	<b>FORMATO: TRABAJO DE GRADO</b>	<b>Código:</b>	FO-MI-058
		<b>Versión:</b>	1
		<b>Fecha:</b>	15-04-2020

<b>1. PRESENTACIÓN</b>			
<b>FACULTAD:</b>	Ingenierías y Arquitectura		
<b>PROGRAMA:</b>	Ingeniería Civil		
<b>TÍTULO:</b>	Análisis bibliográfico de la variación en las propiedades geotécnicas en suelos de Latinoamérica a causa del petróleo y sus derivados.		
<b>AUTOR 1:</b>	Mariana Herrera Pamplona	<b>CC:</b>	1017265097
<b>AUTOR 2:</b>		<b>CC:</b>	
<b>TUTOR:</b>	Maria Julia Nieto Callejas		

<b>2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>
<p>La contaminación de suelos a causa de derrames de productos químicos es un problema inherente al desarrollo económico y al crecimiento poblacional. En Colombia los derrames son causados principalmente en procesos de extracción o de manera accidental en el transporte del petróleo y sus derivados, que traen como consecuencia la contaminación del ambiente a través de filtraciones accidentales o deliberadas en las capas del suelo.</p> <p>Es importante definir que el petróleo está formado por hidrocarburos cuya estructura molecular se basa en carbono e hidrógeno, según el ordenamiento de sus átomos se obtienen diferentes propiedades físicas y químicas. Ahora bien, en Colombia se presenta la particularidad de que los suelos que se forman pertenecen al grupo de suelos tropicales, es decir, están directamente influenciados por factores ambientales que varían de acuerdo a las diferentes regiones que conforman el país</p> <p>Es importante el estudio de este tema debido a que las propiedades físicas y químicas del suelo se ven afectadas presentando variaciones en el pH, textura, en su capacidad de permeabilidad, así como también se presentan variaciones en el contenido de materia orgánica. Las propiedades geotécnicas del suelo también son susceptibles a presentar variaciones con la presencia de hidrocarburos; uno de estos de impactos es el aumento en la probabilidad de colapso, es decir, la estabilidad del suelo podría variar</p>

por efecto de estos contaminantes, lo que permite inferir que los hidrocarburos sean capaces de eliminar el soporte que mantiene unidos los granos de la estructura del suelo.

Este estudio es una compilación de información existente que enuncia cambios en propiedades del suelo a causa del petróleo y sus derivados. Colombia es un país donde las investigaciones acerca de los cambios en el suelo a nivel geotécnico por derrames de hidrocarburos son escasas, y por otra parte no se considera un tema de interés dentro de los procesos constructivos. Sin embargo, al ser Colombia un país productor y consumidor de hidrocarburos, amerita el desarrollo de más investigaciones en este tema. Es importante mencionar cómo la presencia de hidrocarburos en el suelo tiene un aspecto crítico para garantizar la calidad y óptimo comportamiento del suelo en las obras civiles existentes o futuras.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

El transporte de hidrocarburos ha venido creciendo de la misma manera en que ha ido aumentando la población, con el objetivo de suministrar servicios, debido a esto se aumenta la facilidad de provocar derrames accidentales que contaminan los suelos donde se apoyan diferentes estructuras; lo que de cierta manera genera incertidumbre en cuanto a la respuesta del suelo frente a las estructuras existentes o proyectadas.

El presente trabajo, como se ha dicho en el planteamiento del problema consiste en profundizar en los estudios previos que se han realizado en cuanto al comportamiento geotécnico del suelo cuando son contaminados por sustancias como el petróleo y sus derivados. Es importante tener en cuenta los escenarios de contaminación de los suelos durante el diseño y la planificación de proyectos debido a que tener en cuenta dicha contaminación ayudará a prevenir posibles eventos que puedan afectar la estabilidad y el comportamiento de los suelos.

En la Constitución política Nacional de Colombia de 1991 no existe como tal una normativa explícita que exponga la contaminación de suelos, pues estos hacen parte de los ecosistemas terrestres que componen el territorio, pero la Constitución sí generaliza la protección del suelo como parte fundamental del equilibrio global. Existe además un Plan Nacional de Contingencia contra derrames de Hidrocarburos, Derivados y Sustancias Nocivas en Aguas Marinas, Fluviales y Lacustres, este Plan aborda el conjunto de actividades propias a estos procesos para evitar, controlar y reparar los daños que trae consigo una incorrecta acción ambiental a causa del manejo de los hidrocarburos.

--

#### **4. OBJETIVOS**

**OBJETIVO GENERAL:** Definir variaciones en las propiedades geotécnicas de los suelos de Latinoamérica a causa del petróleo y sus derivados.

##### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

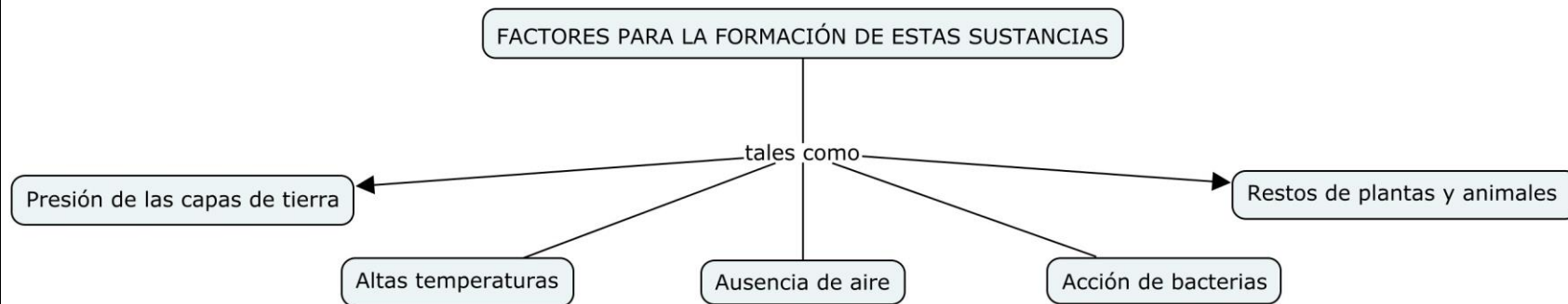
Mínimo 2 - Máximo 5 Objetivos Específicos

- Reconocer características del suelo de Latinoamérica.
- Enunciar principales variaciones geotécnicas del suelo en estado contaminado.
- Constatar a partir de la investigación bibliográfica que se realice, cuáles son los cambios más representativos en las propiedades del suelo a causa del petróleo y sus derivados.

## 5. MARCO TEÓRICO

Abordaje breve de los principales aspectos teóricos que respaldan la investigación (Conceptos, leyes, principios, fundamentos, etc.). (1000 palabras mínimo)

El petróleo es un compuesto conformado por partes sólidas, líquidas y gaseosas. A su vez lo componen otros compuestos conocidos como hidrocarburos, los cuales están constituidos por átomos de carbono e hidrógeno, además de tener en pequeñas magnitudes nitrógeno, azufre, oxígeno, y otros metales.



La forma en la que se originan estos compuestos son variadas de acuerdo a las condiciones anteriormente mencionadas, por tanto, se puede obtener una sustancia líquida, dentro de los poros de las rocas, una sustancia volátil, con capacidad de ser gaseosa cuando entra en contacto con el aire; y también podemos obtener una sustancia semisólida, con textura de ceras. Es importante mencionar que una de las principales características del petróleo es que es un líquido mezclado con gases y agua. (Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos, 2002).

Esta sustancia hace parte de la familia de los hidrocarburos, la cual se forma en el interior de la Tierra debido a la transformación de la materia orgánica acumulada, y se encuentra a menudo en yacimientos donde existe una huella geológica. Son extraídos mediante perforaciones a los pozos.

Esta sustancia puede clasificarse de acuerdo a una medida estándar conocida como los grados API (American Petroleum Institute), la cual mide la densidad del petróleo teniendo como referencia al agua, es decir, se interfiere ambas sustancias a temperaturas semejantes, esto con el fin de diferenciar al petróleo como: liviano, pesado, extra pesado e hidrocarburos no convencionales. Según lo anterior se tiene que para el caso del petróleo que tenga más grados API se tendrá un refinado más sencillo, por lo cual, su precio llega a ser mayor; un valor de 8 – 10 API se considera crudo extra pesado y llega hasta 31 API donde se le considera crudo liviano.

El tipo de crudo que se usa (en mayor medida) en el país es del tipo pesado, extraído principalmente de la cuenca de los llanos ubicada en el departamento del Meta. La historia de la extracción de crudo en el país se caracteriza por un proceso de adjudicación de concesiones a personas naturales auspiciadas por el gobierno nacional y las cuales fueron negociadas con empresas internacionales que estaban en el país en ese momento.

Entre ellas están:

- La Concesión Mares de 1905, que lleva su nombre por Roberto de Mares
- La concesión Barco que fue entregada a Virgilio Barco por Rafael Reyes, también en el año 1905

Es curioso que la empresa Ecopetrol fuera formada debido a una de estas concesiones, una huelga obrera y comunitaria que se forma debido a la reversión de la concesión de Mares, se intentaba que no se extendiera el contrato que patrocinaba esta concesión y que hubiera una empresa pública que incluso continúa operando hasta el día de hoy. ( (Indepaz, 2013)

Los hidrocarburos han sido uno de los más activos protagonistas en la contaminación del medio ambiente, esto ha sido más notorio en las últimas décadas; las distintas operaciones que se realizan, entre las cuales están incluidas la extracción, explotación y el transporte del crudo, en algún momento durante la ejecución de estas tareas, pequeñas cantidades de crudo se filtran ya sea de forma accidental o deliberada.

