

INFORME FINAL

NOVIEMBRE 2018

“Aplicación de tecnología fisicoquímica para remediar suelos contaminados por hidrocarburos de la actividad petrolera en la selva peruana”

Manrique Suárez, Luis Humberto
Ochoa Sotomayor, Nancy Alejandra
Gallegos Coca Carlos Gustavo

RESPONSABLE
MIEMBRO
MIEMBRO

Luna Figueroa, Johan Paolo

COLABORADOR

INSTITUTO DE INVESTIGACION
Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas
Universidad Nacional Federico Villarreal

Fecha de Inicio : Enero 2018

Fecha de Término: Diciembre 2018

Línea de Investigación:

6. Gestión e innovación empresarial y desarrollo industrial y tecnológico

6.5 Gestión de recursos económicos y productividad

Resumen

El uso intensivo del crudo del petróleo como factor de creación de energía y la producción de los derivados de este material a través de la industria petroquímica en nuestra vida moderna se ha vuelto crucial para el desarrollo y explotación de este recurso natural no renovable. La explotación de este recurso trae problemas colaterales cuando el proceso productivo (extracción, transporte y refinación) se desvía de forma accidental originando el contacto de este hidrocarburo con el medio ambiente, impactando negativamente en los suelos, agua y aire por donde se deslice.

En la Amazonía peruana producto de la actividad petrolera, algunos suelos han sido impactados negativamente con derrames de hidrocarburos líquidos, y de acuerdo a la legislación peruana vigente se encuentran fuera del estándar de calidad ambiental de suelos.

La presente investigación tiene como objetivo encontrar una tecnología físico-química nueva que permita proporcionar una solución y remediar los suelos contaminados con hidrocarburos líquido, para ello se ensayaron dos alternativas con muestras recolectadas de un suelo contaminado en la Amazonía peruana, mediante procesos físicos químicos, encontrando ligeros resultados, pero por la complejidad de las muestras no se han llegado a resultados tal como se esperaban para los objetivos de esta investigación.

Palabras Claves. Remediación de suelos; hidrocarburos, procesos físico-químicos.

Abstrac

The intensive use of crude oil as a factor of energy creation and the production of derivatives of this material through the petrochemical industry in our modern life has become crucial for the development and exploitation of this non-renewable natural resource. The exploitation of this resource brings collateral problems when the production process (extraction, transporting and refining) is diverted accidentally causing the contact of this liquid hydrocarbon with the environment, negatively impacting on the soil, water and air through which it moved.

In the Peruvian Amazon, as a result of oil activity, some soils have been negatively impacted by spills of liquid hydrocarbons, and according to current Peruvian legislation are outside the environmental quality standard of soils.

The present investigation has as objective to find a new physical-chemical technology that allows to provide a solution and to remedy the soils contaminated with liquid hydrocarbons, for it two alternatives were tested with samples collected from a contaminated soil in the Peruvian Amazon, by physical and chemical processes, finding slight results, but due to the complexity of the samples, the results have not been reached as expected for the objectives of this research.

Keywords. Remediation of soils; hydrocarbons, physical-chemical processes

Introducción

El suelo, la capa más superficial de la corteza terrestre, constituye uno de los recursos naturales más importantes con el que contamos al ser el sustrato que sustenta la vida en el planeta.

La alta demanda energética en el mundo moderno ha determinado el uso intensivo del crudo de petróleo y sus derivados como su principal fuente y a la vez, muchos de sus componentes son empleados como materias primas básicas en las industrias químicas y petroquímicas.

El aumento en la explotación del petróleo en diversas zonas del mundo, ha determinado la aparición de crecientes fuentes de contaminación al medio ambiente, impactando los suelos, los recursos hídricos y la atmósfera. Por eso es importante encontrar herramientas que permitan mitigar este tipo de compuestos ante alguna interacción que pueda producir un impacto negativo al ecosistema. La aplicación de tecnologías fisicoquímicas para remediar suelos contaminados por hidrocarburos origina cambios físicos menores sobre el medio; cuando se usa correctamente no produce efectos adversos significativos, puede ser útil para retirar algunos de los compuestos tóxicos del petróleo, ofrece una solución más simple y completa. (Benavides, 2010)

En las regiones de la Amazonía, la costa norte y el mar en el Perú, existen infraestructuras como zonas de explotación del crudo, refinerías y oleoductos, mediante las cuales lo producido es transportado para su procesamiento y su uso en diferentes actividades industriales, y que accidentalmente pueden contaminar el ecosistema a pesar del cuidado que se tiene en su manejo y almacenamiento; cuando esto ocurre el ecosistema es impactado y los hidrocarburos entran en contacto con el ambiente (aire, agua y suelo), para

este estudio el cual busca determinar la mitigación de la interacción del hidrocarburo en un suelo, y para determinar el grado de contaminación de este impacto se deberá tomar como referencia que el suelo impactado no supere los niveles de los Estándares de Calidad Ambiental de suelos establecido por la legislación vigente (Ver anexo 1).

En el Perú y en el mundo existen refinerías de petróleo que producen compuestos derivados que son producidos y transportados para su uso en diferentes actividades industriales (grifos, cisternas y otros), que contaminan el suelo y a pesar del cuidado que puede tenerse en su manejo y almacenamiento, existe la posibilidad de que estos compuestos ingresen al suelo en cantidades que superen el cinco por ciento que es el nivel establecido por el Ministerio de Energía y Minas. En el país sobre estos suelos contaminados, no existe información estadística oficial sobre la ubicación y extensión de las áreas afectadas y su disposición adecuada de los productos y residuos de la industria del petróleo, a pesar de la álgida tarea del Ministerio de Energía y Minas, autoridad ambiental competente para las actividades petroleras en nuestro país. Esto representa un problema importante que requiere que los suelos contaminados con hidrocarburos sean remediados con tecnologías de bajo costo y de fácil acceso a las zonas de actividad en donde se produzca el impacto y así mitigar la contaminación de la amazonia peruana.

El objetivo del presente trabajo de investigación es proponer una tecnología alternativa a las actuales mediante un proceso fisicoquímico para remediar suelos contaminados por hidrocarburos de la actividad petrolera en la Selva Peruana y contribuir de cierta manera a mitigar los impactos ambientales causados por esta actividad.

El comportamiento de un contaminante en el suelo, así como la efectividad de una tecnología de remediación, están determinados por diversos factores que interactúan de manera compleja y que dependen de las características propias del contaminante, así como de las del suelo. Por consiguiente, para la selección adecuada de una metodología de remediación con buenas perspectivas de éxito, es indispensable considerar tanto las propiedades del contaminante como las del sitio contaminado. (Eweis *et al*, 1998).

Las técnicas de remediación presentadas son una propuesta para resolver problemas ambientales, servirán de base para la búsqueda de nuevos tratamientos de remediación, las que se han incrementado en los últimos años debido a la necesidad de realizar trabajos de limpieza de suelos que permita minimizar el tiempo de tratamiento y disminuir costos de remediación.

Marco Teórico

3.1. Suelo contaminado: consiste en una degradación química que provoca la pérdida parcial o total de la productividad del suelo como consecuencia de la acumulación de sustancias tóxicas en unas concentraciones que superan el poder de amortiguación natural del suelo y que modifican negativamente sus propiedades. Esta acumulación se realiza generalmente como consecuencia de actividades humanas exógenas, conforme se desarrolla la concentración residual de elementos contaminantes influyen negativamente sobre la actividad biológica (Macías, 1993),

Las propiedades físicas, químicas, fisicoquímicas y biológicas del suelo controlan en gran medida los ciclos biogeoquímicos superficiales, en los que actúa como un reactor complejo que sirve de elemento protector de otros medios más sensibles frente a elementos contaminantes. Así, el suelo ejerce su labor protectora a través de su poder de amortiguación o capacidad natural de depuración de la contaminación. Todas estas

reacciones están estrechamente controladas por propiedades del suelo como su textura, estructura, porosidad, capacidad de intercambio catiónico, pH, Eh y la actividad microbológica. En cualquier caso, hay que tener muy presente que el poder de amortiguación de un suelo no es ilimitado y cuando se rebasa, el suelo deja de ser eficaz como sumidero de la contaminación, llegando incluso a invertirse el proceso y a convertirse en una fuente de contaminación para los organismos del suelo y para el medio circundante. Cuando se realice el estudio de la contaminación de un suelo no basta sólo con detectar la presencia de la sustancia o sustancias contaminantes sino que su concentración debe superar la carga crítica o máxima cantidad permitida en el suelo sin que se produzcan efectos nocivos que no puedan ser contrarrestados por el poder de amortiguación del suelo. (Macías, 1996)

Los agentes potencialmente contaminantes del suelo están fundamentalmente asociados a residuos derivados de actividades industriales, mineras, agrícolas y ganaderas. Las principales agentes de contaminación en los suelos son:

a.- Metales pesados: se llama metal pesado a aquel elemento metálico que presenta una densidad superior a 5 g/cm³, aunque a efectos prácticos en estudios medioambientales se amplía esta definición a todos aquellos elementos metálicos o metaloides, de mayor o menor densidad, que aparecen comúnmente asociados a problemas de contaminación.

