

Caracterización de suelos afectados por hidrocarburos en una zona agrícola del distrito Imaza, región Amazonas

Characterization of soils affected by hydrocarbons in an agricultural area of the Imaza district, Amazon region

José Luis Mego Meléndez¹

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar el contenido de Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP) y de los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) en suelos agrícolas afectados por derrame de hidrocarburos, las cuales en concentraciones altas pueden alterar los ecosistemas existentes y la salud humana. Ante esto se realizó un reconocimiento del área donde ocurrió el incidente, ubicado en la progresiva km 440 + 781 del Oleoducto Nor Peruano, perteneciente al caserío Villa Hermosa, la cual permitió tener una estimación inicial del área sobre el sitio donde ocurrieron los hechos y la superficie estimada, para decidir la delimitación y la toma de muestras de suelos, se realizaron en diferentes puntos (10 muestras por sector) y diferentes profundidades (0.30 m y 1.50 m) del perfil del suelo en el área de estudio. Las muestras se recolectaron de acuerdo a la guía para muestreo de suelos. Encontramos que los suelos estudiados presentan concentraciones de HTP y COV por debajo de los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo.

Palabras clave: Hidrocarburos, Compuestos Orgánicos, suelo, contaminación

ABSTRACT

The purpose of this research was to determine the content of Total Petroleum Hydrocarbons (HTP) and Volatile Organic Compounds (VOCs) in chemical soils affected by the oil spill, which at high risk levels can alter ecosystems and Human health. Given this, a survey was made of the area where the incident took place, located in the progressive km 440 + 781 of the Nor Peruano Pipeline, belonging to the Villa Hermosa farmhouse, which will have an initial initial of the area on the site where the events occurred and The estimated surface, to decide the delimitation and the sampling of soils, are considered at different points (10 samples per sector) and different depths (0.30 m and 1.50 m) of the soil profile in the study area. Samples are collected according to the soil sampling guide. We found that the soils studied have the characteristics of HTP and VOC are below the values established in the Environmental Quality Standards (ECA) for the soil.

Keywords: Hydrocarbons, organic compounds, soil, pollution

¹Bachiller en Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Correo electrónico: melendez.mego@gmail.com

I. INTRODUCCIÓN

Los conflictos ambientales principalmente son por la contaminación de suelos, que son generados por actividades industriales, y ocasionada por sustancias que, dependiendo de su estructura química, reactividad y cantidad, descomponen las características de los suelos y afectan sus funciones elementales como productividad, medio de saneamiento, retención del agua, mantenimiento de la cubierta vegetal y control del clima (Hernández *et al.*, 2008).

El petróleo crudo, combustóleo, gasóleo, gasolina, diésel, turbosina y aceites lubricantes son los hidrocarburos principales que han sido históricamente una de las principales causas de contaminación. Estas sustancias no solamente pueden afectar el suelo sino también a los cuerpos celestes, pues una vez que se han esparcido, algunos de ellos se acumulan en los poros y en la fracción orgánica, pero otros como el diésel y la gasolina, pueden trasladar y concentrar en los cuerpos superficiales de agua (Profepa, 1999).

En el mundo la contaminación por hidrocarburos está ampliamente distribuida. La industria petroquímica y petrolera son el eje más importante en la producción de hidrocarburos y procedentes destinados a satisfacer nuestros requerimientos energéticos de combustibles y productos lubricantes para la industria y el transporte (Ponce, 2014). La explotación y el traslado son dos operaciones de los hidrocarburos provocan efectos adversos al hombre y al ambiente, de forma directa o indirecta y que deterioran gradualmente el ambiente (Bocanegra *et al.* 2013).

Las fuentes de contaminación por petróleo son diversas, algunas de ellas ocurren debido a accidentes, cuando las personas cometen errores, o cuando los equipos se descomponen; y a desastres naturales (ITOPF, 1997).

La Procuraduría Federal de Protección al Ambiente de México (PROFEPA, 2000), informa que la contaminación de suelos es un serio problema ambiental en la actualidad, puede ocurrir de diferentes maneras, pero en gran parte es en operaciones industriales tal como derrames accidentales, fugas de materiales, disposición de residuos, descargas de efluentes y emisiones

fugitivas. Las sustancias principalmente involucradas en contaminación son los combustibles (petróleo crudo, combustóleo, diésel, gasolina, gas natural y gas L.P.), amoniaco, ácido sulfúrico, asfalto, ácido clorhídrico, cloro, mezclas de solventes y aceites gastados.