El sector petrolero ha sido uno de los grandes motores para impulsar la economía del país; esto se hace evidente al ver el gran aporte de este sector al producto interno bruto del país, pero no se puede ignorar como este sector, en el transcurso del tiempo ha afectado negativamente a la flora, fauna y en general todos los seres que componen la interfaz de la Tierra.

No se puede ignorar el papel que cumplen los suelos en lo que respecta a generar vida y la protección del ser humano; no es un recurso renovable y de este, las personas obtienen lo necesario para garantizar su supervivencia. Como se dijo antes, se enfatiza cómo en las actividades de obtención del crudo, se presentan derrames de este en el suelo y el hecho de que sean tan comunes, hace que esta situación sea altamente preocupante. (Arias, 2017)

El suelo está compuesto por partículas minerales junto con agua y aire, en donde la fase líquida generalmente es agua y la fase de gas es aire; el agua y aire se encuentran dispersos en los espacios vacíos presentes entre las partículas. La fase sólida está conformada por partículas minerales y en algunos casos materia orgánica, variando la cantidad y tamaño de las partículas.

Las propiedades índices de los suelos como la relación de vacíos ( $e$ ) y la porosidad ( $n$ ), la primera que relaciona el volumen de vacíos y el volumen de los sólidos, y la segunda, es la razón entre el volumen de vacíos y el volumen total, ambas son propiedades físicas del suelo y se fundamentan por la relación entre sus partículas, estas propiedades son causadas a lo largo de la historia geológica o durante la construcción de un relleno y su modificación por procesos de consolidación o corte. Por ello, es importante caracterizar el suelo, más aún cuando en la mayoría de estos se tiene presencia de minerales de arcilla que influyen en la adhesividad (consistencia del suelo), cohesividad (unión de las

partículas de suelo), comportamiento plástico (relacionado con la capacidad a resistir deformaciones rápidas sin cambiar de volumen y sin agrietarse) y cambios volumétricos de acuerdo con el contenido de agua del suelo.

Cualquier alteración en las condiciones naturales del suelo se representará en un cambio de sus propiedades y características, lo cual es fundamental conocer en el proceso de planeación de proyectos ingenieriles con el fin de garantizar en cierta medida que no se presenten deterioros y por el contrario haya un periodo de óptimo funcionamiento. Las propiedades dependientes de la estructura del suelo son:

- Relación de vacíos ( $e$ ) la cual relaciona el volumen de vacíos y el volumen de los sólidos.
- Porosidad ( $n$ ), razón entre el volumen de vacíos y el volumen total.
- Grado de saturación ( $S$ ), razón entre el volumen de agua y el volumen de vacíos expresado en porcentaje (%).
- Peso unitario ( $\gamma$ ), representa el peso del suelo por volumen unitario.

Por su parte, las propiedades independientes de la estructura del suelo y que se determinan por medio de ensayos de laboratorio son:

- Peso unitario de los sólidos ( $\gamma_s$ ).
- Gravedad específica de los sólidos ( $G_s$ ).
- Contenido de humedad natural ( $\omega$ ).
- pH (mide el grado de acidez o alcalinidad en el suelo)
- Materia Orgánica (determina estimación válida del contenido orgánico)
- Densidad Aparente (corresponde al porcentaje de compactación en el suelo)
- Densidad Real (corresponde a la masa unitaria de los suelos). (Instituto Nacional de Vías, 2012)

Los sistemas de clasificación y diferenciación de suelos, facilitan clasificar y diferenciar (lo cual está implícito en el nombre) los tipos de suelos, comparando sus propiedades y dando un grado que determina la intensidad de estas propiedades; los sistemas más usados actualmente son los siguientes:

- Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
- American Association of State Highway AASTHO
- Sistema Británico (SB)
- Sistema de clasificación de Aeropuertos FAA. (Nazly Jullyet Galindo Ortiz, 2012)

Es importante mencionar que para el caso de estudio se pretende hacer uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. Este método fue presentado por Arthur Casagrande y se encarga de describir la textura y los diferentes tamaños del suelo, a partir de este concepto, los suelos de grano fino y grueso se diferencian mediante el tamiz N°200. Seguido de esto se tiene, que se caracterizan como suelos gruesos a aquel material que queda retenido en dicho tamiz o malla (N° 200); y se reconoce como material fino a aquel que pasa el tamiz N° 200. A partir de su caracterización dada por el porcentaje retenido, teniendo como referencia el tamiz ya mencionado, se procede a asignarle un nombre específico al suelo, el cual consta de un prefijo y sufijo (en primer lugar, el prefijo es aquel que hace referencia al grupo de suelo predominante como: gravas, arenas, limos, arcillas, suelos orgánicos de grano fino y turbas; mientras que el sufijo hace referencia al grupo de suelo que representa una menor proporción). (Hugo, s.f.)

Existen algunos ensayos que permiten diferenciar el comportamiento del suelo frente a diferentes agentes, en este caso, derivados del petróleo, entre los que se tienen medir el contenido de humedad, determinar la gravedad específica de los sólidos según la cantidad que pasa por el tamiz No. 4 y usando un picnómetro. Se tienen también los Límites de Atterberg que tienen como objetivo establecer el contenido de humedad y consistencia del suelo, además del ensayo de difracción por rayos X, el cual tiene como función conocer la composición mineralógica del suelo. Los anteriores son algunos ensayos que componen la norma INVIAS que permiten establecer características propias del suelo en estudio.

## 6. METODOLOGÍA

Presentación del tipo de investigación, diseño de investigación, población-muestra, técnicas de recolección de datos. (Mínimo 3 pasos metodológicos)

- La metodología de la investigación se fundamenta en el estudio de literatura con enfoque en variaciones de las propiedades geotécnicas de los suelos de Latinoamérica por efecto del petróleo y sus derivados.
- Posteriormente se debe agrupar la información obtenida con base en el estudio bibliográfico, teniendo en cuenta el agente contaminante (que se refiere a cualquier derivado del petróleo) y asimismo el tipo de suelo (que hace referencia a la clasificación de suelos según sus propiedades).
- Finalmente sintetizar la información obtenida para posteriormente plasmarlo en la siguiente monografía.

## 7. CRONOGRAMA

Actividad	Meses			
	1	2	3	4
Revisión de la literatura referentes a estudios relacionados con las variaciones geotécnicas del suelo de Latinoamérica a causa del petróleo y sus derivados.	X			
Identificar las principales variaciones que se producen en el suelo a causa del agente contaminante.		X		
Ordenar la información suministrada para posteriormente escribir la monografía con el fin de dar respuesta a los objetivos planteados inicialmente.		X	X	

## 8. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación, se van a presentar las gráficas que resumen los resultados de las propiedades físicas y químicas evaluadas en el suelo en estado contaminado para cada uno de los casos, la información obtenida se resume en cuatro (4) clasificaciones que conceptualizan los tipos de suelo de acuerdo a su textura, de la siguiente manera:

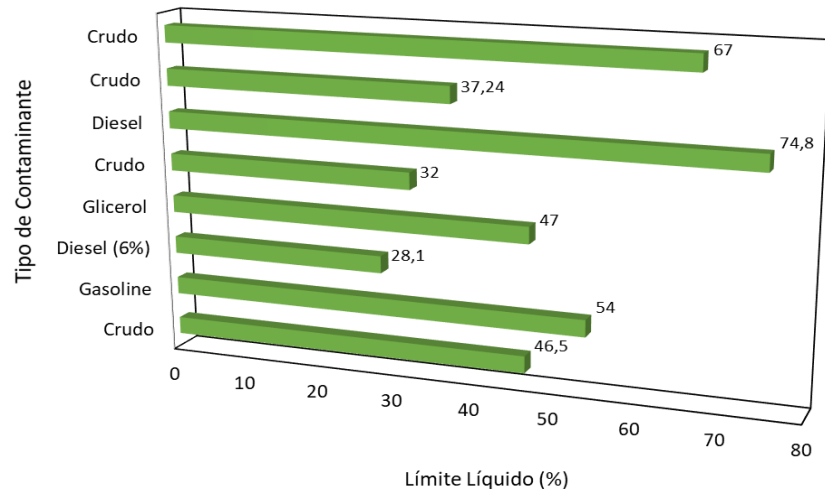
- Suelos Finogranulares (compuestos por limos y arcillas)
- Suelos Arenosos (S)
- Suelos Arena Arcillosos (SC)
- Suelos Arena Limosos (SM)

### **SUELOS FINOGRANULARES**

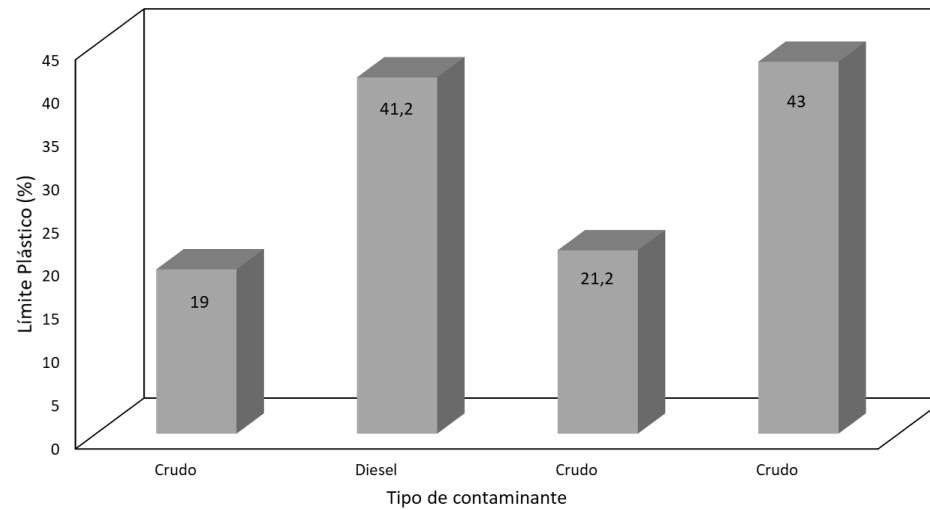
Es importante mencionar que los suelos fino-granulares están principalmente compuestos de arcilla y limo. La propiedad en este caso física analizada corresponde a los **Límites de Atterberg** que hacen referencia a la consistencia del suelo y al comportamiento de este cuando se excede uno de estos límites; haciendo que el suelo se comporte de manera diferente a la esperada.