Al hablar de contaminación por metales hay que tener en cuenta que más importante que el contenido total de un elemento en el suelo es la forma o especie química bajo la que se encuentra, es decir, su especiación (Mulligan et al., 2001a). Así, la forma resultante de dicha especiación va a influir decisivamente en su distribución en el suelo, condicionando su solubilidad, su movilidad en el suelo y las aguas superficiales y subterráneas, su biodisponibilidad y toxicidad y, por tanto, su comportamiento como contaminante potencial.

b.- Lluvias ácidas: consisten en deposiciones húmedas (agua de lluvia, nieve y niebla) o secas (gases o partículas sólidas) de la atmósfera constituidas principalmente por SO₂ y óxidos de nitrógeno, NO_x, que proceden fundamentalmente de actividades industriales, como las emisiones de centrales térmicas y las producidas por la combustión de hidrocarburos, la desnitrificación de fertilizantes añadidos en exceso a los suelos y otros procesos naturales similares que tienen lugar en zonas de manglares, marjales, arrozales, volcanes, etc

c.- Salinización: Es el resultado de la acumulación en el suelo de sales más solubles que el yeso (2,6 g/L en agua pura a 25°C, Porta et al., 2003). La salinización se refleja en un incremento en la conductividad eléctrica de la solución del suelo que tiene efectos adversos sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y dificulta el crecimiento y la productividad vegetal (Tejada et al., 2006)

Técnicas de descontaminación: Las técnicas de descontaminación de suelos pueden ser:

-Tratamientos físico-químicos: Son técnicas típicamente aplicadas in situ que tienen como objetivo separar los contaminantes del suelo para su posterior tratamiento depurador. Son tratamientos sencillos que requieren que los suelos sean permeables y que las sustancias contaminantes tengan suficiente movilidad y no estén altamente adsorbidas en el suelo. Según con qué elementos se realice la extracción, se habla de: Extracción de aire, Extracción de agua, Extracción de fase libre, Extracción de fases densas, Extracción con disolventes y ácidos, Lavado,

-Consecuencias de la degradación del suelo: Pérdida de elementos nutrientes (N, P, S, K, Ca, Mg,...): puede ser de manera
Medidas de Mitigación para Suelos Contaminados por Derrames de

Hidrocarburos en Infraestructura de Transporte Terrestre 10 directa, bien al ser eliminados por las aguas que se infiltran en el suelo, o bien por erosión a través de las aguas de escorrentía, o de la forma indirecta, por erosión de los materiales que los contienen o que podrían fijarlos. Modificación de las propiedades fisicoquímicas: acidificación, desbasificación y bloqueo de los oligoelementos que quedan en disposición no disponible. Deterioro de la estructura. la compactación del suelo produce una disminución de la porosidad; genera un encostramiento superficial; por tanto, aumenta la escorrentía. Disminución de la capacidad de retención del agua: por degradación de la estructura o por pérdida del suelo. Esta consecuencia es especialmente importante para los suelos andaluces sometidos a escasas precipitaciones anuales. Pérdida física de materiales: erosión selectiva (parcial, de los constituyentes más lábiles, como los limosos), o masiva (pérdida de la capa superficial del suelo, o en los casos extremos de la totalidad del suelo). Incremento en la toxicidad. al modificarse las propiedades del suelo, y una disminución de la masa del suelo. Estos efectos tienen dos consecuencias generales: A corto plazo: disminución de la producción y aumento de los gastos de explotación (cada vez, el suelo necesita mayor cantidad de abonos y cada vez produce menos). A largo plazo: infertilidad total, abandono, desertización del territorio. Es por ello que se debe tener en cuenta que es algo real, y que en la actualidad grandes porciones de suelo están siendo afectadas por hidrocarburos y demás sustancias peligrosas.

-Impacto ambiental por el uso del petróleo Las etapas que componen el procesamiento del petróleo son: explotación, transporte, refinamiento, almacenamiento y uso. Las alteraciones ambientales que cada una provoca varían, y son responsabilidad de diferentes sectores de la población y zonas donde se producen.

-Hidrocarburos Están constituidos únicamente por carbono e hidrógeno, y forman la base estructural común de todos los demás compuestos orgánicos. La mayoría se extrae de combustibles fósiles, en particular el petróleo, pero también del gas natural y de la hulla. Otras fuentes importantes incluyen la madera y los productos de fermentación de las plantas. En este caso nos enfocaremos a los derivados del petróleo, por ello es necesario recordar que el crudo es una mezcla compleja de sustancias formadas por restos de animales y vegetales que han estado sometidos a la acción bacteriana y a la catalítica de algunos compuestos inorgánicos durante millones de años. A consecuencia de esto, el petróleo contiene una gran cantidad de hidrocarburos saturados y los productos que se obtienen de él como lo son la gasolina, el aceite combustible, los aceites lubricantes y la parafina consisten principalmente en mezclas de estos hidrocarburos que varían de los líquidos más ligeros a los sólidos, como se mencionó antes en la destilación del petróleo

Método

Para el cumplimiento de los objetivos del presente proyecto se han tomado muestras representativas de un suelo contaminado con hidrocarburos de la actividad petrolera en la Amazonía del Perú. Siendo la actividad de muestreo de suelos una de las más importantes en todo proceso de descontaminación, se ha empleado la guía para muestreo de suelos establecidos por el ministerio del ambiente del Perú, que nos permitió tener con mayor exactitud una adecuada caracterización de la real contaminación y establecimiento de los criterios de selección de la mejor alternativa de remediación mediante tecnologías fisicoquímicas.

La investigación se lleva a cabo en las instalaciones del laboratorio de Química Industrial de la Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas, en el periodo comprendido de enero a octubre del 2018.

Para esta investigación se consideró recolectar las muestras de una empresa del sector petrolero con operaciones de exploración y explotación de hidrocarburos en la Amazonía peruana; quienes en el desarrollo de sus operaciones se han visto afectado accidentalmente con la contaminación con hidrocarburos en los suelos, y para evitar un mayor impacto ambiental recogen los suelos contaminados y los derivan a pozas de almacenamiento temporal debidamente impermeabilizada para su posterior remediación y retorno al medio ambiente.

Es de mucha importancia el conocer las características físico-químicas del suelo a tratar, esto resulta ser una de los principales retos de cualquier trabajo de remediación. La obtención de alguna propiedad del suelo generalmente se estima en base al promedio de un número determinado de muestras analizadas en el laboratorio acreditado. Sin embargo, estas muestras representan gran variabilidad en el espacio, tanto a nivel superficial como en la profundidad y el tiempo; siendo difícil encontrar exactitud y repetitividad en los resultados.

Para la siguiente investigación se empleó un muestreo de identificación, que está orientado a encontrar la existencia de agentes contaminantes en suelo a través de la obtención de muestras representativas con el fin de establecer si el suelo supera o no los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo de la legislación peruana vigente.

La metodología seguida fue la siguiente:

1. **Identificar el suelo contaminado.** el material en estudio proviene de una poza de almacenamiento temporal de suelos contaminados debidamente impermeabilizado con las siguientes dimensiones: 16.0 metros de largo, 8.0 metros de ancho y 1.5 metros de profundidad, el cual se encuentra ubicado en las instalaciones de la empresa petrolera.
- 2.- **Extraer muestras representativas:** el patrón empleado para la ubicación de las muestras es el de rejillas regulares tal como se grafica en el figura N°1.

Tabla 1

La cantidad muestras a recolectar por área de potencial interés

ÁREA DE POTENCIAL INTERÉS (HA)	PUNTOS DE MUESTREO EN TOTAL
0,1	4
0,5	6
1	9
2	15
3	19
4	21
5	23
10	30
15	33
20	36
25	38
30	40
40	42
50	44
100	50

Número mínimo de puntos de muestreo para el Muestreo de Identificación Fuente: Guía para el muestreo de suelos-Ministerio del Ambiente.

De acuerdo a las dimensiones de la poza nos corresponde la cantidad de cuatro muestras, pero para mayor confiabilidad en la caracterización

se han tomado seis muestras distribuidas como se observa en la figura 1.