En el Perú la industria del petróleo, comenzó cuatro años más tarde de la perforación de la primera perforación en el mundo, que fue elaborada por el Coronel Drake en Pensilvania, en el año 1859. En Perú, el primer pozo petrolero se estableció en Zorritos (1863). Este pozo marcó la apertura de los descubrimientos de hidrocarburo en el subsuelo del noroeste del Perú, que hasta el 2014 alcanzó una cifra cercana a los 2 mil millones de barriles. En la selva, los trabajos de exploración petrolera se iniciaron en el año 1920, y en la costa en el año 1961, con las revelaciones de petróleo frente a las costas de Talara, que al año 2011 alcanzaron los 500 millones de barriles (Ego Aguirre y Orihuela, 2014).

Desde el año 2003 existe un acrecentamiento de reservas probadas y probables de petróleo crudo como de hidrocarburos líquidos. A pesar de una historia de muchos años de producción de petróleo, no se evidencia el agotamiento del recurso. El acrecentamiento de la actividad petrolera de los últimos años, motivados por los buenos precios del petróleo en el mercado, ha permitido revertir la tendencia negativa tanto en producción como en reservas. A pesar del incremento en la producción de petróleo en el Perú, éste resulta escaso para compensar la demanda interna, por lo que se hace necesaria la importación de crudo (OSINERGMIN, 2005).

La principal fuente de contaminación por hidrocarburos en el Perú es el oleoducto Norperuano de la compañía Petroperú. Desde 1977 hasta el 2016, su tubería ha sufrido 61 rompimientos y consecuentes derrames de hidrocarburo. Petroperú no cuenta con un Estudio de Impacto Ambiental (EIA), pero se trata con un Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA) que establece su compromiso de adoptar medidas de mantenimiento integral de las tuberías del Oleoducto Norperuano para evitar impactos negativos en el medio ambiente (Salazar, 2016). En ese contexto, en el departamento de Amazonas las emergencias por derrames de petróleo del Oleoducto Norperuano han venido ocurriendo desde el año 2011, Tabla 1 (ARA, 2016).

Tabla 1

Derrames de petróleo en el departamento de Amazonas.

| Fecha | Descripción | Provincia - Distrito |
|------------|--|------------------------|
| 03/04/2011 | Derrame ocurrido en la estación N°7 progresiva km 513 + 500 - tramo II | Utcubamba – El Milagro |
| 04/09/2012 | Derrame ocurrido en el km 397+300- tramo II | Condorcanqui – Nieva |
| 21/09/2013 | Derrame ocurrido en el km 504+400 tramo-II | Bagua – Bagua |
| 19/02/2015 | Progresiva km 504 + 086 tramo II | Bagua – La Peca |
| 06/11/2015 | Km 516+408 tramo II | Utcubamba – El Milagro |
| 25/01/2016 | km 440+781 tramo II | Bagua - Imaza |

Fuente: Autoridad Regional Ambiental, 2016.

En tal sentido, el OEFA (2016) ha identificado 6 derrames de hidrocarburos que se dieron en el oleoducto Norperuano de Petroperú, en lo que corresponde el departamento de Amazonas. El último derrame de petróleo aconteció el 25 enero del año 2016 a la altura del kilómetro 440 + 781, vertiéndose aproximadamente 2 mil barriles de hidrocarburo. Las áreas afectadas fueron campos de cultivo agrícola, canales de irrigación y quebradas; que afectaron la flora y fauna por las altas concentraciones químicas que presentan los hidrocarburos. Por tal motivo, esta investigación se realizó para documentar información sobre las superficies contaminadas en el caserío Villa Hermosa del Distrito de Imaza, y constatar si en la zona de estudio aún se encuentran restos de Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP) y de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) con valores sobre los estándares de calidad ambiental (ECA).