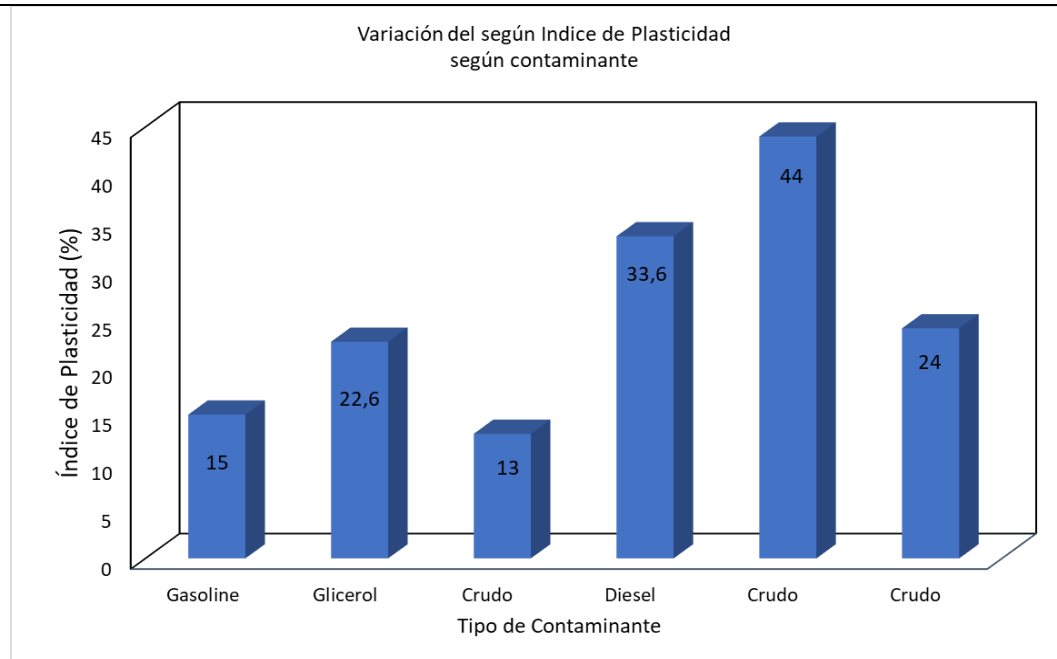
A continuación, se va a presentar los gráficos que representan los valores para el suelo en estado contaminado de los suelos estudiados:

Variación del Límite Líquido según contaminante



Variación del Límite plástico según contaminante





Es importante mencionar que los límites de Atterberg permiten determinar la plasticidad de un suelo por medio del índice de plasticidad (diferencia entre el límite líquido y el límite plástico). De acuerdo a las gráficas, es importante mencionar que el suelo contaminado con Crudo es quien representa el índice de plasticidad (44%) más alto. Se debe conceptualizar que entre más alto sea su Índice de Plasticidad, más alta será su compresibilidad (grado en el que la masa de suelo disminuye su volumen bajo el efecto de una carga).

Los artículos que fueron relevantes en el análisis de estas propiedades son los siguientes:

- Caracterización mecánica de suelos arcillosos afectados por derrames superficiales de hidrocarburos en concentración por porcentaje en peso:5,10,15 y 30 (Galindo Ortiz & Rueda, 2012)
- Geotechnical behavior of a tropical residual soil contaminated with gasoline (Echeverri Ramírez, y otros, 2015)

- Comportamiento de limos loessicos contaminados con hidrocarburos estabilizados y solidificados con cemento portland (Francisca, 2010)
- Impacto geotécnico del diesel en un suelo arcilloso de baja plasticidad (Rodriguez Cuervo & Amortegui Gil, 2018)
- Effect of cement on treatment of a clay soil contaminated with glycerol (Javadi, Khatibi, & Estabragh, 2017)
- Effect of Crude Oil on Permeability Properties of the Soil (Iloeje & Aniago, 2016)
- Investigation on the Effects of Hydrocarbon Spillage on Soil Properties (Hari & Joseph, 2015)
- Effect of Crude Oil Contamination on the Geotechnical Properties of Soft Clay Soils of Niger Delta Region of Nigeria (Elisha, 2017)

### **SUELO ARENOSO (S)**

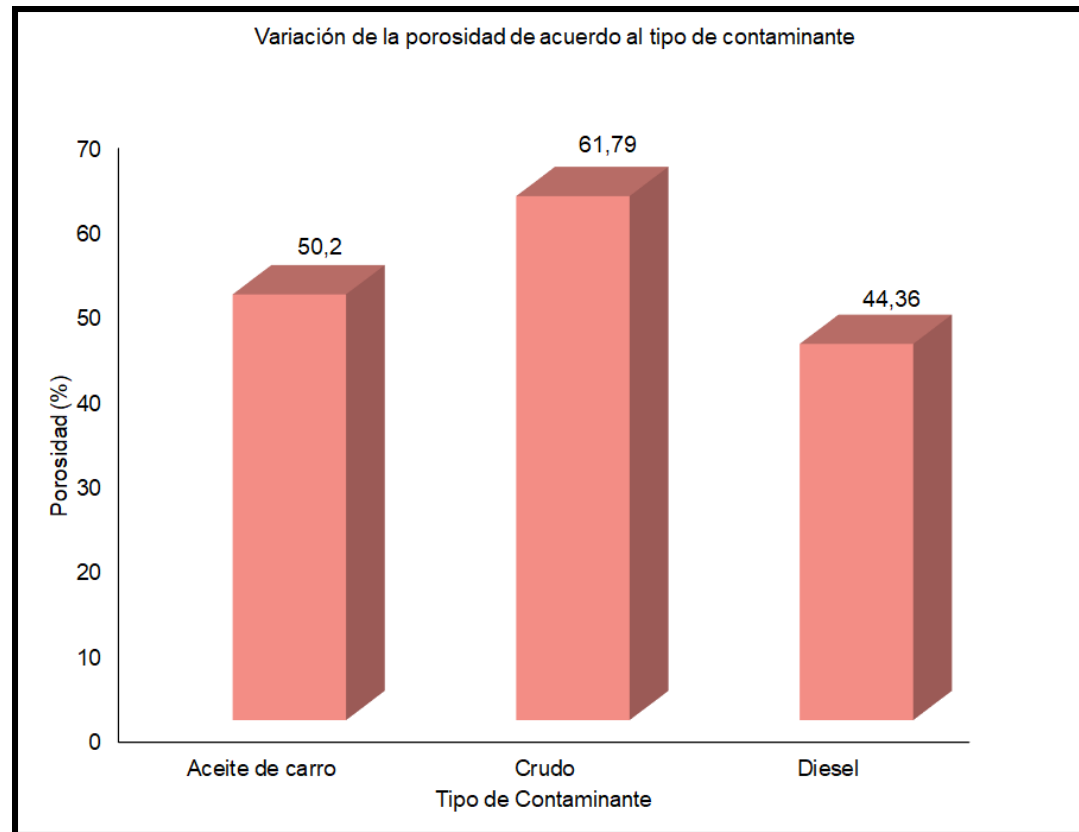
En esta clasificación se tiene a los suelos de grano grueso que se encontraron según el análisis de la información que precede la investigación.

#### **Propiedades evaluadas:**

En este tipo de suelo se analizaron las siguientes propiedades físicas y químicas: Porosidad (%), Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>), Densidad Real (g/cm<sup>3</sup>), pH (Unidades), Fósforo (%).

En la siguiente gráfica se observa el valor de la **porosidad (%)** para suelos arenosos contaminados con petróleo y sus derivados. Se tiene al aceite de carro como contaminante (Serrano Guzmán, Torrado Gómez, & Pérez Ruiz, 2013), otra de las fuentes representa a un suelo contaminado con crudo, además de tener un suelo contaminado con combustible Diesel.

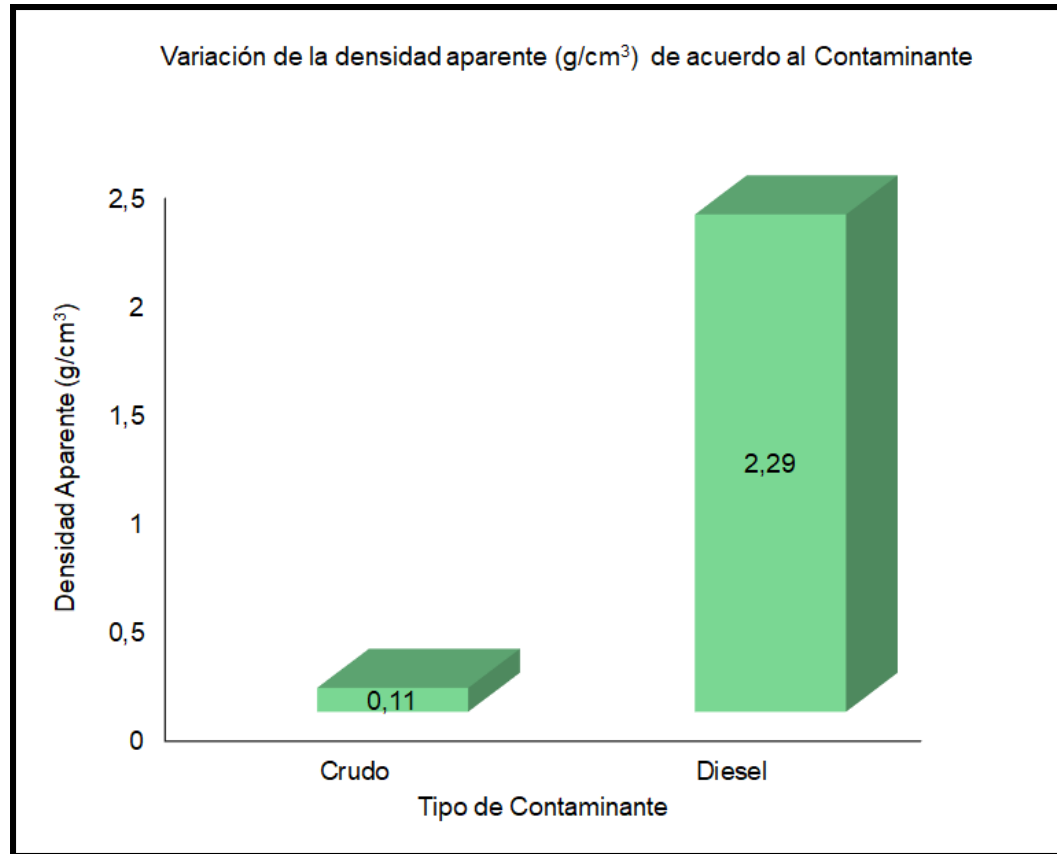
Es importante mencionar que la porosidad es una propiedad física que hace referencia al porcentaje del volumen del suelo no ocupado por los sólidos. Por lo tanto, una mayor porosidad indica la facilidad con la que tanto el aire, agua, nutrientes, o en este caso el contaminante puede fluir con facilidad dentro de las partículas del suelo.



Según la gráfica se tiene que el mayor porcentaje (%) de la propiedad analizada lo representa el suelo contaminado con crudo y a su vez, el suelo contaminado con Diesel es el que menor porosidad (%) representa.

A continuación, se van a presentar los valores que se obtienen para la **densidad aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )** para el suelo arenoso en estado contaminado. La densidad aparente es una propiedad física del suelo que hace alusión a la compactación que existe entre las partículas de la

muestra del suelo en estudio, es decir, mientras más elevada sea su densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ ), más compactado está el suelo.

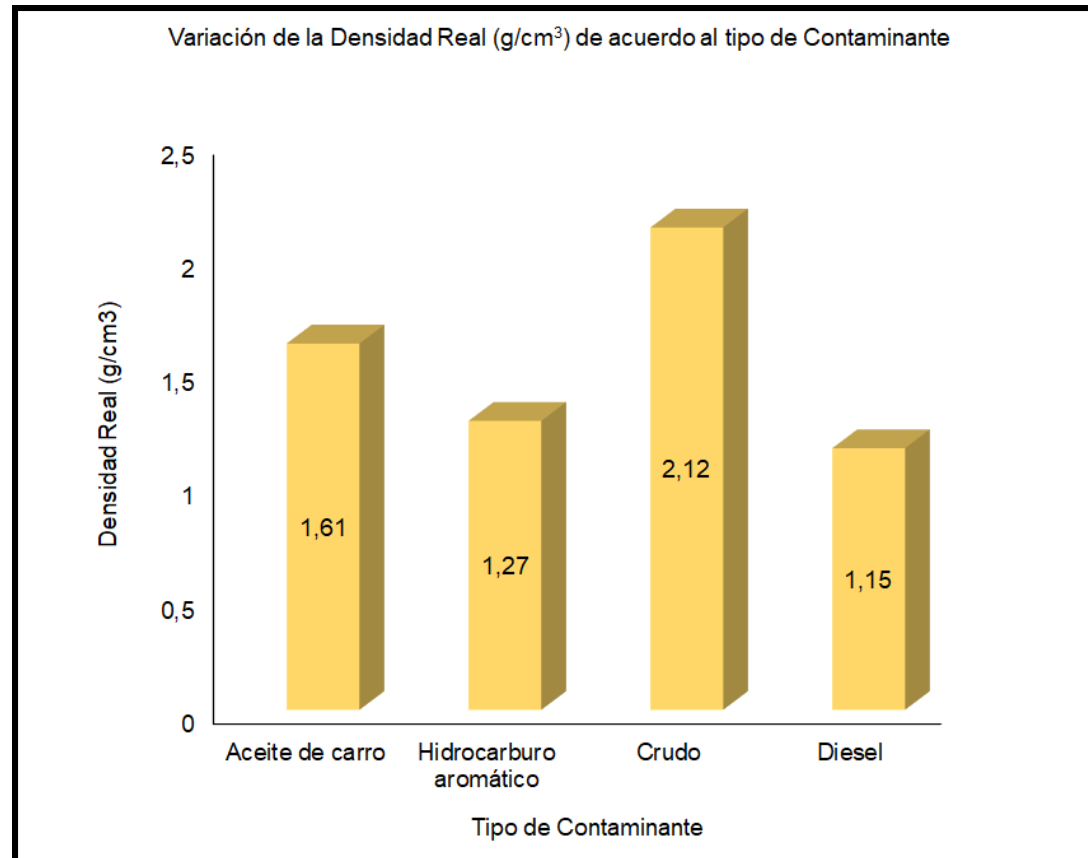


Se puede concluir a partir del registro de información que se tiene, que la densidad aparente la refleja en mayor proporción el suelo contaminado con Diesel en comparación con el suelo contaminado con Crudo.

Asimismo, se tiene la **densidad real** ( $\text{g/cm}^3$ ) de los suelos arenosos en su estado contaminado por el petróleo y sus derivados. Se tiene al aceite de carro como contaminante (Serrano Guzmán, Torrado Gómez, & Pérez Ruiz, 2013). Otra de las fuentes representa a un suelo

contaminado con hidrocarburo aromático (García Gómez, Pandiyan, Aguilar Iris, Ruiz Figueroa, & Durán, 2004), se tiene también un suelo contaminado con crudo (Martinez, Ruiz Ángeles, & Zárate Rubio, 2015) y un suelo contaminado con combustible Diesel (Arrieta Ramírez, Rivera Rivera, Arias Marin, & Rojano, 2012).

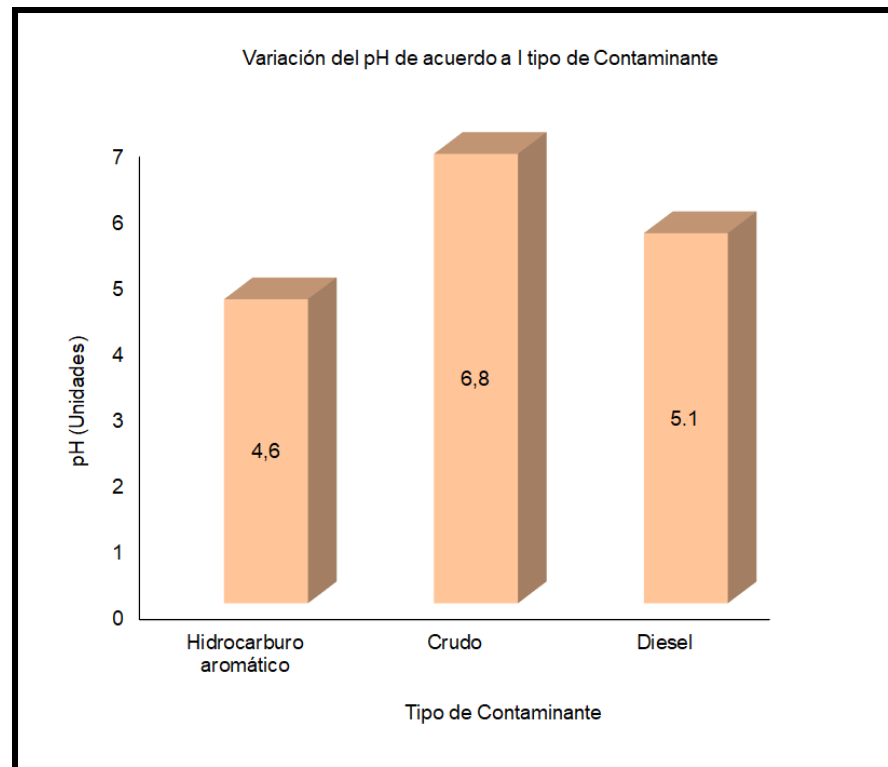
La densidad real ( $\text{g/cm}^3$ ) de un suelo se define como el peso por volumen del mismo (excluyendo los vacíos entre los granos), es decir, sólo tiene en cuenta al peso real que ocupa el suelo. De acuerdo a la información obtenida se tiene lo siguiente:



De acuerdo a la información recopilada se tiene que la densidad real ( $\text{g/cm}^3$ ) disminuye en los suelos a causa del petróleo y sus derivados. Se

asume una disminución teniendo como referencia el valor de la densidad real ( $\text{g/cm}^3$ ) en estado natural para el suelo contaminado con Diesel la cual era de  $2.29 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ . Es decir, el espacio ocupado por las partículas de suelo en un espacio disminuye debido al contaminante.