Figura 1.

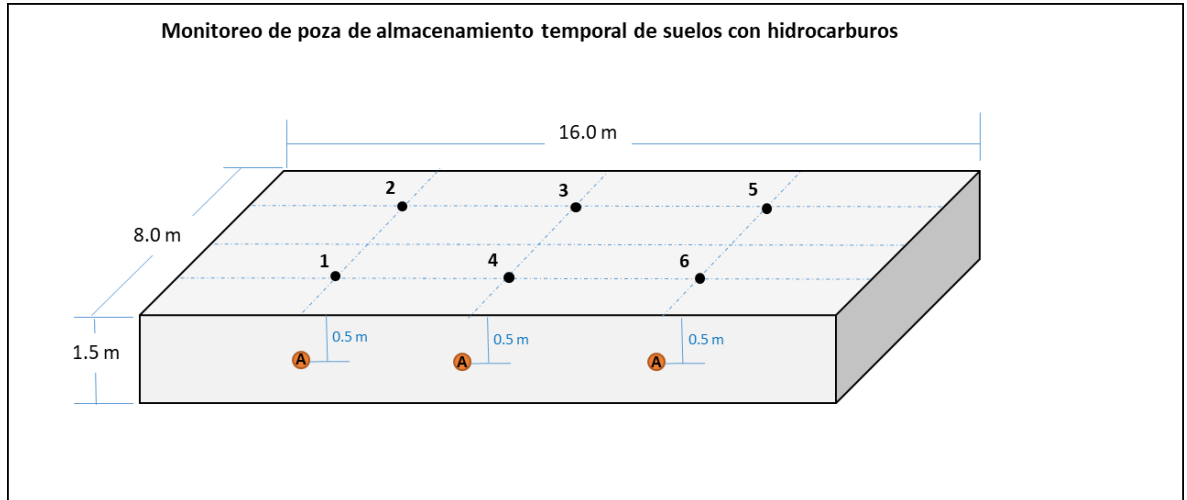
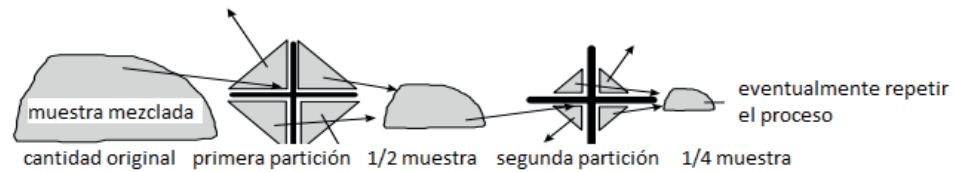


Diagrama de selección de muestras con patrón de rejillas. Fuente: Elaboración propia

Los pasos que se siguieron para obtener las muestras son los siguientes:

- a. Elaborar un patrón de rejillas sobre la superficie de la poza y marcar las intersecciones objetivo.
- b. Ingresar a la poza con los equipos de protección personal adecuado.
- c. Hacer las calicatas manuales con la ayuda de una pala debidamente esterilizada, a una profundidad de 20 cm y diámetro de 50 cm, del cual se tomará una muestra compuesta de seis kilogramos.
- d. Homogenizar la muestra y hacer particiones de acuerdo a la guía de remediación de suelos como se observa en el gráfico N°2

Gráfico 2. Partición de muestras.



Fuente :Guía para el muestreo de suelos del Ministerio del Ambiente-2014.

- e. El proceso se repite para cada uno de los seis puntos identificados.
- f. Preservar las muestras de acuerdo al protocolo establecido de cada parámetro.
- g. Elaborar la cadena de custodia de las muestras hasta llegar al laboratorio acreditado para sus análisis respectivos. (Guía para el muestreo de suelos del Ministerio del Ambiente-2014).

3.- Analizar características en laboratorio acreditado: las muestras recolectadas en campo fueron enviados a un laboratorio acreditado por el Instituto Nacional de la Calidad (INACAL), para su respectiva caracterización. Ver resultados en la tabla 2

4.- Realizar ensayos de remediación en laboratorio: El resto de muestras se llevarán al laboratorio de química industrial de la escuela de Ingeniería Industrial, y mediante procesos a escala en laboratorio se aplicarán principios químicos y físicos como cambio en la temperatura, presión, volumen, adición de otros elementos químicos que permitan el cambio en su estructura molecular para el cumplimiento del objetivo del presente proyecto de investigación que es la reducción del contaminante en estudio del suelo.

5. Analizar resultados finales: Cuando se observe una reducción significativa del contaminante se enviará al laboratorio acreditado para su respectivo análisis y medir el nivel de reducción de dicho contaminante.

Resultados

Resultados de la caracterización inicial: los resultados iniciales obtenidos de la poza de suelos contaminados, se muestran en la tabla 2.

Como se aprecia en la tabla 2, los resultados muestran que ninguna muestra supera la categoría F1 de los ECA suelo vigente, significando que no se encuentra contaminación del suelo en este tipo de fracción de hidrocarburos de átomos de carbono se encuentran entre 6 y 10.

Todas las muestras han superado ampliamente la categoría F2 (cadenas de carbono de mayor a diez y hasta veintiocho átomos de carbono >C10 a C28)

Todas las muestras han superado ampliamente la categoría F3 (contienen mayor a veintiocho y hasta cuarenta átomos de carbono >C28 a C40).

Estos resultados evidencian una real contaminación de las muestras recolectadas de la poza de almacenamiento temporal de la empresa petrolera de acuerdo a los estándares de calidad ambiental de suelos vigentes en la legislación (ECA), por lo que se hace necesario encontrar un método para la remediación de estos y retornarlos al ecosistema cumpliendo los ECA.

Tabla 3. . Resultados de caracterización inicial de suelos contaminados por laboratorio acreditado.

PARÁMETRO	MÉTODO	Unidad	LÍMITE	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra
			ECA SUELO	B-01	B-02	B-03	B-04	B-05	B-06
			Uso suelo						
			(6)						
Fracción de Hidrocarburos F1 (C5-C10)*	EPA METHOD 8015 C Rev 3. 2007	mg/kg	500	59.8	32.4	154.4	56.6	71.4	64.3
Fracción de Hidrocarburos F2 (C10-C28)*	EPA METHOD 8015 C Rev 3. 2007	mg/kg	5000	21 779	20 041	100 234	47 399	54 063	50 730
Fracción de Hidrocarburos F3 (C28-C40)*	EPA METHOD 8015 C Rev 3. 2007	mg/kg	6000	44 931	50 169	189 036	84 816	99 539	92 168

INFORME DE ENSAYO: 32794/2017 - Corporación Laboratorios Ambientales del Perú S.A.C. De acuerdo a la regulación legal vigente, los hidrocarburos se clasifican en tres grupos:

- Fracción ligera F1 con cadena de carbono comprendidas entre C5 y C10
- Fracción mediana F2 con cadena de carbono comprendidas entre C10 y C28
- Fracción pesada con cadena de carbono comprendidas entre C28 –C40.

Tabla 3. Muestras que se encuentran fuera del estándar y presentan contaminación:

PARÁMETRO	Unidad	LÍMITE	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra
		ECA SUELO	B-01	B-02	B-03	B-04	B-05	B-06
Fracción de Hidrocarburos F2 (C10-C28)*	mg/kg	5000	21 779	20 041	100 234	47 399	54 063	50 730
Fracción de Hidrocarburos F3 (C28-C40)*	mg/kg	6000	44 931	50 169	189 036	84 816	99 539	92 168

De 18 muestras analizadas en el laboratorio acreditado, 12 de ellas se encuentran fuera de los ECA suelo.

Ensayo experimental 1. Separación de fases por temperatura y densidades

Los resultados iniciales obtenidos del laboratorio analítico de los suelos de la poza, muestran que los suelos presentan contaminación de Fracción de Hidrocarburos F2 y F3 por encima de los estándares de calidad ambiental para suelos. La composición del suelo estaría estructurada de la siguiente manera: en su mayor parte por arcilla con presencia de material vegetal como musgos y otros.

Para este primer ensayo se sometió a una prueba de densidades entre la muestra de suelo contaminado con valores por encima de F1 y F2 y agua químicamente pura.

Es conocido que el agua presenta una densidad de 1.00 g/c.c., mientras que un crudo de petróleo puede presentar una densidad que varía entre 0.66 g/cc y 0.98 g/c.c., adicional a esto la diferencia en sus estructuras moleculares de cada uno de estos elementos hacen que no se mezclen cuando se juntan y se cree una separación denominado tensión superficial.