II. MATERIAL Y MÉTODO

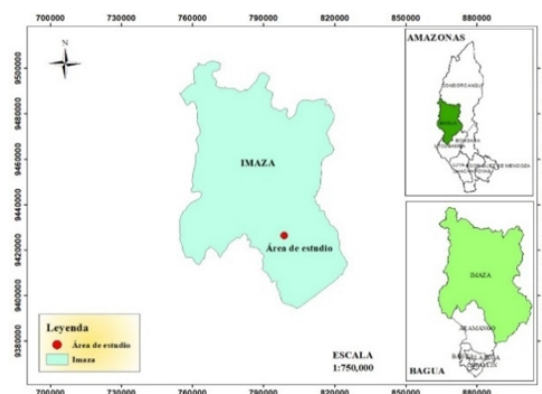
Ubicación de la zona de estudio

Esta investigación se realizó en el Caserío Villa Hermosa, Distrito de Imaza, Provincia de Bagua, Departamento de Amazonas. Por esta localidad pasa el Oleoducto Norperuano, que transporta petróleo crudo desde la selva peruana Iquitos hasta el terminal de Bayóvar en la ciudad de Piura, en la costa norte del Perú. La zona de estudio se encuentra ubicado en el margen izquierdo de la quebrada Inayo (Figura 1), afluente del río Chiriaco. Geográficamente se localiza en la zona 17 M, entre las coordenadas UTM 798597 Este, y 9426431 Norte, en el lugar de estudio hay vida para bosque muy húmedo Pre montano Tropical. El clima se identifica por presentar una

temperatura media anual de 24.9 °C, y precipitaciones de hasta 2 690.9 mm/año. Además, el paisaje presenta una geomorfología de montañas altas calcáreas mesozoicas con colinas por encima de los 1 000 m de altitud, relieves de laderas reservadamente empinadas y alargadas con cumbres algo moderadas y caprichosas (Gobierno Regional Amazonas & Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana, 2010).

Figura 1

Mapa de ubicación del área de estudio.



El 25 de enero de 2016, en el Km 440+781 del Tramo II del Oleoducto Norperuano (zona de estudio), ocurrió una falla del tubo de 36” de diámetro, que transportaba el petróleo, produciendo una fuga. Éste discurrió e impregnó en el suelo, en las plantas de cacao, plátanos, y vegetación propia de la zona. Este derrame también afectó áreas aledañas como el cauce y la franja marginal de la quebrada La Villa (Para fines de esta investigación se le denominará La Villa), quebrada Inayo y el río Chiriaco (OEFA, 2016b). Las áreas afectadas por el derrame de petróleo crudo (suelo, vegetación y agua superficial) fueron limpiadas y remediadas por Petroperú desde que ocurrió la emergencia ambiental (OEFA, 2016c).

Metodología

La caracterización de un suelo contaminado consiste en determinar el nivel de concentración de hidrocarburos en el suelo, la profundidad hasta la que se encuentra el contaminante, la extensión superficial que abarca la afectación, entre otros parámetros como pH (potencial de Hidrógeno), textura, conductividad eléctrica y metales pesados. No obstante, es crucial el diseño de muestreo, el procedimiento para tomar las muestras y la calidad de los resultados, este último es garantizado por el laboratorio (Santos, 2007).

El muestreo se realizó en el sitio afectado por el derrame de petróleo el año 2016, utilizando como herramienta de perforación una pala recta. Fue posible tomar muestras a diferentes profundidades y

con ello realizar una aproximación del volumen del suelo afectado.

Delimitación del área de estudio

Para realizar el diseño de muestreo, primero se delimitó el área afectada, con base a una inspección visual. También, se analizó información secundaria (registros, tesis, planos, imágenes). La ubicación de los puntos de muestreo y la determinación de la profundidad de las muestras se hizo considerando los siguientes aspectos:

- a. Objetivos del trabajo de investigación
- b. Cuando se trata de contaminación en los suelos y principalmente son ocasionados por hidrocarburos, solo se considera las concentraciones de HTP y COV además si la meta es estudiar solo el área contaminada (Figura 2) (Iturbe, 1998).