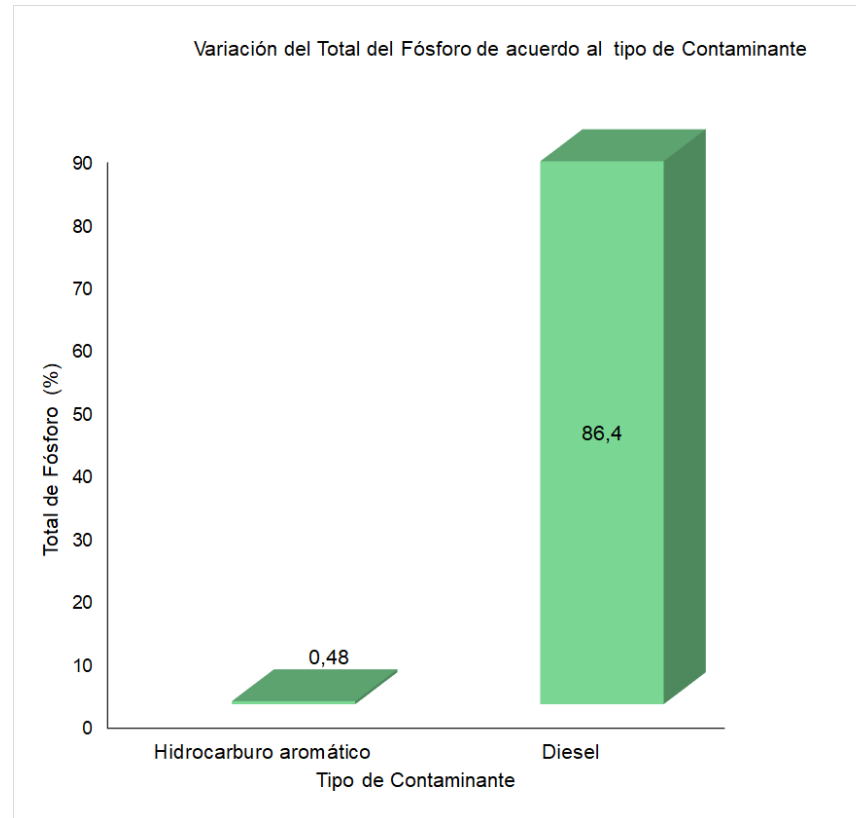
El **pH** también es otra propiedad, en este caso química, que presentó variación a causa del petróleo y sus derivados. En la siguiente gráfica se observan los valores que presentó el pH en los suelos contaminados.



Se define al pH como una medida de acidez (cuando se tienen valores menores a 7) o de alcalinidad (cuando alcanza valores por encima de 7), el índice varía de 1 a 14. Es importante mencionar que esta propiedad cumple un rol importante porque afecta la disponibilidad de los

nutrientes en el suelo. En general los valores del pH se mantuvieron entre el rango ácido y el rango neutro (cuando se tiene el valor de 7).

Además de las propiedades anteriormente analizadas, se tiene el total de **fósforo (P)** que presentan los suelos en estado contaminado, que se presentan en la siguiente gráfica:



El contenido de Fósforo (P) en el suelo es un parámetro físico-químico el cual se involucra en la degradación de los hidrocarburos. En estos suelos analizados se tiene que la cantidad de fósforo a comparación del suelo en estado natural no presenta mayor variación. Para el caso del suelo contaminado con hidrocarburo aromático se tiene que inicialmente para la muestra de suelo en estado natural se tenía una cantidad

total de Fósforo (mg/L) de 0.51 (mg/L) a comparación del suelo contaminado el cual presenta una cantidad total de Fósforo igual a 0.48 (mg/L). Aunque se infiere que debido al petróleo y sus derivados el suelo pierde contenido de materia orgánica, haciéndolo al mismo tiempo un suelo desfavorable para vegetación.

### **SUELO ARENO ARCILLOSO (SC)**

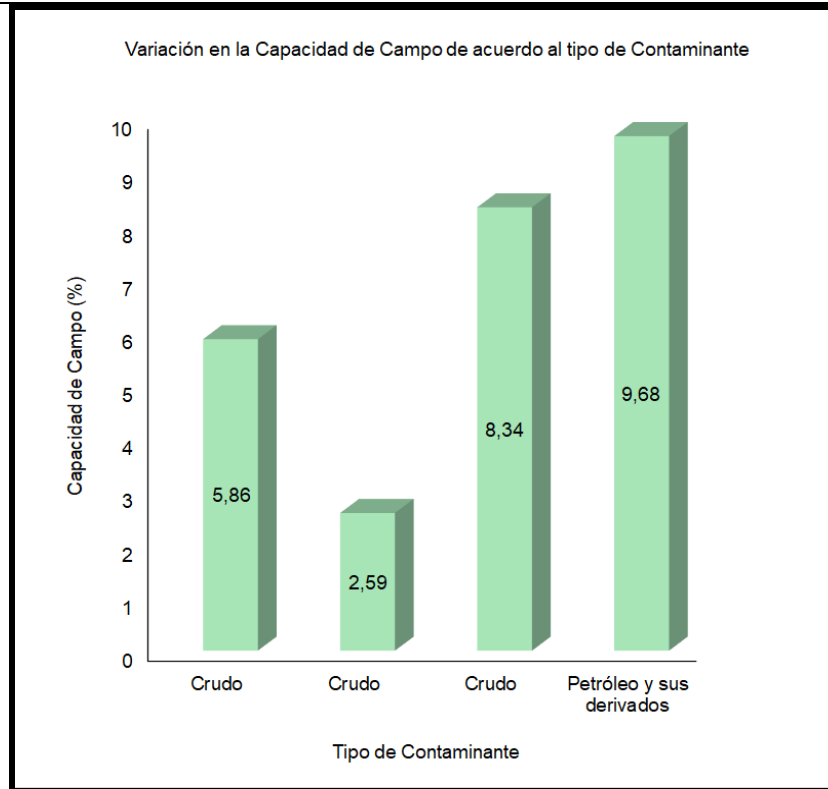
Para el análisis de esta clasificación del suelo se tiene información obtenida de tres (3) suelos contaminados con petróleo de:

- Evaluación del potencial de biodegradación de hidrocarburos totales de petróleo (TPH) en suelos contaminados procedentes de Petro Santander (Ibarra Mojica, 2008)
- Disminución del extracto orgánico total en suelos contaminados con hidrocarburos (Nápoles, Rodríguez, Santiago, & Ábalos, 2015)
- BACTERIAS Y HONGOS HIDROCARBONOCLASTAS DE RIZÓSFERA FRIJOL Y MAÍZ, EN UN SUELO CONTAMINADO CON PETRÓLEO (Hernández Acosta, y otros, 2003).

#### **Propiedades Evaluadas:**

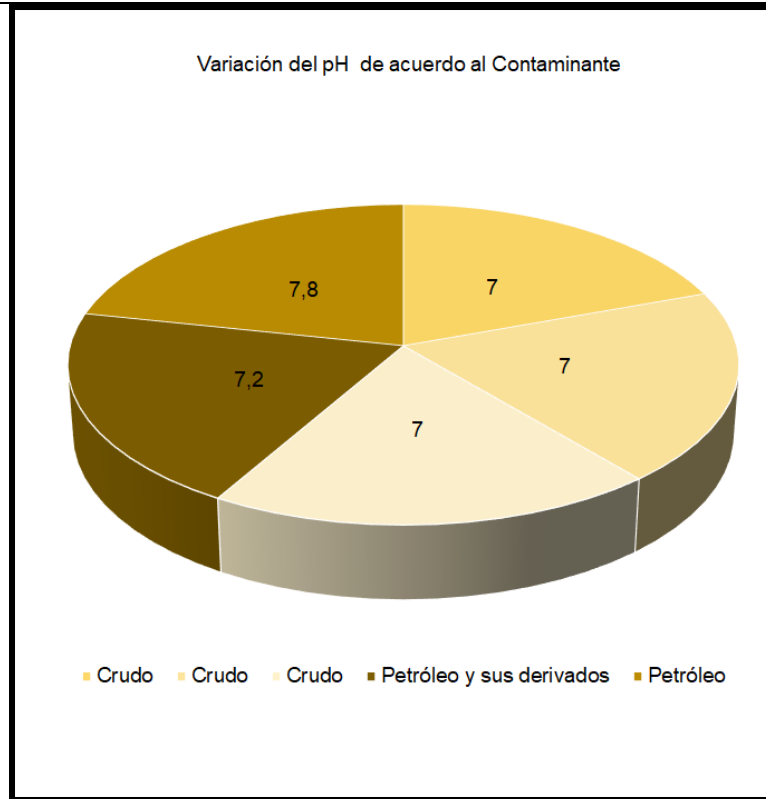
En este tipo de suelo se analizaron las propiedades relacionadas a la Capacidad de Campo (%), pH (Unidades), Total de Nitrógeno (%) y Total de Fósforo (%).

A continuación, se va a analizar la información que se obtuvo para la propiedad de **Capacidad de Campo (%)** en los suelos areno arcillosos:



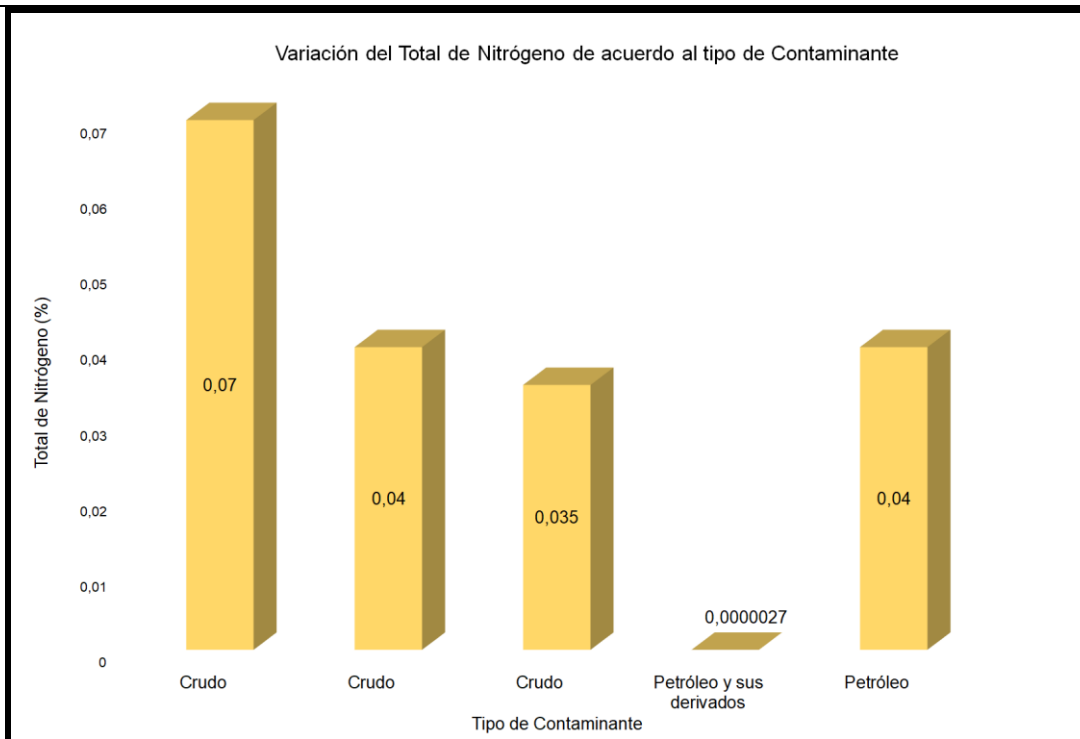
Es importante mencionar que la capacidad de campo hace referencia a la máxima cantidad de agua que puede retener el suelo luego de haber sido saturado. De acuerdo al análisis de la información se concluye que la capacidad de campo en el suelo disminuye, a causa del petróleo y sus derivados, dado a que estas sustancias contaminantes impiden la retención del agua en el suelo. Es importante mencionar que debido a las partículas arenosas se atribuye el hecho de la baja retención en el mismo. Para dar claridad al concepto se entiende que un suelo tiene baja capacidad de retención cuando este valor oscila entre el 5%.

Para el caso del **pH**, propiedad química que también fué analizada en los suelos areno arcillosos estudiados se tienen los siguientes valores para el estado contaminado:



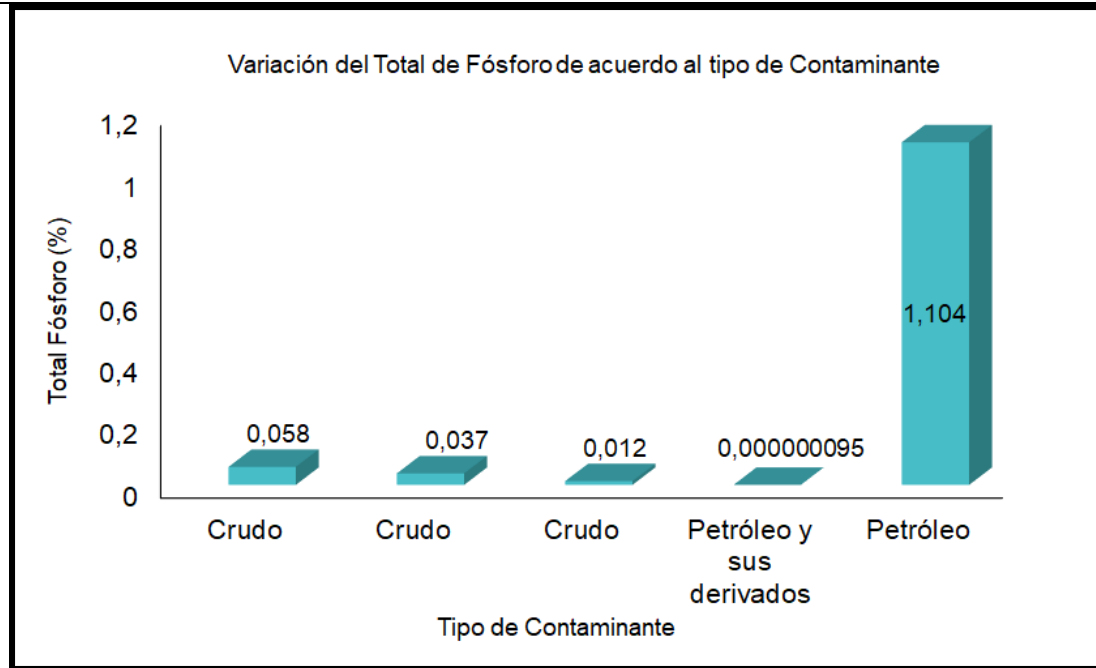
De acuerdo a la información anteriormente presentada se concluye que la mayoría de los suelos tienen pH neutro (igual a 7 unidades) lo que indica que el suelo es ligeramente ácido y ligeramente alcalino, son óptimos para entregar nutrientes. Además, se tiene el caso de tener suelos por encima de 7 unidades de pH lo que los conceptualiza como suelos alcalinos (alto contenido en carbonato cálcico), lo que su vez los convierten en suelos con baja capacidad de infiltración.

Según la cantidad de **Nitrógeno (%)** que se encontró en los suelos areno arcillosos se tiene lo siguiente:



Es importante mencionar que el nitrógeno es un componente importante en los suelos porque para el caso de estudio permite degradar los componentes del petróleo. De acuerdo a la anterior gráfica se observan valores del Total de Nitrógeno (%) muy bajos (cerca de cero) para todos los suelos analizados, lo que permite inferir que se ve afectada la acción del nitrógeno contra estas sustancias contaminantes.

Por último, se analizó el Total del **Fósforo** (%) en el suelo arenoso arcilloso en estado contaminado obteniendo lo siguiente:



El Fósforo en el suelo es un componente que actúa en la formación de compuestos energéticos celulares que se utilizan en los procesos de síntesis y degradación del petróleo y sus derivados. En este caso de estudio se infiere su baja composición del Fósforo debido a las sustancias químicas infiltradas en cada uno de los suelos, aún así el suelo que siendo al igual que los demás muy bajo su porcentaje (%) de Fósforo, representa un mayor contenido con un 1,104 % total de fósforo (suelo contaminado con Petróleo). En general la actividad de degradación de las sustancias contaminantes se afecta debido a sus bajos porcentajes de Fósforo (P) en el suelo.

## **SUELO ARENO LIMOSO (SM)**

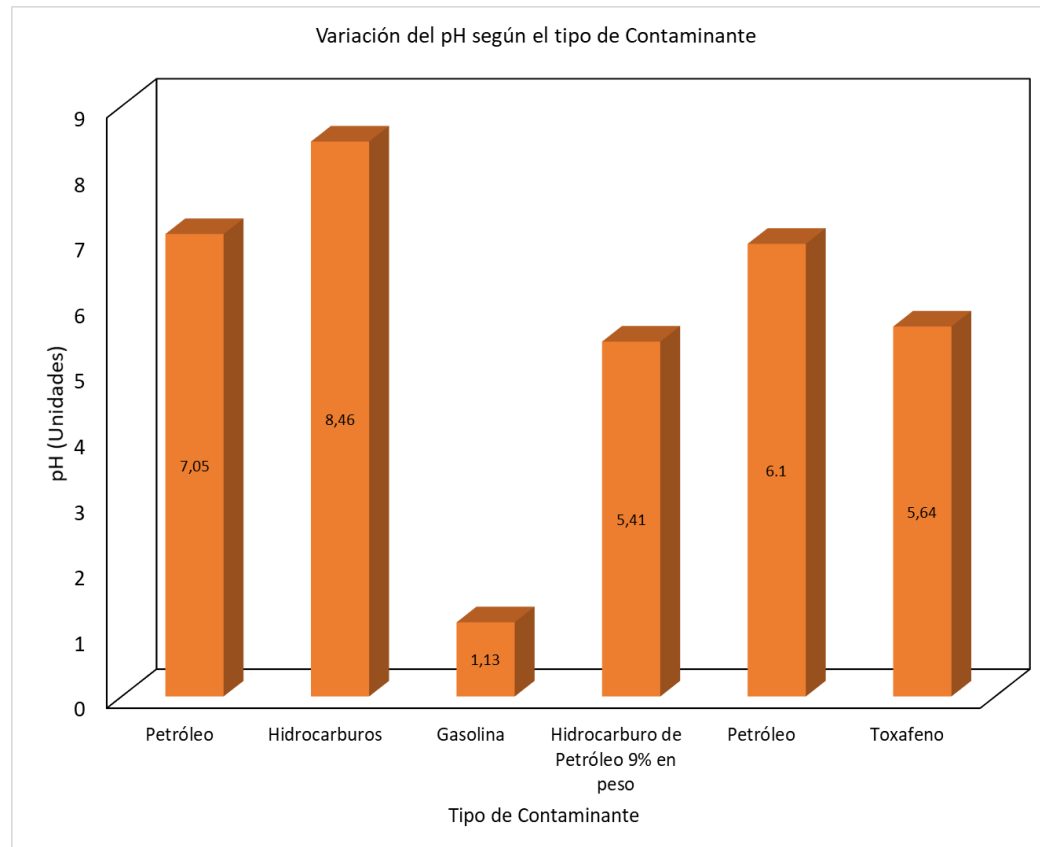
Este suelo está formado por arenas y limos. En esta clasificación se analizó los valores obtenidos del pH para el caso del suelo contaminado. De acuerdo a la información obtenida de esta propiedad y teniendo en cuenta que se encarga de determinar qué tan ácido o alcalino es un suelo, asimismo define si es apto, o no, para plantar, los valores que se obtuvieron permitieron entender qué pasó al infiltrarse el petróleo y sus derivados.

La particularidad con muchos de estos suelos mencionados en las fuentes, es que presentan una naturaleza ácida en su gran mayoría, y aunque hay excepciones, lo normal es que sus valores de pH están por debajo de 7.

Los artículos en los que se observó esta tendencia incluyen las siguientes fuentes:

- Analysis of the physical and chemical properties of soil contaminated with oil (petroleum) hydrocarbons (Zahermand, Vafaeian, & Hosein Bazyar, 2020)
- Biorremediación de suelos contaminados por organoclorados mediante la estimulación de microorganismos autóctonos, utilizando biosólidos (Durán Acosta & Ladera Hernández, 2016)
- Biorremediación de un suelo tropical contaminado con residuos aceitosos intemperizados (FERREIRA DO NASCIMENTO, SANTOS OLIVEIRA, & PESSOA DE FRANÇA, 2013)
- Efecto de la contaminación por hidrocarburos sobre algunas propiedades químicas y microbiológicas de un suelo de sabana (Zamora, Ramos, & Arias, 2012)
- Análisis de las alteraciones físicas, químicas, mineralógicas y mecánicas de un suelo residual de Batolito Antioqueño contaminado con gasolina (Ocampo Gómez, Hernández, Valencia González, & Echeverri, 2010)
- Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos empleando lodos residuales como fuente alterna de nutrientes

(MARTÍNEZ PRADO, PÉREZ LÓPEZ, & PINTO ESPINOZA, 2011)



Según la información obtenida la mayoría de los suelos presentan una naturaleza ácida, lo que los hace suelos con baja capacidad de retención y asimismo no aptos para entregar nutrientes a la vegetación. El rango óptimo en el que debe estar el pH del suelo es de 7, esto con el fin de que haya un buen comportamiento o transmisión de nutrientes por parte del suelo, dado a que se puede inferir que, a causa del petróleo y sus derivados, el suelo es incapaz de absorber y de entregar nutrientes al medio.

## 9. CONCLUSIONES

### **SUELO ARENOSO (S)**

En este suelo se tiene que el efecto del petróleo y sus derivados en el suelo, provoca para el caso del suelo contaminado con crudo un aumento en su porosidad, teniendo en cuenta que esta propiedad en el suelo en estado natural es igual a 54% y en estado contaminado esta misma propiedad es igual a 61.79%, esto indica que el suelo tiene mayor capacidad para dejar fluir: agua, nutrientes, o en este caso sustancias contaminantes dentro de las partículas del suelo. A su vez se tiene que para el suelo contaminado con Diesel esta propiedad fue menor (44.36 %) comparándola con el suelo contaminado con crudo.

Para el caso de la densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) se tiene que para el suelo contaminado con Crudo esta propiedad disminuye, teniendo en cuenta que la densidad aparente incluye los vacíos dentro del suelo, entonces, al presentarse mayor vacíos y porosidad dará como resultado que las partículas del suelo ocupen un menor volumen, caso contrario, al suelo contaminado con Diesel (en el que la porosidad era menor respecto al suelo contaminado con crudo), porque para este caso la densidad aparente es mayor ( $2.29 \text{ g/cm}^3$ ) comparándolo con el suelo contaminado con crudo ( $0.11 \text{ g/cm}^3$ ).

Para el caso de la densidad real ( $\text{g/cm}^3$ ) se obtiene para el suelo en estado contaminado con crudo una densidad real ( $\text{g/cm}^3$ ) igual a  $2.12 \text{ g/cm}^3$  este valor es mayor si se compara con su densidad aparente que es igual a  $0.11 \text{ g/cm}^3$ , esto debido a que la densidad real excluye los vacíos, es decir, tiene en cuenta sólo el espacio que ocupa las partículas del suelo en un volumen determinado.

En cuanto al pH todos los suelos presentaron un rango similar en esta propiedad, clasificándose como suelos con un pH ácido, debido a que sus valores están por debajo de 7, por tanto, se define que es un suelo no óptimo para plantar. En cuanto a la cantidad de fósforo en el suelo son valores bajos que indican que a causa del petróleo y sus derivados se ve afectada la acción de degradación de los componentes de estas

sustancias contaminantes, que finalmente es una función que cumple el fósforo dentro de la estructura del suelo.

### **SUELO ARENO ARCILLOSO (SC)**

En este tipo de suelos areno arcillosos se encontró que su capacidad de retención es baja teniendo en cuenta que los valores obtenidos para la capacidad de campo (%) oscilan cerca del 5%, esto se atribuye al hecho de su contenido en arenas, debido a que es una propiedad característica de este tipo de suelos. Asimismo, el pH de estos suelos se mantuvo en un rango entre neutro (pH igual a 7 unidades) y alcalino (pH mayor a 7 unidades), para el caso del suelo contaminado con crudo se tiene al igual que los demás suelos, una capacidad de retención baja, y un pH alcalino, lo que lo convierte en un suelo de baja capacidad de retención como inicialmente se mencionó.

Es importante mencionar que las cantidades de Nitrógeno (%) y de Fósforo (%) son bajas a causa del petróleo y sus derivados, además de ello, cabe destacar la acción del Nitrógeno y del Fósforo para actuar en la degradación de los componentes de estas sustancias contaminantes, a partir de compuestos energéticos celulares que se utilizan en los procesos de síntesis y degradación.

### **SUELO FINOGRANULAR**

Aunque el resultado en la mayoría de los estudios que se referenciaron mostró que los Límites de Atterberg mostraban una tendencia a incrementar su valor cuando estos eran contaminados, eso no era el caso para todos los suelos de este tipo; algunos de estos suelos mostraron una reducción de hasta un 10% en estas propiedades, lo que se atribuía a una destrucción de los enlaces químicos entre las moléculas del suelo, lo cual evidenciaba la problemática naturaleza del suelo.

Lo que pudieron haber experimentado los suelos que vieron sus valores de Atterberg incrementados, es un aumento en el contenido de agua en el suelo, lo que se puede ser posible ya que el agua es un producto residual que se da siempre en reacciones químicas con hidrocarburos, al ser el petróleo o uno de sus derivados un hidrocarburo, es lógico pensar que las reacciones que se presentaron en el suelo, aumentaron su

contenido de agua

### **SUELO ARENO LIMOSO (SM)**

En el caso de los suelos de este tipo, se evaluó el pH, que como se dijo antes es un indicativo de qué tan apto es el suelo para plantar allí, como en el caso de los suelos fino granulares, se vió un decremento en esta propiedad en la mayoría de los casos, pero en otros muy particulares, se vio un incremento; la mayoría de los suelos tienen una naturaleza acida, lo que se evidencia en un valor de pH inferior o igual a 7 (pH Neutro), y otros que ya pasaban a tener una naturaleza básica o alcalina (pH mayor a 7), pero se puede decir que las particularidades del suelo provocan este comportamiento; el hidrógeno, que es un elemento presente en los hidrocarburos y es muy propenso a formar ácidos que poseen un valor de pH inferior a 7, al aumentar la concentración de estas sustancias en el suelo, es comprensible que la naturaleza del suelo cambie debido a la reducción del valor de pH y sería posible que aun siendo originalmente un suelo con naturaleza básica, este cambie y se convierta en uno con naturaleza neutra o acida.

En general se infiere que las sustancias contaminantes actúan de forma negativa en la estructura del suelo debido a que se evidencia que sus propiedades físicas como: la porosidad (%), la densidad ( $\text{g/cm}^3$ ) y el contenido de humedad (%) cambian notoriamente dando como resultado una estructura inestable, con capacidad de dejar fluir el contaminante dentro de ella, en sí como resultado, se tiene una estructura no compacta, que finalmente permite concluir que geotécnicamente el suelo estudiado en estado contaminado no es óptimo para soportar o apoyar estructuras sobre él, debido a que sus propiedades características iniciales fueron afectadas a causa del petróleo y sus derivados.

El crudo es el contaminante que resulta ser más perjudicial para el suelo, debido a que en el caso del suelo arenoso lo hace más poroso y con más facilidad de que estas sustancias contaminantes actúen de forma negativa en la estructura que compone al suelo.

Se infiere que en los suelos en los que se analizó el pH con estas sustancias contaminantes se concluye que se comportan en su mayoría con un pH ácido, lo que al mismo tiempo los convierte en suelos con baja retención de macro elementos como el Nitrógeno y el Fósforo que también fueron analizados en el estudio anterior, esto a su vez, los convierte en un suelo no apto para plantar debido a su incapacidad de entregar nutrientes a la vegetación.

Según el anterior análisis bibliográfico se encontraron en su totalidad ensayos que no estaban estandarizados específicamente para los suelos tropicales de Colombia, por tanto, mi recomendación es tener en cuenta para futuras investigaciones, ensayos referentes al estudio de estos suelos, y de esta forma concluir o inferir cómo es el comportamiento del petróleo y sus derivados dentro de esta estructura de suelos tropicales.

## 10. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN

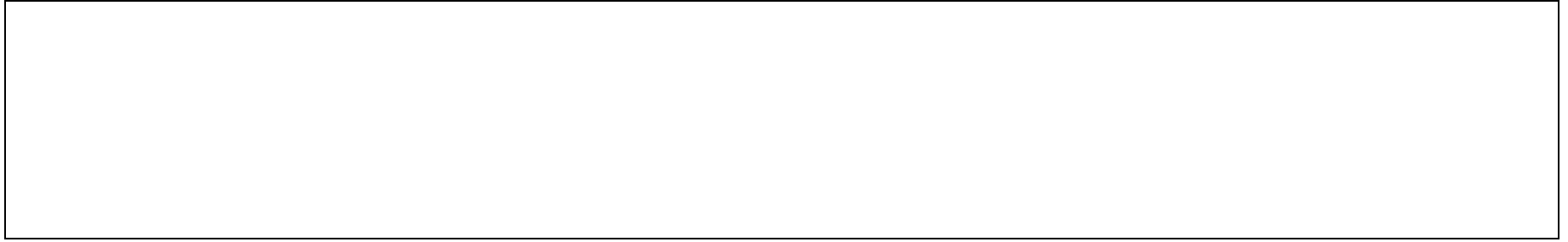
- 1.Montero, P. H. (2014). Biorremediación de suelos contaminados por derrames de hidrocarburos derivados del petróleo en Colombia.
- 2.Arias, J. A. (s.f.). *Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación*. Yopal.
- 3.Asociación española de operadores de productos petrolíferos. (2002). Obtenido de [https://www.enerclub.es/extfrontenerclub/img/File/nonIndexed/petroleo/secciones/pdf/caps\\_todos/AOP%20FICHAS%20DIDACTICAS.pdf](https://www.enerclub.es/extfrontenerclub/img/File/nonIndexed/petroleo/secciones/pdf/caps_todos/AOP%20FICHAS%20DIDACTICAS.pdf)

4. Cuervo, L. S. (2017). *Impacto geotécnico de los derrames de diésel en suelos finos*. Bogotá.
5. Instituto de Estudios para el Desarrollo y la Paz. (2013). *PETRÓLEO. INDEPAZ*.
6. Nazly Jullyet Galindo Ortiz, C. A. (2012). *Caracterización mecánica de suelos arcillosos afectados por derrames de hidrocarburos*. Bucaramanga.
7. Óscar Echeverri-Ramírez, Y. V.-G.-P.-M.-S.-T. (2015). Comportamiento geotécnico de un suelo residual tropical contaminado con gasolina. *DYNA*.
8. Moreno, V. M. (2006). Derrames de hidrocarburos. Grupo Evaluación Ambiental de Proyectos Subdirección Técnica Parques Nacionales Naturales.
9. Jiménez, D. L. (2006). Estudio de impacto ambiental generado por un derrame de hidrocarburos sobre una zona estuarina, aledaña al terminal de ecopetrol en Tumaco. (tesis de pregrado). Ingeniería Ambiental Sanitaria. Universidad de la Salle. Bogotá, Colombia.
10. C. Fresneda, S. Navarro and Y. Valencia, “Caracterización geotécnica de un suelo tropical laterítico”. *Inge CuC*, vol. 9, no. 1, pp. 219-230, Jun, 2013.
11. INVIAS. (2012). *INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS*.
12. Arrieta Ramírez, O. M., Rivera Rivera, A. P., Arias Marin, L., & Rojano, B. (2012). Biorremediación de un suelo con diesel Mediante el uso de microorganismos autóctonos. *Gestión y Ambiente*, vol. 15, núm. 1, 27-39.

13. Durán Acosta, L. F., & Ladera Hernández, M. J. (2016). Biorremediación de suelos contaminados por organoclorados mediante la estimulación de microorganismos autóctonos, utilizando biosólidos. *Nexo Vol. 29 #1*, 22-28.
14. Echeverri Ramírez, Ó., Valencia González, Y., Toscano Patiño, D. E., Ordoñez Muñoz, F. A., Arango Salas, C., & Osorio Torres, S. (2015). Geotechnical behavior of a tropical residual soil contaminated with gasoline. *DYNA Revista Facultad Nacional de Minas Vol. 82 #190*, 31-37.
15. Elisha, A. T. (2017). Effect of Crude Oil Contamination on the Geotechnical Properties of Soft Clay Soils of Niger Delta Region of Nigeria. *EJGE Vol.17*.
16. FERREIRA DO NASCIMENTO, T. C., SANTOS OLIVEIRA, F. J., & PESSOA DE FRANÇA, F. (2013). Biorremediación de un suelo tropical contaminado con residuos aceitosos intemperizados. *Revista Internacional de Contaminación y Ambiente Vol. 29 #1*, 21-28.
17. Francisca, F. M. (2010). Comportamiento de limos loessicos contaminados con hidrocarburos estabilizados y solidificados con cemento Portland. *Boletín Geológico Minero Vol. 121 #2*, 131-38.
18. Galindo Ortiz, N. J., & Rueda, C. A. (2012). *Caracterización mecánica de suelos arcillosos afectados por derrames superficiales de hidrocarburos en concentración por porcentaje en peso: 5, 10, 15 y 30*. Obtenido de [https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/2190/digital\\_23999.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/2190/digital_23999.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
19. García Gómez, R. S., Pandiyan, T., Aguilar Iris, V., Ruiz Figueroa, M., & Durán. (2004). Identificación y cuantificación de hidrocarburos aromáticos policíclicos en el suelo usando métodos. *Tecnología, Ciencia, Educación, vol. 19, núm. 2*, 69-82.

20. Hari, G., & Joseph, J. (2015). Investigation on the Effects of Hydrocarbon. *International Journal of Engineering Research & Technology* Vol. 4 #10.
21. Hernández Acosta, E., Ferrera Cerrato, R., Gutiérrez Castorena, M. d., Rodríguez Vázquez, R., Rubiños Panta, J. E., & Fernández Linares, L. (2003). Bacterias y hongos hidrocarbonoclastas de rizósfera frijol y maíz, en un suelo contaminado con petróleo. *Terra Latinoamericana*, vol. 21, núm. 4, 493-502.
22. Ibarra Mojica, D. M. (2008). *Evaluación del potencial de biodegradación de hidrocarburos totales de petróleo (TPH) en suelos contaminados procedentes de Petro Santander*. Bucaramanga.
23. Iloeje, A. F., & Aniago, V. (2016). Effect of Crude Oil on Permeability Properties of the soil. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, Vol. 1 #1.
24. Javadi, A. A., Khatibi, M., & Estabragh, A. R. (14 de Marzo de 2017). *Effect of cement on treatment of a clay soil contaminated with glycerol*. Obtenido de <https://ore.exeter.ac.uk/repository/bitstream/handle/10871/26543/Materials%20in%20Civil%20Engineering%20-%20Effect%20of%20cement%20on%20treatment%20of%20a%20clay%20soil%20contaminated%20with%20glycerol%20%20.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
25. MARTÍNEZ PRADO, A., PÉREZ LÓPEZ, M. E., & PINTO ESPINOZA, J. (2011). BIORREMEDIACIÓN DE SUELO CONTAMINADO CON HIDROCARBUROS EMPLEANDO LODOS RESIDUALES COMO FUENTE ALTERNA DE NUTRIENTES. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* Vol. 27 N. 3, 241-252.

26. Martínez, Y. A., Ruiz Ángeles, A. J., & Zárate Rubio, J. &. (2015). Restauración de un suelo contaminado con hidrocarburos por un tren de tratamiento químico-biológico. *2º Congreso Nacional AMICA 2015*, (pág. 4). México.
27. Nápoles, J., Rodríguez, S., Santiago, L., & Ábalos, A. (2015). Disminución del extracto orgánico total en suelos contaminados con hidrocarburos. *Revista Tecnología Química Vol. 35 #2*, 12.
28. Ocampo Gómez, D. A., Hernández, L. C., Valencia González, Y., & Echeverri, O. (2010). Análisis de las alteraciones físicas, químicas, mineralógicas y mecánicas de un suelo residual de Batolito Antioqueño contaminado con gasolina. *XIII Congreso e VII Seminario Colombiano de Geotecnia*, (pág. 11). Manizales.
29. Rodríguez Cuervo, L. S., & Amortegui Gil, J. V. (2018). Impacto geotécnico del diesel en un suelo arcilloso de baja plasticidad. *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería #109*, 47-54.
30. Serrano Guzmán, M. F., Torrado Gómez, L. M., & Pérez Ruiz, D. D. (2013). Impacto de los derrames de crudo en las propiedades mecánicas de suelos arenosos. *Revista Científica "General José María Córdova"*, 233-244.
31. Zahermand, S., Vafaeian, M., & Hosein Bazayar, M. (2020). Analysis of the physical and chemical properties of soil contaminated with oil (petroleum) hydrocarbons. *Earth Sciences Research Journal Vol. 24 #2*, 163-168.
32. Zamora, A., Ramos, J., & Arias, M. (2012). Efecto de la contaminación por hidrocarburos sobre algunas propiedades químicas y microbiológicas de un suelo de sabana. *BioAgro Vol.24 #1*, 5-12.



Mariana Herrera P.

---

FIRMA DEL AUTOR 2

---

FIRMA DEL AUTOR 1

---

Vo. Bo Coordinador de Comité de Trabajo de Grado

### **AUTORIZACIÓN DE TRATAMIENTO DE DATOS PERSONALES**

La Universidad Católica Luis Amigó solicita su autorización para la recopilación, almacenamiento y tratamiento de sus datos personales y le informa que estos datos se utilizarán únicamente para las siguientes finalidades: PROPUESTA DE TRABAJO DE GRADO y demás finalidades descritas en la Política de Tratamiento y Protección de Datos Personales de la institución académica.

Sus datos personales son tratados y protegidos de acuerdo a lo que reglamenta dicha política con apego a lo dispuesto por la normativa colombiana sobre Tratamiento de Datos Personales, Ley 1581 de 2012 y el Decreto 1377 de 2013. Consulte nuestras Políticas para el Tratamiento y Protección de Datos en [www.ucatolicaluisamigo.edu.co](http://www.ucatolicaluisamigo.edu.co)