Este principio se empleó para buscar la separación entre el suelo, crudo de petróleo y agua.

Para ello se desarrolló el siguiente procedimiento:

1. Se realizó una medición de porcentaje de componentes (agua, hidrocarburo y fase sólida), con la ayuda de una retorta de destilación de la marca Ofite de 10 cc (ver resultados en Tabla 4).
2. Se tomó una muestra de 200 gr de suelo contaminado con hidrocarburo (F2 Y F3)
3. Se mezcló con 200 ml de agua químicamente pura en un vaso de precipitado

4. Se puso a fuego hasta punto de ebullición del agua (100 °C)
5. Se mezcló con la ayuda de agitador eléctrico a 200 rpm por un lapso de 10 min.
6. Se dejó reposar por 20 minutos hasta enfriar y posible separación de fases.

Resultados ensayo experimental 1:

No se pudo observar a simple vista la separación de las fases entre el agua, el hidrocarburo y el suelo. La disminución de concentración del hidrocarburo se debió básicamente a la utilización de agua en la nueva mezcla.

Tabla 4. Resultados ensayo experimental 1.

Variables de medida	INICIAL	FINAL
Análisis inicial de % de contenido en retorta marca Ofite de 10 cc.	Agua = 60% Hidrocarburo = 27% Suelo = 13%	Agua = 71% Hidrocarburo = 19% Suelo = 10%
Visual	Muestra de suelo contaminado con hidrocarburo	Los elementos no se logran separar.

Los resultados visuales no arrojan resultados, ya que la muestra no logra su separación de cada una de las fases.

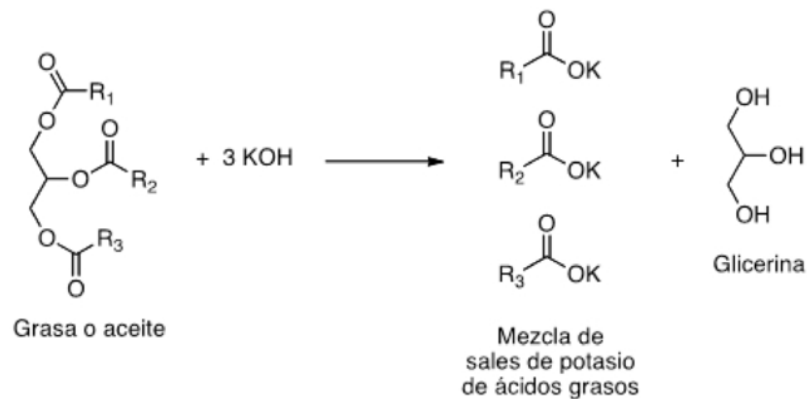
Ensayo experimental 2. Separación de fases lavado con jabón elaborado en base a aceite vegetal usado.

Los resultados iniciales obtenidos del laboratorio analítico de los suelos de la poza, muestran que los suelos presentan contaminación de Fracción de Hidrocarburos F2 y F3 por encima de los estándares de calidad ambiental para suelos. La composición del suelo estaría estructurada en su mayor parte por arcilla con presencia de material vegetal como musgos y otros.

Para este segundo ensayo se someterá a una prueba de limpieza en base a la fabricación en laboratorio de un jabón hecho en base a aceites vegetales usados.

Como se sabe “Los jabones limpian debido a las afinidades diferentes de los extremos de sus moléculas. La suciedad grasa no se elimina fácilmente sólo con agua, que la repele por ser insoluble en ella. Sin embargo, el jabón posee una cadena larga alifática o hidrocarbonada sin carga que interactúa con la grasa, disolviéndola, mientras que la región con carga se orienta hacia el exterior, formando gotas. Una vez que la superficie de la gota grasa está cubierta por muchas moléculas de jabón, se forma una micela con una pequeña gota de grasa en el interior. Esta gota de grasa se dispersa fácilmente en el agua, ya que está cubierta por las cabezas con carga o aniones carboxilato del jabón. La mezcla que resulta de dos fases insolubles (agua y grasa), con una fase dispersada en la otra en forma de pequeñas gotas, se denomina emulsión. Por lo tanto, se dice que la grasa ha sido emulsionada por la solución jabonosa. De esta manera, en el proceso de lavado con un jabón, la grasa se elimina con el agua del lavado(...) (Regla, Vázquez, Cuervo, Cristobal, (2014), ¹

Figura 3. Esquema de formación de jabón. Esquema de reacción de saponificación para la producción de jabón



De acuerdo a este principio se realizó el siguiente procedimiento para la aplicación del lavado con jabón a los suelos contaminados con hidrocarburos.



1. Se realizó una medición de porcentaje de componentes (agua, hidrocarburo y fase sólida), con la ayuda de una retorta de destilación de la marca Ofite de 10 cc (ver resultados en Tabla 5).
2. Se preparó una muestra de jabón-en laboratorio, mediante proceso de saponificación, empleando aceite vegetal de cocina usado.

El proceso de saponificación fue de la siguiente manera: 400 ml de aceite vegetal usado, 180 gr de hidróxido de sodio, 400 ml de agua destilada, las cuales se agitaron por un lapso de 30 minutos y se dejó reposar hasta enfriar.

Los 200 gr de muestra de suelo contaminado fue mezclado con agua 100 ml de agua destilada y 100 ml del jabón fabricado en el laboratorio por un lapso de 15 minutos y se dejó reposar por un lapso de 2 horas para la espera de resultados finales.

Tabla 5. Resultados ensayo experimental 2.

Variables de medida	INICIAL	FINAL
Análisis inicial de % de contenido en retorta de 10cc.	Agua = 65% Hidrocarburo = 25% Suelo = 10%	Agua = 70% Hidrocarburo = 22% Suelo = 8%

<p>Visual</p>	<p>Muestra de suelo contaminado con hidrocarburo – inicial. Color negro, aroma particular a hidrocarburos.</p> 	<p>Los elementos no se logran separar, se ha formado una masa pastosa, con cambio de coloración del producto final y aroma graso.</p> 
---------------	---	---

Como se aprecia en las fotografías, no se logran separar las fases del agua, hidrocarburo y suelos con las concentraciones realizada de manera directa, se aprecia cambio en la coloración de muestra y en textura y olor. Al efectuar la medición en la retorta destiladora, arroja resultados distintos a la inicial, esto es debido al incremento del volumen de agua y jabón al momento de mezclar la muestra de suelo contaminado.

DISCUSIÓN

Si bien es cierto los principios físicos y químicos empleados en esta investigación solo muestran resultados visuales en el cambio de la apariencia de en referencia a la muestra inicial, pero no muestran una separación definitiva de las fases como se esperaba. Hubo cambios químicos en las muestras de suelo contaminado como se mostró en la tabla 5.

Conclusiones

- Las características de los suelos recolectados impactados con hidrocarburos de la Amazonía peruana, presentan un gran contenido de material vegetal como raíces, musgo y otros elementos, que dificultan una limpieza adecuada, ya que se adhieren con más resistencia a los hidrocarburos líquidos.
- La elección del método físico-químicos empleados en la investigación plantea la profundización del método, ya que se han encontrado resultados de cambio ligeros pero no de acuerdo a lo que enmarca un suelo no contaminado para la legislación peruana vigente.

Recomendaciones

- Encontrar nuevas tecnologías de remediación de suelos contaminados demanda que la investigación se profundice con controles de parámetros con más detalles.

Referencias Bibliográficas

- Benavides, L. J., Quintero, G, Guevara, V. A., Jaimes, D. C. (2010) *Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo*. Colombia.: Nova.
- Buendía, H (2012) *Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante el compost de aserrín y estiércol*. Lima: Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM Vol. 15, N.º 30
- Eweis, J. B., S.J. Ergas, D.P. Chang y E.D. Schroeder (1998) *Bioremediation Principles*. San Diego: McGraw-Hill International
- Macías, F. 1996, *Los suelos de mina: Su recuperación*. San Diego: McGraw-Hill International
- Ministerio del Ambiente (2014) *Guía para el muestreo de suelos*. Ministerio del Ambiente, Perú
- Mulligan, C. (2001). *An overview of in situ bioremediation processes. Proceedings of the 29th Annual Conference of the Canadian Society for Civil Engineering*. Montreal, PQ: Canadian Society of Civil Engineering.

- Porta, J., López-Acevedo, M. y Roquero, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. 3ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- Regla, I. Edna Vázquez Vélez, Diego Humberto Cuervo Amaya y Adrian Cristóbal Neri (2014). *La química del jabón y algunas aplicaciones*. Revista Digital Universitaria UNAM -ISSN: 1607 – 6079.
- Regla, I., Vázquez, E. Vélez, D. *jabón y algunas aplicaciones*. Revista Digital Universitaria UNAM -ISSN: 1607 - 6079 |
- Tejada, M., García, C., González, J. L., and Hernández, M. T. 2006. *Use of organic amendment as a strategy for saline soil remediation: Influence on the physical, chemical and biological properties of soil*. Soil Biology and Biochemistry

Anexo N° 1

Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo

Parámetros en mg/kg PS ⁽²⁾	Usos del Suelo ⁽¹⁾			Métodos de ensayo ^{(7) y (8)}
	Suelo Agrícola ⁽³⁾	Suelo Residencial/Parques ⁽⁴⁾	Suelo Comercial ⁽⁵⁾ /Industrial/Extractivo ⁽⁶⁾	
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos aromáticos volátiles				
Benceno	0,03	0,03	0,03	EPA 8260 ⁽⁹⁾ EPA 8021
Tolueno	0,37	0,37	0,37	EPA 8260 EPA 8021
Etilbenceno	0,082	0,082	0,082	EPA 8260 EPA 8021
Xilenos ⁽¹⁰⁾	11	11	11	EPA 8260 EPA 8021
Hidrocarburos poliaromáticos				
Naftaleno	0,1	0,6	22	EPA 8260 EPA 8021 EPA 8270
Benzo(a) pireno	0,1	0,7	0,7	EPA 8270
Hidrocarburos de Petróleo				
Fracción de hidrocarburos F1 ⁽¹¹⁾ (C6-C10)	200	200	500	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F2 ⁽¹²⁾ (>C10-C28)	1200	1200	5000	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F3 ⁽¹³⁾ (>C28-C40)	3000	3000	6000	EPA 8015
Compuestos Organoclorados				
Bifenilos policlorados - PCB ⁽¹⁴⁾	0,5	1,3	33	EPA 8082 EPA 8270
Tetracloroetileno	0,1	0,2	0,5	EPA 8260
Tricloroetileno	0,01	0,01	0,01	EPA 8260
INORGÁNICOS				
Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051
Bario total ⁽¹⁵⁾	750	500	2 000	EPA 3050 EPA 3051
Cadmio	1,4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
Cromo total	**	400	1 000	EPA 3050 EPA 3051
Cromo VI	0,4	0,4	1,4	EPA 3060/ EPA 7199 ó DIN EN 15192 ⁽¹⁶⁾
Mercurio	6,6	6,6	24	EPA 7471 EPA 6020 ó 200.8
Plomo	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051
Cianuro Libre	0,9	0,9	8	EPA 9013 SEMWW-AWWA-WEF 4500 CN F o ASTM D7237 y/ó ISO 17690:2015

Fuente: Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM

Artículo científico

“Aplicación de tecnología fisicoquímica para remediar suelos contaminados por hidrocarburos de la actividad petrolera en la selva peruana”

Manrique Suárez, Luis Humberto	RESPONSABLE
Ochoa Sotomayor, Nancy Alejandra	MIEMBRO
Gallegos Coca Carlos Gustavo	MIEMBRO

Luna Figueroa, Johan Paolo	COLABORADOR
----------------------------	-------------

INSTITUTO DE INVESTIGACION
Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas
Universidad Nacional Federico Villarreal

Fecha de Inicio : Enero 2018

Fecha de Término: Diciembre 2018

Línea de Investigación:

6. Gestión e innovación empresarial y desarrollo industrial y tecnológico

6.5 Gestión de recursos económicos y productividad

Resumen

El uso intensivo del crudo del petróleo como factor de creación de energía y la producción de los derivados de este material a través de la industria petroquímica en nuestra vida moderna se ha vuelto crucial para el desarrollo y explotación de este recurso natural no renovable. La explotación de este recurso trae problemas colaterales cuando el proceso productivo (extracción, transporte y refinación) se desvía de forma accidental originando el contacto de este hidrocarburo con el medio ambiente, impactando negativamente en los suelos, agua y aire por donde se deslice.

En la Amazonía peruana producto de la actividad petrolera, algunos suelos han sido impactados negativamente con derrames de hidrocarburos líquidos, y de acuerdo a la legislación peruana vigente se encuentran fuera del estándar de calidad ambiental de suelos.

La presente investigación tiene como objetivo encontrar una tecnología físico-química nueva que permita proporcionar una solución y remediar los suelos contaminados con hidrocarburos líquido, para ello se ensayaron dos alternativas con muestras recolectadas de un suelo contaminado en la Amazonía peruana, mediante procesos físicos químicos, encontrando ligeros resultados, pero por la complejidad de las muestras no se han llegado a resultados tal como se esperaban para los objetivos de esta investigación.

Palabras Claves. Remediación de suelos; hidrocarburos, procesos físico-químicos.

Abstrac

The intensive use of crude oil as a factor of energy creation and the production of derivatives of this material through the petrochemical industry in our modern life has become crucial for the development and exploitation of this non-renewable natural resource. The exploitation of this resource brings collateral problems when the production process (extraction, transporting and refining) is diverted accidentally causing the contact of this liquid hydrocarbon with the environment, negatively impacting on the soil, water and air through which it moved.

In the Peruvian Amazon, as a result of oil activity, some soils have been negatively impacted by spills of liquid hydrocarbons, and according to current Peruvian legislation are outside the environmental quality standard of soils.

The present investigation has as objective to find a new physical-chemical technology that allows to provide a solution and to remedy the soils cotaminated with liquid hydrocarbons, for it two alternatives were tested with samples collected from a contained soil in the Peruvian Amazon, by physical and chemical processes, finding slight results, but due to the complexity of the samples, the results have not been reached as expected for the objectives of this research.

Keywords. Remediation of soils; hydrocarbons, physical-chemical processes

Introducción

El suelo, la capa más superficial de la corteza terrestre, constituye uno de los recursos naturales más importantes con el que contamos al ser el sustrato que sustenta la vida en el planeta.

La alta demanda energética en el mundo moderno ha determinado el uso intensivo del crudo de petróleo y sus derivados como su principal fuente y a la vez, muchos de sus componentes son empleados como materias primas básicas en las industrias químicas y petroquímicas.

El aumento en la explotación del petróleo en diversas zonas del mundo, ha determinado la aparición de crecientes fuentes de contaminación al medio ambiente, impactando los suelos, los recursos hídricos y la atmósfera. Por eso es importante encontrar herramientas que permitan mitigar este tipo de compuestos ante alguna interacción que pueda producir un impacto negativo al ecosistema. La aplicación de tecnologías fisicoquímicas para remediar suelos contaminados por hidrocarburos origina cambios físicos menores sobre el medio; cuando se usa correctamente no produce efectos adversos significativos, puede ser útil para retirar algunos de los compuestos tóxicos del petróleo, ofrece una solución más simple y completa. (Benavides, 2010)

En las regiones de la Amazonía, la costa norte y el mar en el Perú, existen infraestructuras como zonas de explotación del crudo, refinerías y oleoductos, mediante las cuales lo producido es transportado para su procesamiento y su uso en diferentes actividades industriales, y que accidentalmente pueden contaminar el ecosistema a pesar del cuidado que se tiene en su manejo y almacenamiento; cuando esto ocurre el ecosistema es impactado y los hidrocarburos entran en contacto con el ambiente (aire, agua y suelo), para este estudio el cual busca determinar la mitigación de la interacción del hidrocarburo en un suelo, y para determinar el grado de contaminación de este impacto se deberá tomar como referencia que el suelo impactado no supere

los niveles de los Estándares de Calidad Ambiental de suelos establecido por la legislación vigente (Ver anexo 1).

En el Perú y en el mundo existen refinerías de petróleo que producen compuestos derivados que son producidos y transportados para su uso en diferentes actividades industriales (grifos, cisternas y otros), que contaminan el suelo y a pesar del cuidado que puede tenerse en su manejo y almacenamiento, existe la posibilidad de que estos compuestos ingresen al suelo en cantidades que superen el cinco por ciento que es el nivel establecido por el Ministerio de Energía y Minas. En el país sobre estos suelos contaminados, no existe información estadística oficial sobre la ubicación y extensión de las áreas afectadas y su disposición adecuada de los productos y residuos de la industria del petróleo, a pesar de la álgida tarea del Ministerio de Energía y Minas, autoridad ambiental competente para las actividades petroleras en nuestro país. Esto representa un problema importante que requiere que los suelos contaminados con hidrocarburos sean remediados con tecnologías de bajo costo y de fácil acceso a las zonas de actividad en donde se produzca el impacto y así mitigar la contaminación de la amazonia peruana.