Figura 2

Vista panorámica del área en estudio



Muestreo

Para poder cumplir con las indicaciones del acápite anterior, se realizó un muestreo para muestras superficiales (HTP) y un muestreo para muestras a profundidad (COV). La razón de utilizar estas dos técnicas de muestreo fue porque el recojo de muestras superficiales no es aplicable para la determinación de sustancias o compuestos orgánicos volátiles (COV) (MINAM, 2014).

a. Toma de muestras superficiales
Usos del suelo
Profundidad del muestreo (capas)
 Suelo agrícola
 00 - 30 cm

30 - 60 cm
 Las muestras superficiales se toman hasta una profundidad de aproximadamente un metro, y en este tipo de muestras está permitido y recomendable tomar muestras combinadas. La toma de muestras superficiales no es aplicable para determinación de COV. Para la toma de estas muestras se tuvo en cuenta el grosor de las capas con relación al uso del suelo (MINAM, 2014). La profundidad empleada se

muestra en la tabla 2:

Tabla 2

Profundidad de muestreo según el tipo de uso del suelo.

| Usos del suelo | Profundidad del muestreo (capas) |
|----------------|----------------------------------|
| Suelo agrícola | 00 - 30 cm |
| | 30 - 60 cm |

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente – 2014

a.1. Número mínimo de puntos de muestreo

El número mínimo de muestras (compuestas) se desprendió del área de estudio (2.14 hectáreas). Sin embargo, como el objetivo de la investigación fue detectar la presencia de contaminantes en el suelo a través de muestras representativas, con la finalidad de establecer e indicar si el suelo sobrepasa o no los Estándares de Calidad Ambiental de acuerdo a lo establecido en el D.S. N° 011-2017-MINAM, se realizó un muestreo de identificación donde la representación mínimo de puntos de muestreo se determinó según el área de estudio, así como lo establece la guía para el muestreo de suelos del MINAM (2014). El número mínimo de puntos de muestreo según la guía para el muestreo se presenta en la Tabla 3. El número de sub-muestras tomadas fueron 40, diez (10) sub-muestras individuales fueron unidas en una (1) muestra compuesta, llegando a tener cuatro (4) muestras compuestas de HTP, considerando que dos sectores fueron unidos para la toma de muestras (sector 2 y sector 3). La capa de suelo agrícola analizada fue 0 – 30 cm (Figura 7). Es importante resaltar que nuestro número de sub-muestra en total fueron superiores al número total de puntos de muestreos establecidos por la guía para el muestreo de suelos del MINAM (2014).

Figura 3

Calicata para la toma de muestra superficial



a. Toma de muestras en profundidad

Para la toma de muestras en profundidad de los Compuestos Orgánicos Volátiles, se tuvo en cuenta las razones propuestas por el MINAM (2014), que consiste en los siguientes pasos:

1. A partir de 1 m de profundidad es aplicable para COV.
2. Las muestras de suelo contaminado siempre serán simples, se colecta en un solo punto de muestreo.
3. Evitar el uso de recipientes para la muestra, que ocasionan la pérdida de hidrocarburos volátiles.
4. Se realizará la toma de una muestra particular de una parte no contaminada del área de estudio, como referencia de área no afectada y para comparar con el área contaminada.

Las muestras de suelos colectadas para el análisis de sustancias o Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), fueron 5 muestras simples, colectadas en un solo punto de muestreo, es decir una sola muestra.

b.1. Número mínimo de puntos de muestreo

El número mínimo de puntos de muestreo se determinó en función a la superficie potencial de interés dentro del predio en estudio, como lo indica la guía para el muestreo de suelos del MINAM (2014). Abarca el número total de los puntos de muestreo, tanto superficial (área de toma de muestras compuestas) como de profundidad. Se hizo la colecta de muestras simples (5 muestras) de acuerdo a los esfuerzos del área.

Evaluación de las características físicas y químicas del suelo afectado

Esta investigación, se analizaron también las características del suelo, se realizó previamente a los análisis de los hidrocarburos, determinando con ello sus características fisicoquímicas, con la finalidad de conocer las características del suelo que permitieran realizar una aproximación de la viabilidad del proceso de atenuación natural y definir algunas características de los suelos afectados.

Criterios de evaluación de suelo afectado por hidrocarburos

Se tomaron como referencia los Estándares de Calidad Ambiental de hidrocarburos para suelo de uso agrícola (MINAM, 2017), y se consideró aplicable el valor señalado para fracción ligera de hidrocarburo – F1 (moléculas entre 6 y 10 átomos de carbono). No se definieron niveles de contaminación en los suelos, debido a la concentración de hidrocarburos encontrados. En el proyecto se contemplaba este criterio para poder establecer prioridades en la remediación de los sitios.

Estimación del volumen de suelo afectado por hidrocarburos

Con base en los resultados obtenidos del muestreo y en las observaciones realizadas en el área, se delimitaron las áreas afectadas por los hidrocarburos. Posteriormente se realizó una estimación del volumen de suelo afectado.

Para el cálculo de este volumen, en principio se establecieron los límites de la afectación en cada sitio con base en las concentraciones de Hidrocarburos Totales del Petróleo. Esto se realizó a las dos profundidades de muestreo, tanto para muestras superficiales (0 – 30 cm) como para muestras en profundidad (1.00 – 1.50 m). Seguidamente se ponderó un espesor con base a la profundidad a la que se tomaron las muestras. Como parte de esta investigación, se estimó el volumen de suelo afectado por el derrame de petróleo, estimando comparativamente HTP y COV. Finalmente, el volumen se obtuvo multiplicando la superficie de afectación por el espesor asignado.

$$V = S \times E$$

V: Volumen de suelo contaminado (m³)

S: Superficie de afectación (m²)

E: Espesor asignado (m)

III. RESULTADOS

Tabla 3

Concentración de Hidrocarburo Totales de Petróleo -HTP (mg/kg) en los puntos de muestreo.

| Sector/ Código muestra | Profundidad metros | Concentración de HTP mg/kg | ECA – de suelos agrícolas mg/kg |
|------------------------------|-----------------------|----------------------------------|--|
| Sector 1/A1 | 0.30 | <1.79 | 200 |
| Sector 2/A2 | 0.30 | <1.79 | 200 |
| Sector 3/A3 | 0.30 | <1.79 | 200 |
| Sector 4/A4 | 0.30 | <1.79 | 200 |

La tabla 3, muestra las concentraciones de HTP en los cuatro sectores muestreados, es menor a 1.79 mg/kg debido a que es el límite de cuantificación del método empleado (EPA 8015 C, Rev. 3) encontrándose por debajo de 200 mg/kg que refiere de los Estándares de Calidad Ambiental de Suelos agrícolas.

Tabla 4

Concentración de Compuestos Orgánicos Volátiles - COV (mg/kg) en los puntos de muestreo.

| Sector / Código muestra | Profundidad Metros | Concentración de COV mg/kg | |
|-------------------------|--------------------|----------------------------|-------------------|
| | | Tricloroetileno | Tetracloroetileno |
| Sector 1/B1 | 1.50 | <0.005 | <0.01 |
| Sector 2/B2 | 1.50 | <0.005 | <0.01 |
| Sector 3/B3 | 1.50 | <0.005 | <0.01 |
| Sector 4/B4 | 1.50 | <0.005 | <0.01 |
| Sector 5/B5 | 1.50 | <0.005 | <0.01 |

La tabla 3, presenta las concentraciones de tricloroetileno y tetracloroetileno obtenidas del muestreo a profundidad y expresan niveles mínimos de detección del método (LMD) EPA Method 8260C, Rev. 3.

Tabla 5

Volumen de suelo afectado por hidrocarburos.

| | Profundidad de la muestra (cm) | Espesor considerado (m) | Superficie en plano (m ²) | Volumen estimado de suelo (m ³) |
|-----|--------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|---|
| HTP | 0-30 | 0.30 | 21 400 | 6 420 |
| COV | 0-150 | 1.50 | 21 | 3200 |

De la tabla 5 se puede decir que, a través de una simulación debido a que no se encontró restos de contaminante, se obtuvo un volumen de suelo afectado, para HTP 6 420 m³ y para COV de 32 100 m³ (Tabla 5).

Tabla 6

Valores de pH y Conductividad eléctrica del suelo en estudio.

| Análisis de caracterización | Sector/Código de muestra | | | | |
|-----------------------------|--------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | Sector 1/M1 | Sector 2/M2 | Sector 3/M3 | Sector 4/M4 | Sector 5/M5 |
| pH | 4.05 | 3.98 | 4.37 | 4.38 | 4.2 |
| C.E. | 0.09 | 0.23 | 0.46 | 0.03 | 0.08 |

De la tabla 6, muestra que después del análisis de laboratorio se consiguieron los valores que se revelan en la tabla para pH y conductividad eléctrica del suelo en estudio.

Tabla 7

Características texturales del suelo en estudio.

| Análisis de caracterización | Sector/ Código de muestra | | | | |
|-----------------------------|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | Sector 1/M1 | Sector 2/M2 | Sector 3/M3 | Sector 4/M4 | Sector 5/M5 |
| Arena (%) | 54 | 58 | 52 | 48 | 46 |
| Limo (%) | 24 | 10 | 10 | 14 | 10 |
| Arcilla (%) | 22 | 32 | 38 | 38 | 44 |
| Clase textural * | Fr.Ar.A. | Fr.Ar.A. | Ar.A. | Ar.A. | Ar.A. |

Fr.Ar.A. = Franco arcillo arenoso

Ar.A. = Arcillo arenoso

De la tabla 7 se puede deducir que, entre las características texturales, las muestras presentan una mayor proporción de arenas y arcillas que de limo.

IV. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en laboratorio fueron contrastados con los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo, según los usos del suelo allí mencionados (MINAM, 2017): suelo agrícola, residencial y comercial; considerando para su comparación “suelo agrícola” porque en el área estudiada se cultiva productos como el cacao, pastos y forrajes. A diferencia de los otros dos usos, que son suelos ocupados por poblaciones (suelo residencial) u ocupados por operaciones comerciales y de servicios (suelo comercial). La normativa nos menciona que el valor límite de hidrocarburos de petróleo de Fracción F1 o fracción ligera es 200 mg/kg.; 1200 mg/kg., para Hidrocarburos de petróleo F2 o de Fracción Media y 3000 mg/kg., para Hidrocarburos de petróleo F3 o de Fracción Pesada. Resultados muestran concentraciones de hidrocarburos de petróleo inferiores al valor límite mínimo para fracción ligera (MINAM, 2017).

Estos valores encontrados pueden deberse a que topográficamente la zona de estudio presenta desniveles, los escurrimientos del agua pluvial junto con los contaminantes pudieron haberse desplazado hacia los puntos más bajos.

Diferentes autores reportan en sus investigaciones valores de hidrocarburos de petróleo por encima de los establecidos en los ECA para suelo, entre ellos Santos (2007) en su tesis de maestría (México) y en la OEFA (2016) en su informe N° 287-2016-OEFA/DE-SDCA (Perú). Los valores preliminares de hidrocarburos de petróleo en las muestras de suelos reportaron valores <1.79 indicando que el área de estudio no representa un riesgo a la salud humana (contacto directo) o para la fauna y flora

(MINAM, 2014).

Por tanto, podemos indicar, que no existe nivel de afectación del área, y afirmar que el sitio afectado ha tenido cierto grado de rehabilitación y esto pudo deberse a la remediación natural que siempre está presente en la naturaleza.

Así mismo es importante indicar que las concentraciones de hidrocarburos encontradas <1.79 no se encuentran en el intervalo de la literatura recomendada para la aplicación de una técnica de remediación de suelos (EPA 510-B-94-003; EPA 510-B-95-007).

Los resultados de los Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) para las cinco muestras analizadas. También se concurrió a cotejar con los valores establecido en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos (MINAM, 2017). Analizando los resultados conseguidos y comparando con los niveles de referencia del Perú se puede apreciar que ambos parámetros analizados se encuentran por debajo de los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental.

Dado que, en un principio, el sitio reflejaba un área potencialmente contaminada, y para eliminar la certeza de la existencia de una distribución espacial en profundidad de los HTP, se realizó un muestreo avanzando en profundidad, de otra forma no se podría documentar y aclarar que el área de estudio no significa un peligro a la salud humana (contacto directo) o para flora o fauna. Los resultados encontrados probablemente se deban al grado de atenuación natural que siempre está presente en la naturaleza (Corona, 2004).

Mediante la determinación del contenido de hidrocarburos y análisis de los valores encontrados, no existe contaminación en el km 440 + 781 del tramo II del oleoducto Norperuano, lugar donde aconteció la abertura de la tubería, el 25 de enero del año 2016. En ese contexto no se estimó el volumen de suelo afectado.

El suelo presenta un potencial de Hidrogeno (pH) fuertemente ácido (3.98 – 4.38) esto indica un parámetro desfavorable en los procesos de degradación, en el caso se hubiera encontrado concentraciones por encima de los niveles de referencias. Los valores de conductividad eléctrica (CE) se encuentran entre 0.03 - 0.46 dS/m, indicando suelos NO SALINOS 0-2 (dS/m) (Flores, 1991); interpretándose como suelos, cuya presencia de sales no es dañino para el suelo y cultivos (Badia, 1992), por lo cual estos valores no son limitantes para el funcionamiento de los microorganismos (Santos, 2007).

Los valores de Carbono Orgánico en un suelo indican el alto o bajo porcentaje de materia orgánica que tiene el suelo, los valores se encuentran entre 0.8 –

1.6 % indicando BAJO contenido de Carbono (1.2-2.9 %) (Fassbender y Bornemisza, 1987), por ende, BAJO porcentaje de materia orgánica. De acuerdo a la concentración de nutrientes, Fosforo (P), Potasio (K), Nitrógeno (N), Materia Orgánica (M.O.) es un suelo con concentración bajo en fosforo y pobre en nitrógeno total. El análisis mecánico realizado a las muestras de suelo para determinar la cantidad de las partículas presentes (arcillas, limos y arenas) se aprecia presencia de suelos Franco arcillosos arenosos y suelos Arcillosos arenosos, que nos indican suelos con moderada permeabilidad, teniendo cierta desventaja para el paso del agua, oxígeno y nutrimentos necesarios en el suelo (Narro, 1994). Además, nos indican suelos donde predomina arcilla y arena. No obstante, estos valores de arcilla y arena indican mayor capacidad de intercambio de cationes (Aguilera, 1989; Bolt y Bruggenwert, 1976).

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) permite conocer la cantidad de cargas negativas presentes en las superficies de los minerales y elementos orgánicos del suelo (arcilla o materia orgánica) y simboliza cantidades de cationes que estas superficies pueden inmovilizar. En este estudio los valores de Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) conseguidos se encuentran entre 9.6 – 14.4; valores que según Intagri (2015) están entre 5-15 (valores medios) interpretándose como mediana habilidad del suelo para retener nutrientes. El porcentaje (%) de Materia Orgánica (M.O) se encuentra entre los valores de 1.3-2.8 %, estos valores según Fassbender y Bornemisza (1987) son interpretados como BAJO en materia orgánica. Según Porta *et al.*, (1994) los primordiales cationes intercambiables en suelos agrícolas son Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , Na^+ . En esta investigación los cationes intercambiables antes mencionados fueron analizados, encontrándose un porcentaje de saturación de bases de 22 %, indicando este valor, un suelo infértil (dístico) (Perez, 2006)

Aproximadamente la mitad del volumen de un suelo es espacio poroso. El tamaño, número, forma, continuidad y distribución de los poros determinan en gran medida la retención y movimiento del aire y agua en el suelo (Hodson, 1987). En este estudio se encuentra suelos con porcentaje alto de arena, en el rango de 46-58 %, teniendo una permeabilidad muy buena, por lo cual se puede concluir que los contaminantes fueron erosionados a las partes de menor pendiente, considerando el desnivel de la zona de estudio.

V. CONCLUSIONES

Las concentraciones de hidrocarburos totales del petróleo (HTP) encontradas (<1.79 mg/kg), fueron inferiores a los ECA para suelos establecidos en el D.S. N° 011-2017 MINAM.

Las concentraciones de compuestos orgánicos volátiles (COVs) encontrados (tricloroetileno: <0,005 y tetracloroetileno: <0,001), fueron inferiores a los ECA para suelo establecidos en el D.S. N° 011-2017 MINAM (0.1 mg/kg tetracloroetileno y 0.01 mg/kg tricloroetileno).

Los resultados documentados no dan lugar a un muestreo más avanzado, porque el muestreo realizado para la caracterización fue de carácter "Muestreo de detalle" (MINAM, 2014) y como resultado de la información generada se establece no continuar con los procesos de gestión del suelo afectado (Estimación de Riesgos a la Salud y al Ambiente) o propuesta de remediación.

La caracterización física y química es fundamental para conocer la viabilidad de un proceso de remediación; los análisis indican suelos ácidos y normales en salinidad, moderada permeabilidad y alto porcentaje de materia orgánica., suelos bajos en nutrientes.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Autoridad Regional Ambiental – ARA. 2016. *Informe N° -2016-GR Amazonas/ARA-AMA ZONAS/DEGA-MJRR*.
- Bocanegra, J; Cadavid, S; Cifuentes, C; Giraldo, J y Varón, J. 2013. *Plan prospectivo para minimizar el impacto ambiental que producen los hidrocarburos (petróleo) en Colombia al año 2016. (Para optar al título de Administradores de Empresas)*. Colombia: UNAD.
- Ego Aguirre, M. M. y Orihuela, C.E. (2014). *Situación de la industria del petróleo en el Perú*, periodo 1996-2010. *Natura@economía*. Vol. 2, N° 1, 40 p.
- EPA 510-B-94-003 and EPA 510-B-95-007. *How to evaluate alternative cleanup technologies for underground storage tank sites: A guide for corrective action plan reviewers*. Chapter V. EPA-OUST underground storage tanks. <http://www.epa.gov/swerust1/pubs/tums.html>
- Gobierno Regional Amazonas & Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. (2010). *Zonificación Ecológica y Económica de Amazonas*. Chachapoyas.
- Hodson, J. M. (1987) *Muestreo y descripción de suelos*, editorial Reverté, S.A. pp. 108- 114. México.
- Iturbe, A.R, Castro, R.A. & Madrigal, M. I. (1998). *Técnicas de rehabilitación de suelos y acuíferos*. Series del Instituto de Ingeniería 612. ISSN 0185-2345.
- Ministerio del Ambiente - MINAM. (2017). *Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo*. D.S. N° 011-2017-MINAM. Lima.
- Ministerio del Ambiente - MINAM. (2014). *Guía para Muestreo de Suelos - D.S. N° 002-2013-MINAM, ECA para Suelo*. Lima.
- Narro, E, 1994. *Física de suelos con enfoque agrícola*. Editorial Trillas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA. (2016). *R.D. N° 012-2016-OEFA/DS*. Lima: Dirección de Supervisión OEFA.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA. (2016). *Informe del monitoreo ambiental con participación ciudadana de calidad de agua, sedimento, suelo e hidrobiología, realizado del 23 al 31 de octubre de 2016, en las zonas y cuerpos de agua afectados por el derrame de petróleo ocurrido a la altura del kilómetro 206+31 del Oleoducto Norperuano, ubicado en el distrito de Morona, provincia de Datem del Marañón, departamento de Loreto*. Informe N° 287-2016-OEFA/DE-SDCA
- OSINERGMIN, 2005, *La Organización Económica de la Industria de Hidrocarburos en el Perú: el Segmento Upstream del Sector Petrolero*, Oficina de Estudios Económicos, Documento de Trabajo 8, enero 2005, 188p.
- Ponce, D. S. 2014. *Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos*. Concepción - Chile.
- Profepa, 1999. *Manual Técnico para la Atención de Emergencias Ambientales*. Dirección General de Emergencias Ambientales, Subprocuraduría de Auditoría Ambiental, Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. México.
- Profepa, 2000. *Disposiciones y Procedimientos para la caracterización y restauración de suelos contaminados*. Versión electrónica en Disco Compacto. Dirección General de Emergencias Ambientales, Subprocuraduría de Auditoría Ambiental. Procuraduría Federal

de Protección al Medio Ambiente.

Santos J, JE. (2007). *Caracterización de suelos contaminados con hidrocarburos en una empresa minera y desarrollo de un método biológico para su remediación* (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México, ciudad de México.

Salazar, J. (2016). *Sociedad Peruana De Derecho Ambiental - Spda: Actualidad Ambiental*.

The International Tanker Owners Pollution Federation Limited, (1997). *Oil Spills From Tankers*. Data Base. Internet home page:// www.cutter.com/osir/biglist.htm

: