generales-de-construccion-de-carreteras-y-normas-de-ensayo-para-materiales-de-carreteras>

[14] Determinación del potencial de cambio volumétrico de un suelo empleando el aparato de Lambe INV E – 120 – 13 Instituto nacional de vías. Disponible en <http://www.invias.gov.co/index.php/documentos-tecnicos-izq/139-documento-tecnicos/1988-especificaciones-generales-de-construccion-de-carreteras-y-normas-de-ensayo-para-materiales-de-carreteras>

[15] Relación de humedad – peso unitario seco en los suelos (Ensayo modificado de compactación) INV E – 142 – 13 Instituto nacional de vías. Disponible en <http://www.invias.gov.co/index.php/documentos-tecnicos-izq/139-documento-tecnicos/1988-especificaciones-generales-de-construccion-de-carreteras-y-normas-de-ensayo-para-materiales-de-carreteras>

[16] Ensayo de corte directo en condición consolidada drenada (CD) INV E – 154 – 13 Instituto nacional de vías. Disponible en <http://www.invias.gov.co/index.php/documentos-tecnicos-izq/139-documento-tecnicos/1988-especificaciones-generales-de-construccion-de-carreteras-y-normas-de-ensayo-para-materiales-de-carreteras>

[17] Nieto Leal A. Camacho Tauta A. F. Ruiz Blanco E. F. “determinación de parámetros para los modelos elastoplásticos mohr-coulomb y hardening soil en suelos arcillosos” Revista Ingenierías Universidad de Medellín, Vol 8, No. 15, julio-diciembre de 2009. pp. 83 - 85 ISSN 1692-3324

[18] Bello Florez A. F. y Niño Jaimes L. E. “Determinación del cambio volumétrico en suelos finos representativos del municipio de Vélez.” [Tesis de Pregrado], Departamento de ingeniería civil, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga Colombia. 2016

[19] Compresión inconfiada de muestras de suelos INV E – 152 – 13 Instituto nacional de vías. Disponible en <http://www.invias.gov.co/index.php/documentos-tecnicos-izq/139-documento-tecnicos/1988-especificaciones-generales-de-construccion-de-carreteras-y-normas-de-ensayo-para-materiales-de-carreteras>

[20] Celis Supelano C. F. y Corzo Sánchez D. M. “Aprovechamiento de residuos contaminantes de refinería en estabilización de suelos”, [Tesis de Pregrado], Departamento de ingeniería civil Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga Colombia. 2013.

[21] Thomas M. Petry and Dallas N. Little. “Review of Stabilization of Clays and Expansive Soils in Pavements and Lightly Loaded Structures—History, Practice, and Future” Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 14, No. 6, December 1, 2002. pp. 454 - 456 ©ASCE, ISSN 0899-1561

[22] Solano Rico G. A. y Niño Carreño O. F. “Evaluación de la estabilidad de las arcillas expansivas en laboratorio implementando pilotines con sal y cal.” [Tesis de pregrado.] Departamento de ingeniería civil. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga Colombia. 2010