El objetivo del presente trabajo de investigación es proponer una tecnología alternativa a las actuales mediante un proceso fisicoquímico para remediar suelos contaminados por hidrocarburos de la actividad petrolera en la Selva Peruana y contribuir de cierta manera a mitigar los impactos ambientales causados por esta actividad.

El comportamiento de un contaminante en el suelo, así como la efectividad de una tecnología de remediación, están determinados por diversos factores que interactúan de manera compleja y que dependen de las características propias del contaminante, así como de las del suelo. Por consiguiente, para la

selección adecuada de una metodología de remediación con buenas perspectivas de éxito, es indispensable considerar tanto las propiedades del contaminante como las del sitio contaminado. (Eweis *et al*, 1998).

Las técnicas de remediación presentadas son una propuesta para resolver problemas ambientales, servirán de base para la búsqueda de nuevos tratamientos de remediación, las que se han incrementado en los últimos años debido a la necesidad de realizar trabajos de limpieza de suelos que permita minimizar el tiempo de tratamiento y disminuir costos de remediación.

Método

Para el cumplimiento de los objetivos del presente proyecto se han tomado muestras representativas de un suelo contaminado con hidrocarburos de la actividad petrolera en la Amazonía del Perú. Siendo la actividad de muestreo de suelos una de las más importantes en todo proceso de descontaminación, se ha empleado la guía para muestreo de suelos establecidos por el ministerio del ambiente del Perú, que nos permitió tener con mayor exactitud una adecuada caracterización de la real contaminación y establecimiento de los criterios de selección de la mejor alternativa de remediación mediante tecnologías fisicoquímicas.

La investigación se lleva a cabo en las instalaciones del laboratorio de Química Industrial de la Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas, en el periodo comprendido de enero a octubre del 2018.

Para esta investigación se consideró recolectar las muestras de una empresa del sector petrolero con operaciones de exploración y explotación de hidrocarburos en la Amazonía peruana; quienes en el desarrollo de sus operaciones se han visto afectado accidentalmente con la contaminación con hidrocarburos en los suelos, y para evitar un mayor impacto ambiental recogen los suelos contaminados y los derivan a pozas de almacenamiento

temporal debidamente impermeabilizada para su posterior remediación y retorno al medio ambiente.

Es de mucha importancia el conocer las características físico-químicas del suelo a tratar, esto resulta ser una de los principales retos de cualquier trabajo de remediación. La obtención de alguna propiedad del suelo generalmente se estima en base al promedio de un número determinado de muestras analizadas en el laboratorio acreditado. Sin embargo, estas muestras representan gran variabilidad en el espacio, tanto a nivel superficial como en la profundidad y el tiempo; siendo difícil encontrar exactitud y repetitividad en los resultados.

Para la siguiente investigación se empleó un muestreo de identificación, que está orientado a encontrar la existencia de agentes contaminantes en suelo a través de la obtención de muestras representativas con el fin de establecer si el suelo supera o no los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo de la legislación peruana vigente.

La metodología seguida fue la siguiente:

2. **Identificar el suelo contaminado.** el material en estudio proviene de una poza de almacenamiento temporal de suelos contaminados debidamente impermeabilizado con las siguientes dimensiones: 16.0 metros de largo, 8.0 metros de ancho y 1.5 metros de profundidad, el cual se encuentra ubicado en las instalaciones de la empresa petrolera.
- 2.- **Extraer muestras representativas:** el patrón empleado para la ubicación de las muestras es el de rejillas regulares tal como se grafica en el figura N°1.

Tabla 1

La cantidad muestras a recolectar por área de potencial interés

ÁREA DE POTENCIAL INTERÉS (HA)	PUNTOS DE MUESTREO EN TOTAL
0,1	4
0,5	6
1	9
2	15
3	19
4	21
5	23
10	30
15	33
20	36
25	38
30	40
40	42
50	44
100	50

Número mínimo de puntos de muestreo para el Muestreo de Identificación Fuente: Guía para el muestreo de suelos-Ministerio del Ambiente.

De acuerdo a las dimensiones de la poza nos corresponde la cantidad de cuatro muestras, pero para mayor confiabilidad en la caracterización se han tomado seis muestras distribuidas como se observa en la figura 1.

Figura 1.

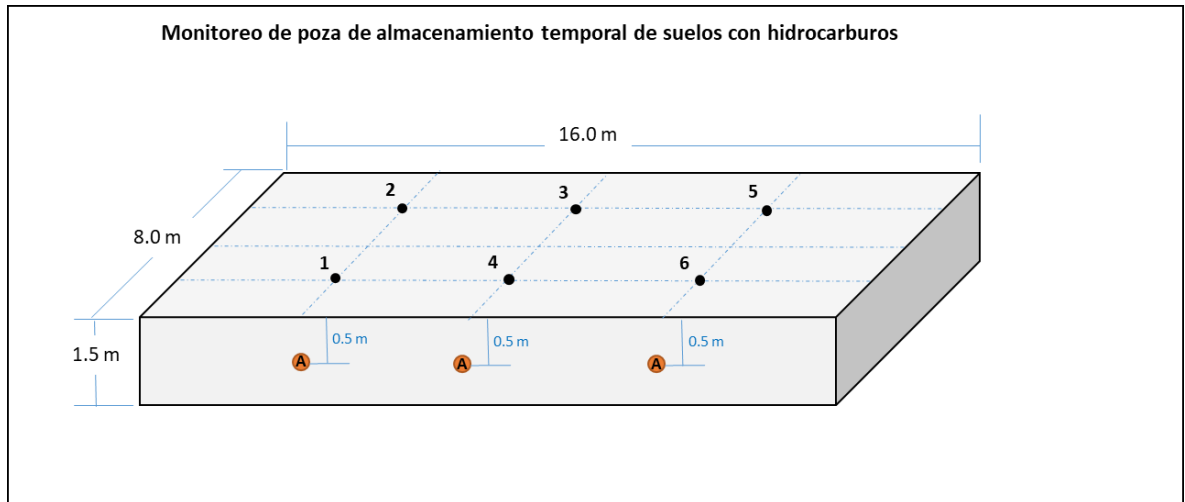
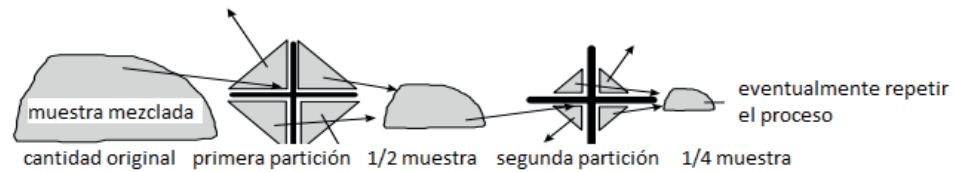


Diagrama de selección de muestras con patrón de rejillas. Fuente: Elaboración propia

Los pasos que se siguieron para obtener las muestras son los siguientes:

- h.** Elaborar un patrón de rejillas sobre la superficie de la poza y marcar las intersecciones objetivo.
- i.** Ingresar a la poza con los equipos de protección personal adecuado.
- j.** Hacer las calicatas manuales con la ayuda de una pala debidamente esterilizada, a una profundidad de 20 cm y diámetro de 50 cm, del cual se tomará una muestra compuesta de seis kilogramos.
- k.** Homogenizar la muestra y hacer particiones de acuerdo a la guía de remediación de suelos como se observa en el gráfico N°2

Gráfico 2. Partición de muestras.



Fuente :Guía para el muestreo de suelos del Ministerio del Ambiente-2014.

l.El proceso se repite para cada uno de los seis puntos identificados.

m. Preservar las muestras de acuerdo al protocolo establecido de cada parámetro.

n. Elaborar la cadena de custodia de las muestras hasta llegar al laboratorio acreditado para sus análisis respectivos. (Guía para el muestreo de suelos del Ministerio del Ambiente-2014).

3.- Analizar características en laboratorio acreditado: las muestras recolectadas en campo fueron enviados a un laboratorio acreditado por el Instituto Nacional de la Calidad (INACAL), para su respectiva caracterización. Ver resultados en la tabla 2

4.- Realizar ensayos de remediación en laboratorio: El resto de muestras se llevarán al laboratorio de química industrial de la escuela de Ingeniería Industrial, y mediante procesos a escala en laboratorio se aplicarán principios químicos y físicos como cambio en la temperatura, presión, volumen, adición de otros elementos químicos que permitan el cambio en su estructura molecular para el cumplimiento del objetivo del presente proyecto de investigación que es la reducción del contaminante en estudio del suelo.

5. Analizar resultados finales: Cuando se observe una reducción significativa del contaminante se enviará al laboratorio acreditado para su respectivo análisis y medir el nivel de reducción de dicho contaminante.

Resultados

Resultados de la caracterización inicial: los resultados iniciales obtenidos de la poza de suelos contaminados, se muestran en la tabla 2.

Como se aprecia en la tabla 2, los resultados muestran que ninguna muestra supera la categoría F1 de los ECA suelo vigente, significando que no se encuentra contaminación del suelo en este tipo de fracción de hidrocarburos de átomos de carbono se encuentran entre 6 y 10.

Todas las muestras han superado ampliamente la categoría F2 (cadenas de carbono de mayor a diez y hasta veintiocho átomos de carbono >C10 a C28)

Todas las muestras han superado ampliamente la categoría F3 (contienen mayor a veintiocho y hasta cuarenta átomos de carbono >C28 a C40).

Estos resultados evidencian una real contaminación de las muestras recolectadas de la poza de almacenamiento temporal de la empresa petrolera de acuerdo a los estándares de calidad ambiental de suelos vigentes en la legislación (ECA), por lo que se hace necesario encontrar un método para la remediación de estos y retornarlos al ecosistema cumpliendo los ECA.

Tabla 3. . Resultados de caracterización inicial de suelos contaminados por laboratorio acreditado.

PARÁMETRO	MÉTODO	Unidad	LÍMITE ECA SUELO Uso suelo (6)	Muestra B-01	Muestra B-02	Muestra B-03	Muestra B-04	Muestra B-05	Muestra B-06
Fracción de Hidrocarburos F1 (C5-C10)*	EPA METHOD 8015 C Rev 3. 2007	mg/kg	500	59.8	32.4	154.4	56.6	71.4	64.3
Fracción de Hidrocarburos F2 (C10-C28)*	EPA METHOD 8015 C Rev 3. 2007	mg/kg	5000	21 779	20 041	100 234	47 399	54 063	50 730
Fracción de Hidrocarburos F3 (C28-C40)*	EPA METHOD 8015 C Rev 3. 2007	mg/kg	6000	44 931	50 169	189 036	84 816	99 539	92 168

INFORME DE ENSAYO: 32794/2017 - Corporación Laboratorios Ambientales del Perú S.A.C. De acuerdo a la regulación legal vigente, los hidrocarburos se clasifican en tres grupos:

- Fracción ligera F1 con cadena de carbono comprendidas entre C5 y C10
- Fracción mediana F2 con cadena de carbono comprendidas entre C10 y C28
- Fracción pesada con cadena de carbono comprendidas entre C28 –C40.

Tabla 3. Muestras que se encuentran fuera del estándar y presentan contaminación:

PARÁMETRO	Unidad	LÍMITE	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra
		ECA SUELO	B-01	B-02	B-03	B-04	B-05	B-06
Fracción de Hidrocarburos F2 (C10-C28)*	mg/kg	5000	21 779	20 041	100 234	47 399	54 063	50 730
Fracción de Hidrocarburos F3 (C28-C40)*	mg/kg	6000	44 931	50 169	189 036	84 816	99 539	92 168

De 18 muestras analizadas en el laboratorio acreditado, 12 de ellas se encuentran fuera de los ECA suelo.

Ensayo experimental 1. Separación de fases por temperatura y densidades

Los resultados iniciales obtenidos del laboratorio analítico de los suelos de la poza, muestran que los suelos presentan contaminación de Fracción de Hidrocarburos F2 y F3 por encima de los estándares de calidad ambiental para suelos. La composición del suelo estaría estructurada de la siguiente manera: en su mayor parte por arcilla con presencia de material vegetal como musgos y otros.

Para este primer ensayo se sometió a una prueba de densidades entre la muestra de suelo contaminado con valores por encima de F1 y F2 y agua químicamente pura.

Es conocido que el agua presenta una densidad de 1.00 g/c.c., mientras que un crudo de petróleo puede presentar una densidad que varía entre 0.66 g/cc y 0.98 g/c.c., adicional a esto la diferencia en sus estructuras moleculares de cada uno de estos elementos hacen que no se mezclen cuando se juntan y se cree una separación denominado tensión superficial.

Este principio se empleó para buscar la separación entre el suelo, crudo de petróleo y agua.

Para ello se desarrolló el siguiente procedimiento:

7. Se realizó una medición de porcentaje de componentes (agua, hidrocarburo y fase sólida), con la ayuda de una retorta de destilación de la marca Ofite de 10 cc (ver resultados en Tabla 4).
8. Se tomó una muestra de 200 gr de suelo contaminado con hidrocarburo (F2 Y F3)
9. Se mezcló con 200 ml de agua químicamente pura en un vaso de precipitado
10. Se puso a fuego hasta punto de ebullición del agua (100 °C)

11. Se mezcló con la ayuda de agitador eléctrico a 200 rpm por un lapso de 10 min.

12. Se dejó reposar por 20 minutos hasta enfriar y posible separación de fases.

Resultados ensayo experimental 1:

No se pudo observar a simple vista la separación de las fases entre el agua, el hidrocarburo y el suelo. La disminución de concentración del hidrocarburo se debió básicamente a la utilización de agua en la nueva mezcla.

Tabla 4. Resultados ensayo experimental 1.

Variables de medida	INICIAL	FINAL
Análisis inicial de % de contenido en retorta marca Ofite de 10 cc.	Agua = 60% Hidrocarburo = 27% Suelo = 13%	Agua = 71% Hidrocarburo = 19% Suelo = 10%
Visual	Muestra de suelo contaminado con hidrocarburo	Los elementos no se logran separar.

Los resultados visuales no arrojan resultados, ya que la muestra no logra su separación de cada una de las fases.

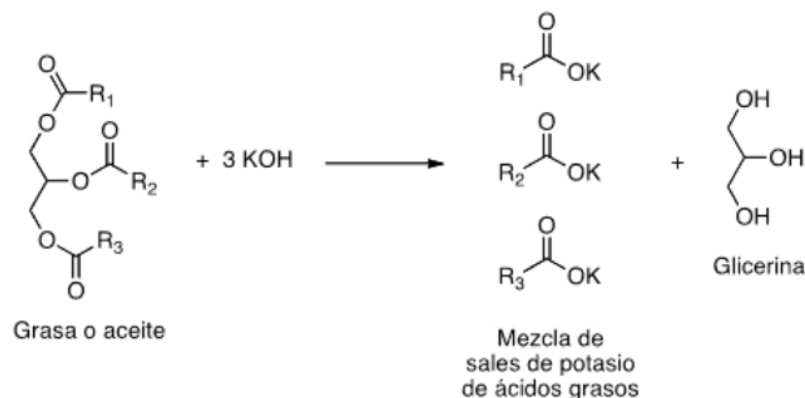
Ensayo experimental 2. Separación de fases lavado con jabón elaborado en base a aceite vegetal usado.

Los resultados iniciales obtenidos del laboratorio analítico de los suelos de la poza, muestran que los suelos presentan contaminación de Fracción de Hidrocarburos F2 y F3 por encima de los estándares de calidad ambiental para suelos. La composición del suelo estaría estructurada en su mayor parte por arcilla con presencia de material vegetal como musgos y otros.

Para este segundo ensayo se someterá a una prueba de limpieza en base a la fabricación en laboratorio de un jabón hecho en base a aceites vegetales usados.

Como se sabe “Los jabones limpian debido a las afinidades diferentes de los extremos de sus moléculas. La suciedad grasa no se elimina fácilmente sólo con agua, que la repele por ser insoluble en ella. Sin embargo, el jabón posee una cadena larga alifática o hidrocarbonada sin carga que interactúa con la grasa, disolviéndola, mientras que la región con carga se orienta hacia el exterior, formando gotas. Una vez que la superficie de la gota grasa está cubierta por muchas moléculas de jabón, se forma una micela con una pequeña gota de grasa en el interior. Esta gota de grasa se dispersa fácilmente en el agua, ya que está cubierta por las cabezas con carga o aniones carboxilato del jabón. La mezcla que resulta de dos fases insolubles (agua y grasa), con una fase dispersada en la otra en forma de pequeñas gotas, se denomina emulsión. Por lo tanto, se dice que la grasa ha sido emulsionada por la solución jabonosa. De esta manera, en el proceso de lavado con un jabón, la grasa se elimina con el agua del lavado(...) (Regla, Vázquez, Cuervo, Cristobal, (2014), ²

Figura 3. Esquema de formación de jabón. Esquema de reacción de saponificación para la producción de jabón



Fuente: (Regla, Vázquez, Cuervo, Cristobal, (2014), Revista Digital Universitaria UNAM -

ISSN: 1607 - 6079

De acuerdo a este principio se realizó el siguiente procedimiento para la aplicación del lavado con jabón a los suelos contaminados con hidrocarburos.

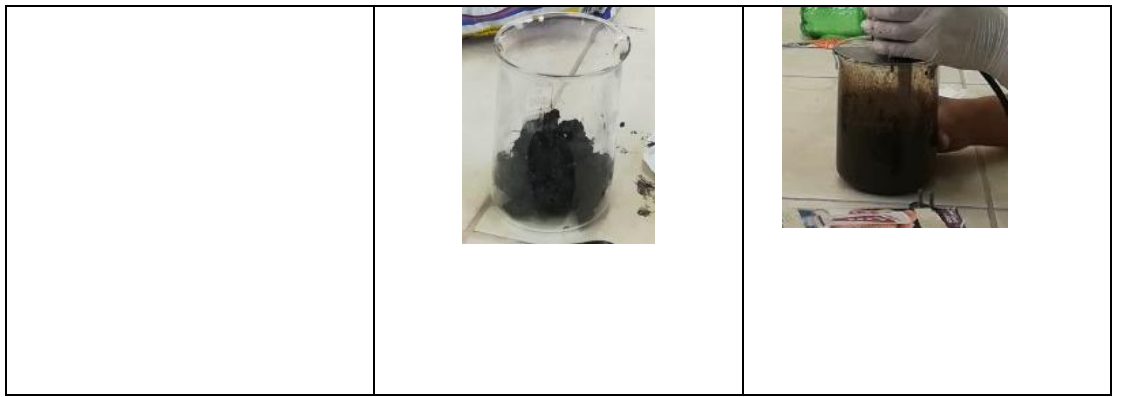
3. Se realizó una medición de porcentaje de componentes (agua, hidrocarburo y fase sólida), con la ayuda de una retorta de destilación de la marca Ofite de 10 cc (ver resultados en Tabla 5).
4. Se preparó una muestra de jabón-en laboratorio, mediante proceso de saponificación, empleando aceite vegetal de cocina usado.

El proceso de saponificación fue de la siguiente manera: 400 ml de aceite vegetal usado, 180 gr de hidróxido de sodio, 400 ml de agua destilada, las cuales se agitaron por un lapso de 30 minutos y se dejó reposar hasta enfriar.

Los 200 gr de muestra de suelo contaminado fue mezclado con agua 100 ml de agua destilada y 100 ml del jabón fabricado en el laboratorio por un lapso de 15 minutos y se dejó reposar por un lapso de 2 horas para la espera de resultados finales.

Tabla 5. Resultados ensayo experimental 2.

Variables de medida	INICIAL	FINAL
Análisis inicial de % de contenido en retorta de 10cc.	Agua = 65% Hidrocarburo = 25% Suelo = 10%	Agua = 70% Hidrocarburo = 22% Suelo = 8%
Visual	Muestra de suelo contaminado con hidrocarburo – inicial. Color negro, aroma particular a hidrocarburos.	Los elementos no se logran separar, se ha formado una masa pastosa, con cambio de coloración del producto final y aroma graso.



Como se aprecia en las fotografías, no se logran separar las fases del agua, hidrocarburo y suelos con las concentraciones realizada de manera directa, se aprecia cambio en la coloración de muestra y en textura y olor. Al efectuar la medición en la retorta destiladora, arroja resultados distintos a la inicial, esto es debido al incremento del volumen de agua y jabón al momento de mezclar la muestra de suelo contaminado.

DISCUSIÓN

Si bien es cierto los principios físicos y químicos empleados en esta investigación solo muestran resultados visuales en el cambio de la apariencia de en referencia a la muestra inicial, pero no muestran una separación definitiva de las fases como se esperaba. Hubo cambios químicos en las muestras de suelo contaminado como se mostró en la tabla 5.

Conclusiones

- Las características de los suelos recolectados impactados con hidrocarburos de la Amazonía peruana, presentan un gran contenido de material vegetal como raíces, musgo y otros elementos, que dificultan una limpieza adecuada, ya que se adhieren con más resistencia a los hidrocarburos líquidos.
- La elección del método físico-químicos empleados en la investigación plantea la profundización del método, ya que se han

encontrado resultados de cambio ligeros pero no de acuerdo a lo que enmarca un suelo no contaminado para la legislación peruana vigente.

Recomendaciones

- Encontrar nuevas tecnologías de remediación de suelos contaminados demanda que la investigación se profundice con controles de parámetros con más detalles.

Referencias Bibliográficas

- Benavides, L. J., Quintero, G, Guevara, V. A., Jaimes, D. C. (2010) *Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo*. Colombia.: Nova.
- Buendía, H (2012) *Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante el compost de aserrín y estiércol*. Lima: Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM Vol. 15, N.º 30
- Eweis, J. B., S.J. Ergas, D.P. Chang y E.D. Schroeder (1998) *Bioremediation Principles*. San Diego: McGraw-Hill International
- Macías, F. 1996, *Los suelos de mina: Su recuperación*. San Diego: McGraw-Hill International
- Ministerio del Ambiente (2014) *Guía para el muestreo de suelos*. Ministerio del Ambiente, Perú
- Mulligan, C. (2001). *An overview of in situ bioremediation processes. Proceedings of the 29th Annual Conference of the Canadian Society for Civil Engineering*. Montreal, PQ: Canadian Society of Civil Engineering.
- Porta, J., López-Acevedo, M. y Roquero, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. 3ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- Regla, I. Edna Vázquez Vélez, Diego Humberto Cuervo Amaya y Adrian Cristóbal Neri (2014). *La química del jabón y algunas aplicaciones*. Revista Digital Universitaria UNAM -ISSN: 1607 – 6079.
- Regla, I., Vázquez, E. Vélez, D. *jabón y algunas aplicaciones*. Revista Digital Universitaria UNAM -ISSN: 1607 - 6079 |
- Tejada, M., García, C., González, J. L., and Hernández, M. T. 2006. *Use of organic amendment as a strategy for saline soil remediation: Influence on the physical, chemical and biological properties of soil*. Soil Biology and Biochemistry

ANEXOS

Anexo N° 1

Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo

Parámetros en mg/kg PS ⁽²⁾	Usos del Suelo ⁽¹⁾			Métodos de ensayo ^{(7) y (8)}
	Suelo Agrícola ⁽³⁾	Suelo Residencial/ Parques ⁽⁴⁾	Suelo Comercial ⁽⁵⁾ / Industrial/ Extractivo ⁽⁶⁾	
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos aromáticos volátiles				
Benceno	0,03	0,03	0,03	EPA 8260 ⁽⁹⁾ EPA 8021
Tolueno	0,37	0,37	0,37	EPA 8260 EPA 8021
Etilbenceno	0,082	0,082	0,082	EPA 8260 EPA 8021
Xilenos ⁽¹⁰⁾	11	11	11	EPA 8260 EPA 8021
Hidrocarburos poliaromáticos				
Naftaleno	0,1	0,6	22	EPA 8260 EPA 8021 EPA 8270
Benzo(a) pireno	0,1	0,7	0,7	EPA 8270
Hidrocarburos de Petróleo				
Fracción de hidrocarburos F1 ⁽¹¹⁾ (C6-C10)	200	200	500	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F2 ⁽¹²⁾ (>C10-C28)	1200	1200	5000	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F3 ⁽¹³⁾ (>C28-C40)	3000	3000	6000	EPA 8015
Compuestos Organoclorados				
Bifenilos policlorados - PCB ⁽¹⁴⁾	0,5	1,3	33	EPA 8082 EPA 8270
Tetracloroetileno	0,1	0,2	0,5	EPA 8260
Tricloroetileno	0,01	0,01	0,01	EPA 8260
INORGÁNICOS				
Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051
Bario total ⁽¹⁵⁾	750	500	2 000	EPA 3050 EPA 3051
Cadmio	1,4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
Cromo total	**	400	1 000	EPA 3050 EPA 3051
Cromo VI	0,4	0,4	1,4	EPA 3060/ EPA 7199 ó DIN EN 15192 ⁽¹⁶⁾
Mercurio	6,6	6,6	24	EPA 7471 EPA 6020 ó 200.8
Plomo	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051
Cianuro Libre	0,9	0,9	8	EPA 9013 SEMWW-AWWA-WEF 4500 CN F o ASTM D7237 y/ó ISO 17690:2015

Fuente: Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM

