UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

EFECTO DEL HUMUS DE LOMBRIZ EN LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADO CON CRUDO DE PETRÓLEO. UCAYALI, PERÚ.

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO AMBIENTAL

PAOLA GABRIELA RODRIGUEZ BERNA

PUCALLPA – PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 72

En la sala de reuniones del auditórium de la Universidad nacional de Ucayali, a las 11:30 a.m, el día 28 de agosto de 2018, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador, nombrado con memo MULT-1388-2018-UNU-FCFyA-CGT conformado por los siguientes docentes:

Dr. Marco Antonio Chota Isuiza	**Presidente**
Dr. Carlos Panduro Carbajal	**Secretario**
Mg. Fermin Campos Solorzano	**Miembro**

Para evaluar la sustentación de la tesis: **"EFECTO DEL HUMUS DE LOMBRIZ EN LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON CRUDO DE PETROLEO, UCAYALI – PERÚ",** presentado por la Bachiller **PAOLA GABRIELA RODRIGUEZ BERNA.**

Terminada la sustentación se procedió a realizar las preguntas por parte del jurado evaluador, las cuales fueron absueltas por la sustentante. Por esta razón el jurado APROBÓ la Tesis por **UNANIMIDAD** con el calificativo de **MUY BUENO** declarando a la sustentante APTO para obtener el Título de Ingeniero Ambiental. El asesor de la tesis fue el Dr. Edgar Juan Díaz Zúñiga. Siendo las 12:10 p.m se dio por concluido el acto académico.

Dr. Marco Antonio Chota Isuiza
Presidente

Dr. Carlos Panduro Carbajal
Secretario

Mg. Fermín Campos Solórzano
Miembro

ACTA DE APROBACIÓN

Esta tesis fue sometida a consideración para su aprobación ante el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Dr. Marco Antonio Chota Isuiza _____

Presidente

Dr. Carlos Panduro Carbajal _____

Miembro

Mg. Fermín Campos Solórzano _____

Miembro

Dr. Edgar Juan Díaz Zúñiga _____

Asesor

Bach. Paola Gabriela Rodriguez Berna. _____

Tesista

REPOSITORIO DE TESIS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS

Yo, _____

Autor de la TESIS titulada:

_____

_____

_____

Sustentada el año: _____

Con la asesoría de: _____

En la Facultad: _____

Escuela Profesional de: _____

Autorizo la publicación de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali, bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali **licencia no exclusiva** para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas.

Tercero: Autorizo la publicación,

☐ **Total** (significa que todo el contenido de la tesis en PDF será compartido en el repositorio)

☐ **Parcial** (significa que solo la caratula, la dedicatoria y el resumen en PDF será compartido en el repositorio)

De mi TESIS de investigación en la página web del Repositorio Institucional de la UNU

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: ____ / ___/ _____

Email: _____ Firma: _____

Teléfono: _____ DNI: _____

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de investigación a la Amazonía Peruana afectada por derrames de hidrocarburos, para que esta investigación sirva de ayuda y solución frente a estos problemas que afecta al planeta.

AGRADECIMIENTO

- Agradezco a Dios por brindarme la salud necesaria para realizar mis metas.

- A la Universidad Nacional de Ucayali, institución que me brindo los conocimientos y valores durante el proceso de mi formación como profesional de ingeniería ambiental.

- Al Dr. Edgar Juan Diaz Zúñiga, por su constante apoyo, confianza, orientación y por el asesoramiento del proyecto de investigación.

- Agradezco al Ing. Rubén Palacios por su gran interés en el desarrollo de este proyecto y por su valioso asesoramiento.

- Agradezco a mi mamá Marisol Berna y a mi papá David Rodriguez, por su guía en el camino personal, el cual influye mucho en para lograr mis metas profesionales.

- Agradezco a mis familiares y amigos que me apoyaron en cada etapa del proyecto de investigación.

INDICE

ACTA DE SUSTENTACIÓN ii

ACTA DE APROBACIÓN iii

REPOSITORIO iv

DEDICATORIA v

AGRADECIMIENTO vi

INDICE vii

LISTA DE FIGURAS x

LISTA DE TABLAS xi

ICONOGRAFIA xii

LISTA DE SIGLAS xiii

RESUMEN xiv

ABSTRACT xv

INTRODUCCIÓN 1

CAPITULO I 3

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 3

1.1.1. formulación del problema. 3

1.1.1.1. Problema General 4

1.1.1.2. Problemas específicos 4

1.2. OBJETIVOS 4

1.2.1. Objetivo general 4

1.2.2. Objetivos específicos 4

1.3. HIPÓTESIS 5

1.3.1. Hipótesis general 5

1.4. VARIABLES 5

1.4.1. Variable Independiente 5

1.4.2. Variable dependiente 5

1.4.3. Variable interviniente 5

1.5. JUSTIFICACION E IMPORTANCIA 5

CAPITULO II 7

MARCO TEÓRICO 7
2.1. ANTECEDENTES 7
2.1.1. Internacional. 8
2.1.2. Nacional. 10
2.1.3. Regional. 11
2.2. BASES TEÓRICAS 12
2.2.1. CRUDO DE PETRÓLEO. 12
2.2.1.1. Impacto del crudo de petróleo en las plantas, en el suelo y agua. 12
2.2.1.2. El petróleo y sus características. 13
2.2.1.3. Composición del petróleo. 14
2.2.1.4. Clasificación del crudo según su gravedad api. 18
2.2.1.5. Petróleo en Perú 20
2.2.1.6. Comportamiento del petróleo en el ambiente. 23
2.2.2. EL SUELO. 25
2.2.2.1. Estructura del suelo. 25
2.2.2.2. Humedad del suelo. 27
2.2.2.3. Gases de un suelo. 28
2.2.3. LA BIORREMEDIACIÓN 29
2.2.3.1. Antecedentes históricos de la biorremediación. 29
2.2.3.2. Fundamentación bioquímica de la biodegradación. 30
2.2.3.3. Factores que condicionan la biorremediación de un suelo. 31
2.2.3.4. Alternativas de bioremediación. 33
2.2.3.5. Microorganismos en la biorremediación. 36
2.2.4. Humus de lombriz. 37
2.3 NORMATIVIDAD 38
2.3.1 Reglamento para la protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos. 39
2.3.2 Marco legal para la gestión de sitios contaminados. 40
CAPÍTULO III 42
METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN 42
3.1. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO 42
3.1.1. Ubicación Geográfica 42
3.2. METODO DE INVESTIGACION 43
3.2.1. Población y muestra 43
3.3 INSTRUMENTOS, MATERIALES, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS. 43
3.3.1. Materiales 43

3.3.2. Equipos 44
3.3.3. Herramientas 44
3.4 PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS. 44
3.4. PROCESAMIENTO DE DATOS RECOLECTADOS. 46
CAPITULO IV 47
RESULTADOS Y DISCUSIONES 47
4.1. TIPOS DE MICROORGANISMOS ENCONTRADOS EN EL HUMUS DE LOMBRIZ. 47
4.2. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO, ANTES DE CONTAMINARLO CON CRUDO DE PETRÓLEO. 48
4.3. PRESENCIA DE HIDROCARBUTOS TOTALES DE PETROLEO (TPH) PRESENTES EN EL SUELO PARA CADA REPETICIÓN Y CADA TRATAMIENTO. 52
4.4. PROMEDIO DE TRATAMIENTOS POR FECHAS 57
CAPÍTULO V 60
CONCLUSIONES 60
RECOMENDACIONES 62
CAPITULO VI 63
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 63
ANEXOS 67
ICONOGRAFIA 77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del Proyecto. 42
Figura 2. Disposición de tratamientos y repeticiones en el experimento. 46
Figura 3. Variación del pH del suelo inicial y suelo (humus + crudo de petróleo). 50
Figura 4. Variación del contenido de Materia Orgánica en el suelo inicial y suelo (humus + crudo de petróleo). 50
Figura 5. Variación de contenido del fosforo en el suelo inicial y suelo (humus + crudo de petróleo). 51
Figura 6. Variación del contenido de Nitrógeno del suelo inicial y suelo (Humus + crudo de Petróleo). 51
Figura 7. Variación del contenido de calcio, magnésio, potásio y Alumínio en el suelo y suelo (Humus + crudo de Petróleo). 52
Figura 8. TPH promedio presente en el suelo tras el primer análisis. 53
Figura 9 TPH promedio presente en el suelo tras el segundo análisis 54
Figura 10. TPH promedio presente en las muestras tras el tercer análisis 56
Figura 11. TPH promedio presente en los tratamientos en las 3 diferentes Fechas. 58

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de crudo según gravedad API. 19

Tabla 2. Composición del humus de lombriz. 38

Tabla 3. Estándares de calidad ambiental (ECA) para el suelo. 41

Tabla 4. Proporciones de mezcla para cada tratamento. 46

Tabla 5. Microorganismos presentes en el humus. 47

Tabla 6. Análisis químico del suelo. 49

Tabla 7. Presencia de hidrocarburos totales de petróleo en el experimento a los primeros 12 días de instalado el experimento. 52

Tabla 8. Presencia de Hidrocarburos Totales de Petróleo en el experimento a los primeros 12 días de instalado el experimento. (ANOVA) 53

Tabla 9. Hidrocarburos Totales de Petróleo presentes en el experimento a los 2 meses de instalar el experimento. 54

Tabla 10. Presencia de Hidrocarburos Totales de Petróleo en el experimento a los 2 meses de instalar el experimento (ANOVA) 55

Tabla 11. Resultado de TPH presentes en el suelo 4 meses después de instalar el Experimento. 55

Tabla 12. Resultado de TPH presentes en el suelo 4 meses después instalar el experimento. (ANOVA) 56

Tabla 13. Resultado de TPH presentes en el suelo tras el segundo análisis. 57

Tabla 14. Resultado de TPH presentes en el suelo después de todas las evaluaciones. 58

ICONOGRAFÍA

Fotografía 1. Celdas de tratamiento 77

Fotografía 2. Aplicando el crudo de petróleo a cada celda de tratamiento 77

Fotografía 3. Aplicando la dosificación de humus de lombriz 78

Fotografía 4. Aireación de cada celda de tratamiento 78

Fotografía 5. Medición de la temperatura del suelo 79

Fotografía 6. Tomando muestras de pH de cada celda de tratamiento 79

Fotografía 7. Obteniendo muestra de suelo con el barreno 80

Fotografía 8. Recolectando la muestra del suelo 80

Fotografía 9. Muestra listas para enviar a analizar 81

Fotografía 10. Suelo recuperado después de 2 meses de terminado el proyecto 81

LISTA DE SIGLAS

GPS **:** Sistema de Posicionamiento Global

Gal **:** Galón

TPH(C9-C40): Hidrocarburos totales de petróleo con 9 a 40 cadenas de carbono.

ECA **:** Estándares de Calidad Ambienta.

LMP **:** Límites máximos permisibles.

HAP´s **:** Hidrocarburos aromáticos policíclicos

OEFA **:** Organismo de evaluación y fiscalización ambientales.

API **:** American Petrolleum Institute

UTM **:** Universal Transverse Mercator

DCA **:** Diseño Completamente al Azar

INA **:** Instituto Nacional de Innovación Agraria

Cmol/Lt **:** Centimol por litro

UFC :Unidad formadora de colonias

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo comprobar la remediación de un suelo contaminado con crudo de petróleo aplicando humus de lombriz. La metodología usada en este proyecto contó con un nivel de investigación experimental y un diseño completamente al azar, compuesto por cuatro tratamientos y tres repeticiones por tratamiento. El estudio se desarrolló en las instalaciones de la Universidad Nacional de Ucayali en el área de Frutos Nativos en el Distrito de Callería, Provincia de Coronel Portillo, Departamento de Ucayali, ubicada en las Coordenadas UTM 0546897 mE y 9070427 mN, con una altitud promedio de 159 m.s.n.m.

El estudio se desarrolló como una alternativa de solución de remediación del suelo debido a los constantes derrames de petróleo ocurridos principalmente en Perú durante el año 2017 y en diferentes países dedicados a la extracción y procesamiento de Hidrocarburos. la investigación consistió en la instalación de un total de 12 celdas experimentales para el tratamiento de suelos contaminado con hidrocarburo. Se contaminó cada celda experimental con 1 galón de crudo de petróleo, a las cuales posteriormente se aplicaron diferentes dosis de humus de lombriz según el tratamiento, se usó humus de lombriz debido, al gran contenido de bacterias degradadoras de hidrocarburos que presenta y al alto contenido de nutrientes que favorecen su desarrollo. Se tomaron muestras de cada celda experimental para realizar el análisis del suelo de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH) (C9-C40) en laboratorio, las cuales fueron tomadas en un intervalo de dos meses. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

La dosis que mostro mayor índice de disminución de TPH presente en el suelo, fue la de 20kg de humus de lombriz por 200 kg de suelo contaminado con 1 galón de crudo de petróleo, disminuyendo un 86,74% de mg de TPH presente en el suelo, comparado al T1 sin aplicación de humus que disminuyó un 69,59%, T2 que disminuyó un 84,33% aplicando 10 kg de humus y T4 que disminuyó un 75,52% aplicando 30 kg de humus.

Palabras claves: Hidrocarburo, suelo, humus de lombriz, biorremediación, contaminación.

ABSTRACT

The objective of this study was to verify the remediation of a soil contaminated with petroleum crude by applying earthworm humus. The methodology used in this project had a level of experimental research and a completely random design, consisting of four treatments and three repetitions per treatment. The study was carried out in the facilities of the National University of Ucayali in the area of Native Fruits in the District of Callería, Province of Coronel Portillo, Department of Ucayali, located at coordinates 0546897 mE and 9070427 mN, with an average altitude of 159 m.s.n.m.

The study was developed as an alternative soil remediation solution due to the constant oil spills that occurred mainly in Peru during the year 2017 and in different countries dedicated to the extraction and processing of hydrocarbons. the investigation consisted in the installation of a total of 12 experimental cells for the treatment of soils contaminated with hydrocarbons. Each experimental cell was contaminated with 1 gallon of crude oil, to which different doses of earthworm humus were subsequently applied according to the treatment, earthworm humus was used due to the high content of hydrocarbon degrading bacteria that it presents and the high content of nutrients that favor its development. Samples were taken from each experimental cell to perform the soil analysis of Total Oil Hydrocarbons (TPH) (C9-C40) in the laboratory, which were taken in a two-month interval. The results obtained were the following:

The dose that showed the highest rate of decrease in TPH present in the soil was 20 kg of earthworm humus per-200 kg of soil contaminated with 1 gallon of crude oil, decreasing 86,74% of mg of TPH present in the soil, compared to to the T1 without application of humus that diminished a 69,59%, T2 that diminished an 84,33% applying 10 kg of humus and T4 that diminished a 75,52% applying 30 kg of humus. The results show that earthworm humus acts as a biostimulator and bioaugmentation in the soil.

Keywords: Hydrocarbon, soil, earthworm humus, bioremediation, pollution.

INTRODUCCIÓN

El impacto ambiental causado por derrames de crudo de petróleo deja miles de hectáreas afectadas, sin dejar a un lado los ríos y quebradas. Estos daños a las fuentes hídricas, suelos, aire, fauna, vegetación y comunidades nativas, causados principalmente por la negligencia en el mantenimiento de tuberías de las cuales conducen los hidrocarburos, y por el tráfico ilegal de combustible, son prácticamente irremediables, ya que los procesos de descontaminación no alcanzan a cubrir todas las áreas afectadas y se realizan mucho tiempo después de que el crudo ha penetrado al ecosistema. El tratamiento de suelos surgiere disminuir el impacto ambiental ocasionado, con el fin de remediar el suelo usando humus de lombriz, de manera estratégica.

La región Ucayali por muchos años ha sido una de las zonas de producción de petróleo, existen yacimientos en Maquia, Aguas calientes, así como la refinería Pucallpa, Petróleos de la Selva y la Planta de fraccionamiento y Planta de gas de Aguaytía y en el año 2014 se efectuaron varios pozos exploratorios confirmando la existencia de crudo de excelente calidad, lo cual originó el incremento de la actividad de producción, almacenamiento y transporte de petróleo, incrementándose notablemente el riesgo de derrame de petróleo por la volcadura de camiones cisterna que transportan el petróleo crudo producido en la región.

El riesgo de derrame de petróleo se ve incrementado en razón a que el transporte del crudo proveniente de los yacimientos recientemente descubiertos se realiza mediante camiones cisterna, que circulan por vías afirmadas, que muchas veces por consecuencia de las lluvias y el constante transito se deteriora incrementando el riesgo de accidentes. Este escenario unido a la existencia de oleoductos antiguos justifica y hacen necesario realizar un trabajo de investigación relacionado a las técnicas para descontaminar los suelos en caso de ocurrir un derrame de petróleo.

El objetivo del estudio fue Determinar el efecto del humus de lombriz en el tratamiento de suelos contaminados por crudo de Petróleo, en campus de la Universidad Nacional de Ucayali.

Con este proyecto se realizó una investigación experimental de la biorremediación y conocer la eficiencia de este método. Se tienen en cuenta los factores que condicionan la biorremediación, se realizara un análisis del tipo de suelo, sus características principales, tipología y su clasificación según estructura y composición en órdenes, de la misma manera se realizara también un análisis de la composición del crudo, la clasificación según su gravedad American Petrolleum Institute (API), para conocer en cómo afecta esto a la composición fisicoquímica del suelo.

CAPITULO I

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1. formulación del problema.

La contaminación es uno de los problemas ambientales más importantes que afectan al mundo y surge cuando se produce un desequilibrio, como resultado de la adición de cualquier sustancia al ambiente, en cantidad tal, que cause efectos adversos en el hombre, en los animales, vegetales o materiales expuestos a dosis que sobrepasen los niveles aceptables en la naturaleza.

La contaminación puede surgir a partir de ciertas manifestaciones de la naturaleza (fuentes naturales) o bien debido a los diferentes procesos productivos del hombre (fuentes antropogénicas) que conforman las actividades de la vida diaria.

Las fuentes que generan contaminación de origen antropogénico más importantes son: industriales (Actividad minera, actividad petrolera, generación eléctrica, industria pesquera, frigoríficos, mataderos y curtiembres), comerciales (envolturas y empaques), agrícolas (agroquímicos), domiciliarias (envases, pañales, restos de jardinería) y fuentes móviles (gases de combustión de vehículos). Como fuente de emisión se entiende el origen físico o geográfico donde se produce una liberación contaminante al ambiente, ya sea al aire, al agua o al suelo. Tradicionalmente el medio ambiente se ha dividido, para su estudio y su interpretación, en esos tres componentes que son: aire, agua y suelo; sin embargo, esta división es meramente teórica, ya que la mayoría de los contaminantes interactúan con más de uno de los elementos del ambiente. (Provincial, 2017)

A nivel mundial, durante los últimos 50 años han existido catástrofes ecológicas generadas por la rotura de oleoductos, el hundimiento de buques de transporte de petróleo y sus derivados, por el descontrol de pozos petroleros, generando pérdidas de miles de millones de dólares y daños irreparables al medio ambiente.

1.1.1.1. Problema General

- ¿Cuál es la eficiencia del humus de lombriz para la remediación de un suelo contaminado con crudo de petróleo?

1.1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las características fisicoquímicas del suelo que se alteran con la aplicación de crudo de petróleo?
- ¿En qué medida el humus de lombriz puede remediar un suelo contaminado por crudo de petróleo?
- ¿Cuál será la cantidad adecuada de humus para la remediación de un suelo contaminado por crudo de petróleo?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

- Determinar el efecto del humus de lombriz en la remediación de suelos contaminados con crudo de petróleo, en campus de la Universidad Nacional de Ucayali.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar las características fisicoquímicas del suelo que experimentan cambios con la aplicación de crudo de petróleo.
- Determinar el porcentaje de eficiencia del humus de lombriz para la remediación de un suelo contaminado con crudo de petróleo.
- Determinar la cantidad adecuada de humus para la remediación de un suelo contaminado por crudo de petróleo.
- Determinar la presencia de tipos de microorganismos presentes en el humus de lombriz.

1.3. HIPÓTESIS

1.3.1. Hipótesis general

La aplicación de humus de lombriz permite remediar un suelo contaminado con crudo de petróleo, en campus de la UNU.

1.4. VARIABLES

1.4.1. Variable Independiente

- Humus de lombriz

1.4.2. Variable dependiente

- Crudo de petróleo

1.4.3. Variable interviniente

- Tiempo y clima

1.5. JUSTIFICACION E IMPORTANCIA

En el Perú existe un caso emblemático de contaminación ambiental a poblaciones amazónicas que hasta el momento no han sido tratadas con atención médica, pese a que han pasado tres años desde que se originó el daño. Se trata del derrame de miles de barriles de petróleo debido a una fuga en el Oleoducto Norperuano en el 2014, en la quebrada de Cuninico, que impactó en el ambiente y salud de las comunidades nativas de San Francisco, Nueva Esperanza, Cuninico y Santa Rosa, ubicadas en el distrito de Urarinas, región Loreto. (López M. 2017)

Debido al desastre no solo se vio afectada la biodiversidad de la zona, sino, también, la salud de los habitantes, nadie avisó a los residentes de Cuninico de que no bebieran agua ni comieran pescado. Los representantes de Petroperú insistían en que el agua del río Cuninico, tributario del Marañón,

era segura a pesar de que la comunidad se encuentra algo más abajo del lugar donde el oleoducto cruza el río.

La salud de unos 243 indígenas, incluidos niños, está seriamente afectada al haber trabajado sin protección en la limpieza del derrame de petróleo ocurrido en la provincia peruana de Datem del Marañón. La cifra total de afectados por los derrames —que motivaron la declaración de emergencia sanitaria— aún no fue estimada, pero solo en Datem de Marañón habría unos 8.000 pobladores perjudicados por el crudo que contamina suelos y ríos confirmó a la prensa (25 de febrero) Luis Loro, director de la Oficina de Defensa Nacional del Ministerio de Salud (MINSA) de Perú. Dijo que los nativos presentan problemas respiratorios, dermatológicos, digestivos, deshidratación y signos de intoxicación (Fraser, 2016).

“La amazonia peruana es tremendamente compleja y diversa, pero es una parte del mundo de la que no sabemos mucho”, dice Clinton Jenkins, biólogo de la conservación del Instituto de Investigaciones Ecológicas, en São Paulo, Brasil. “Conocer los impactos biológicos es difícil porque tenemos muy poca información de lo que hay ahí, para empezar”.

Este desastre es el ejemplo más reciente de una historia de accidentes que han teñido la amazonia de negro y ocurre a menos de un año de la liberación de 370.000 litros de petróleo, también en Loreto. “Es un problema sistémico”, dice Jenkins. “Estos derrames ocurren de manera regular y las repercusiones no van a desaparecer fácilmente”.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

A mediados del siglo XX se desarrollaron las primeras investigaciones encaminadas a estudiar el potencial de los microorganismos para biodegradar contaminantes (Zobell, 1946; Davis, 1956). Este “uso” intencionado recibió entonces el nombre de biorremediación ("bioremediation"). Las primeras técnicas que se aplicaron fueron similares al "landfarming" (“labranza”) actual y sus actores, lógicamente, compañías petrolíferas. Las primeras patentes, fundamentalmente para remediación de vertidos de gasolina, aparecen en los años 70. En los años 80 se generalizó el uso del aire y peróxidos para suministrar oxígeno a las zonas contaminadas mejorando la eficiencia de los procesos degradativos. Durante los años 90 el desarrollo de las técnicas de "air sparging" (burbujeo de oxígeno) hizo posible la biorremediación en zonas por debajo del nivel freático. Al mismo tiempo, la implementación en la práctica de aproximaciones experimentales en el laboratorio permitió el tratamiento de hidrocarburos clorados, los primeros intentos con metales pesados, el trabajo en ambientes anaerobios, etc. Paralelamente, se desarrollaron métodos de ingeniería que mejoraron los rendimientos de las técnicas más populares para suelos contaminados ("landfarming", "composting", etc.) (Riser-Roberts, 1998).

En Ecuador se realizó la investigación de biorremediación en diferentes parcelas creadas para el experimento, en parcelas con BIOIL-FC se logró una mayor eficiencia en la oxidación de los hidrocarburos, aunque para cada uno se alcanzaron diferentes porcentajes de remoción, de manera que para el fuel oil y gasolina de 85% de octanaje se alcanzaron 50 y 61% de remoción respectivamente en 28 días, mientras que para gasolina de 96% se alcanzó un 98% en solo 15 días. Es conocido que las diferencias en la composición y concentración de hidrocarburos en el petróleo influyen en su biodegradación. Así, un mismo microorganismo, puede presentar diferentes porcentajes de

degradación ante crudos de diferente procedencia o composición química en iguales condiciones experimentales (Anonimo, s.f.).

2.1.1. Internacional.

Delgado, (2009) A mediados del siglo XX se desarrollaron las primeras investigaciones encaminadas a estudiar el potencial de los microorganismos para biodegradar contaminantes (Zobell, 1946; Davis, 1956). Este “uso” intencionado recibió entonces el nombre de biorremediación ("bioremediation"). Las primeras técnicas que se aplicaron fueron similares al "landfarming" („labranza‟) actual y sus actores, lógicamente, compañías petrolíferas. Las primeras patentes, fundamentalmente para remediación de vertidos de gasolina, aparecen en los años 70. mencionaron que la contaminación de suelos por productos de la industria petrolera pueden ser tratados y recuperados ecológicamente con la biorremediación, basada en la estimulación de los microorganismos para adecuación de los factores abióticos y que en suelos arcillosos y arenosos, deben emplearse acondicionadores orgánicos que permitan mejorar la estructura de la mezcla para favorecer así la biorremediación, donde la velocidad de descomposición por los organismos va a depender de su concentración, de determinadas características del suelo y de la estabilidad del contaminante.

Comunicación, (2016) este derrame se considera sin precedente en la historia de la explotación petrolera debido a la profundidad a la que ocurrió -1,500 metros- y a su magnitud, pues se estima que 757 millones de litros de petróleo crudo se vertieron en el golfo, alterando y afectando los ecosistemas marinos y varias pesquerías en una amplia zona, y provocando la muerte de aves, tortugas, delfines y otras especies de cetáceos y pelágicos mayores.

Prado, (2011), evaluó el proceso de biorremediación aeróbica de un suelo contaminado con hidrocarburos de petróleo empleando lodos residuales (biosólidos), provenientes de una planta de tratamiento de

aguas residuales (PTAR) domésticas de la localidad, como fuente alterna de macro y micronutrientes. Se realizaron experimentos a escala laboratorio y piloto, ajustados a capacidad de campo y a una relación carbono: nitrógeno (C: N) = 10:1, Se demostró que los lodos residuales propiciaron la estimulación de los microorganismos nativos del suelo y estos últimos a su vez fueron los responsables de degradar los hidrocarburos. El suelo sometido a remediación aeróbica alcanzó el límite máximo permisible (LMP) establecido en la normatividad mexicana vigente (NOM–138–SEMARNAT/SS–2003) en los experimentos realizados a ambas escalas y se propone como alternativa para que la empresa minera cumpla con el programa Industria Limpia, al que está adscrita de manera voluntaria.

Fernández, Llobregat & Bastidas (2009), realizaron un estudio sobre el proceso de biodegradación de un suelo contaminado con petróleo pesado, cuyo suelo fue sometido a tres tipos de tratamientos, empleando estiércol equino, humus líquido y ejemplares de *Eisenia foetida*; para lograr disminuir su nivel de contaminación, encontrando como resultado que el tratamiento con *Eisenia foetida* fue el más eficaz en la descontaminación del suelo impactado.

Vásquez, Mayra (2011), mencionan que los derrames de petróleo afectan las propiedades físicas del suelo y especialmente las poblaciones naturales de microorganismos, encontrando que en cada una de las cinco concentraciones de petróleo hubo un incremento exponencial de colonias bacterianas de donde las más aptas serían de gran utilidad en la biorremediación o saneamiento de zonas impactadas por petróleo crudo.

Nápoles, Janet (2015), encontró que la contaminación de los suelos por hidrocarburos es un problema medioambiental que requiere atención, por ello realizó ensayos con lodos de digestión anaerobia para estimular la población indígena de un suelo contaminado con hidrocarburos, encontrando que la materia orgánica, determinada como hidrocarburos contaminantes, posee un valor de 107,5 g/kg de suelo.

Schroeder (1999), en zonas tropicales de México, utilizaron tecnología de biorremediación para el tratamiento de sitios contaminados con petróleo donde incluyeron investigaciones recientes realizadas en su laboratorio. Finalmente, se analizan las posibilidades de desarrollo tecnológico para la biorremediación de los hidrocarburos del petróleo en los ecosistemas tropicales del sureste mexicano.

Windevoxhel Sánchez, Subero, Bastardo, & Malaver (2009), estudiaron el efecto de humus y la bioaumentación en la biorremediación de un suelo petrolizado mediante ensayos a escala de laboratorio aislando 29 cepas bacterianas del suelo contaminado y se conformó un cultivo mixto con aquellas que dieron respuesta positiva a un grupo de pruebas enzimáticas; encontrando los mayores niveles de remoción de aceites y grasas (97,2%, 96,0% y 93,1 %) en los tratamientos con humus e inoculación combinadas.

2.1.2. Nacional.

Buendía Ríos (2012), realizo un trabajo referido a la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos utilizando organismos vivos para el consumo de los hidrocarburos de petróleo en el suelo, encontrando que la mezcla de estiércol y aserrín disminuyó 22,5% el contenido de hidrocarburos en el suelo, empleando solo estiércol disminuyó 16.5% y usando solamente aserrines disminuyó 9,6%. Sin embargo, al comparar los tratamientos del experimento el que mejor ha remediado los suelos fue el tratamiento de suelo contaminado con vacaza más aserrín de bolaina, puesto que la concentración inicial de hidrocarburos totales de petróleo fue de 21.81 gr de TPH/kg de suelo, ha disminuido en 16.28 gr de TPH/kg de suelo, que representa una reducción del 25%.

Energíasur, (2016) Un camión cisterna de la empresa Transtani cargado con 8.500 galones de líquido asfáltico cayó a un afluente del río Colca a la altura del kilómetro 8,6 de la carretera Imata Espinar provocando la muerte de 160 mil truchas.

Romo (2018) La comisión investigadora estableció que se derramaron al menos 25 000 barriles de petróleo en los últimos 9 años, es decir, fueron unos 4 millones de litros de crudo vertidos en la Amazonía. Si bien en un inicio la comisión apuntaba a investigar los trece derrames registrados en el 2016, se vio obligada a extender su trabajo hasta incidentes ocurridos en el 2013.

2.1.3. Regional.

La empresa Maple Gas Corporation, realizo dos estudios referidos a las técnicas de biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos, trabajos que fueron premiados por la Sociedad Nacional de Minería y Petróleo en los años 90. Los trabajos consistieron en realizar la remediación de los pasivos ambientales de la empresa petrolera estatal, en los yacimientos de Maquia y Aguas Calientes. Los trabajos de remediación fueron exitosos y se logró reforestar las zonas impactadas por petróleo durante varias décadas de operación de Petroperú.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. CRUDO DE PETRÓLEO.

2.2.1.1. Impacto del crudo de petróleo en las plantas, en el suelo y agua.

Diferentes estudios han determinado el efecto de la contaminación con hidrocarburos en la germinación y crecimiento vegetativo de diferentes especies de pastos sometidos a diferentes concentraciones de hidrocarburo, concluyendo que hay una inhibición en la germinación del trébol común y un marcado retraso en el crecimiento de todas las plantas evaluadas. Así mismo, otros estudios evaluaron el efecto de los hidrocarburos poliaromáticos (PHA) en ecosistemas forestales y plantas madereras, demostrando un efecto de necrosis foliar (6) y reportando que aproximadamente 3200 hectáreas son afectadas por los derrames y el 90% de estos son pantanos o zonas inundables aledañas a plantas con tuberías corroídas por tener más de 50 años de antigüedad, al igual que se emplean pozos sin crudo para almacenamiento de los cuales un 30% están contaminados con desechos aceitosos. La gran mayoría de derivados del petróleo son considerados compuestos tóxicos. Los efectos de estos compuestos sobre las plantas son en la mayoría de los casos subletales, es decir que no se manifiestan a través de la mortalidad, sino de manera indirecta modificando el crecimiento, la reproducción y la fotosíntesis. (LIMASUR, 2013)

En el caso del suelo, los hidrocarburos impiden el intercambio gaseoso con la atmosfera, iniciando una serie de procesos fisicoquímicos simultáneos, como evaporación y penetración, que, dependiendo del tipo de hidrocarburo, temperatura, humedad, textura del suelo y cantidad vertida pueden ser procesos más o menos lentos lo que ocasiona una mayor toxicidad. Además de tener una moderada, alta o extrema salinidad, lo que dificulta su tratamiento, debido a que altos gradientes de salinidad pueden destruir la estructura terciaria de las proteínas, desnaturalizar enzimas y deshidratar células, lo cual es letal para muchos

microorganismos usados para el tratamiento de aguas y suelos contaminados (López 2005).

En el agua, al llegar a esta, la mancha generada por los hidrocarburos vertidos flota por diferencia de densidades impidiendo la entrada de luz y el intercambio gaseoso, dando comienzo a la solubilización de compuestos hidrosolubles y a la afección de diferentes poblaciones: la primera población afectada por un derrame es el plancton, en segundo lugar son afectados los macroinvertebrados, y la última población afectada son los Bentos o población de macroinvertebrados que viven en los fondos de los ríos y ciénagas.

2.2.1.2. El petróleo y sus características.

El primer pozo petrolero fue perforado por Edwin L. Drake en 1859, en los Estados Unidos de América; él mismo inició el mercado del petróleo cuando logró separar keroseno de la mezcla compleja del crudo, sustituyendo así al aceite de ballena, el cual se utilizaba como combustible en las lámparas. No fue sino hasta 1895, con la aparición del automóvil, cuando el petróleo pudo cobrar una gran importancia, ya que de él se extrajo la gasolina utilizada como combustible automotriz. Este hecho cobró tanta importancia que, antes de 1914, se necesitaba producir gasolina para poco más de un millón de automóviles. Así, 50 años más tarde se necesitó abastecer más de 170 millones de automóviles de todo el mundo (Chow, 1987).

El nombre petróleo proviene del latín Petroleum, que a su vez deriva de un vocablo griego que significa “aceite de roca”, el nombre es originado por que a lo largo de miles de años e incluso hasta la actualidad, el petróleo se podía encontrar en la superficie del suelo, fluyendo en forma natural por efecto de fallas geológicas, de tal modo que se podía observar como el petróleo salía de entre las rocas.

El petróleo es un líquido natural oleaginoso, que dependiendo de la calidad del producto es de color verde claro u oscuro, tiene

características inflamables o combustibles y está formado por una mezcla de hidrocarburos.

Existen varias teorías sobre la formación del petróleo, la más aceptada es la orgánica, la cual supone que se originó por descomposición de los restos de animales y algas microscópicas acumulados en el fondo de las lagunas y en el curso inferior de los ríos. La materia orgánica se cubrió paulatinamente con capas cada vez más gruesas de sedimentos, al abrigo de las cuales, en determinadas condiciones de presión, temperatura y tiempo, se trasformó lentamente en hidrocarburos (Tissot y Welte, 1982).

2.2.1.3. Composición del petróleo.

Para entender los procesos de biorremediación de suelos contaminados con el Petróleo y sus derivados es necesario comprender la composición química del Petróleo.Es un compuesto de hidrocarburos, básicamente una combinación de carbono e hidrógeno (Pémex, 1988).

Al analizar petróleo de diversas procedencias, puede decirse de manera general que lo forman los siguientes elementos químicos: de 76 a 86% de carbono y de 10 a 14% de hidrógeno; a veces contiene oxígeno, azufre y nitrógeno. También se han encontrado huellas de compuestos de hierro, níquel, vanadio y otros metales (Chang y Tsao, 1984; Pavia et al., 1990).

Mientras mayor sea el contenido de carbón en relación con el del hidrógeno, mayor es la cantidad de productos pesados que tiene el crudo. Esto depende de la antigüedad y de algunas características de los yacimientos. No obstante, se ha comprobado que entre más viejos son los yacimientos, tienen más hidrocarburos gaseosos y sólidos y menos líquidos entran en su composición.

El número de átomos de carbono y la forma en que están unidos, ya sea en cadenas lineales, cerradas o ramificadas, proporciona al petróleo diferentes propiedades físicas y químicas. Así tenemos que el metano al ser un hidrocarburo compuesto por un átomo de carbono y cuatro átomos hidrogeno tiene el estado físico gaseoso; los hidrocarburos con cadenas

de hasta cuatro átomos de carbono son gaseosos, los que contienen de 5 a 20 átomos de carbono son líquidos, y los de más de 20 átomos de carbono son sólidos a la temperatura ambiente.

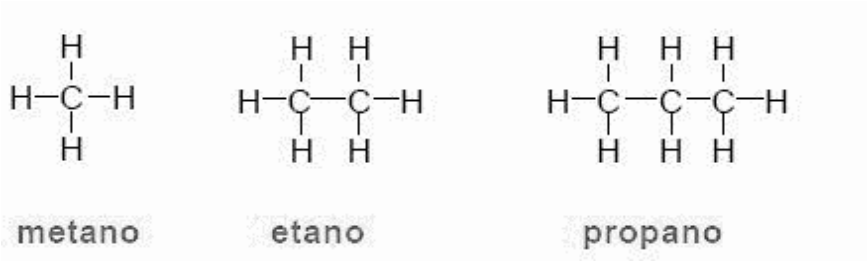
2.2.2. Composición por familias de hidrocarburos.

A) Hidrocarburos alifáticos:

En este primer apartado, los átomos de carbono se disponen formando una cadena lineal; éstos se subdividen en:

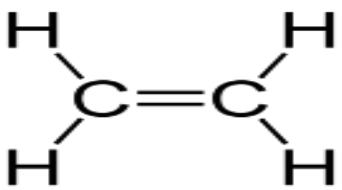
- **Alcanos**

Son hidrocarburos saturados que también reciben el nombre de parafínicos, Se presentan en estado gaseoso, líquido o sólido según el tamaño de la cadena de carbonos. Hasta 4 ó 5 carbonos son gases, de seis a 12 son líquidos y de 12 y superiores se presentan como sólidos aceitosos tienen enlaces simples.



- **Alquenos**

Hidrocarburos insaturados, son los que tienen uno o más carbonos con enlaces dobles:



- **Alquinos:**

  Hidrocarburos insaturados que cuentan con enlaces triples entre sus átomos de carbono, estos enlaces se caracterizan por ser más fuertes que los simples, por lo que su degradación requiere de una mayor aportación de energía.

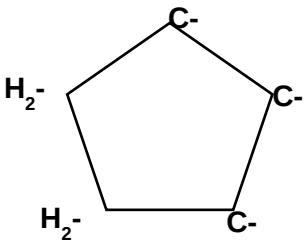


Alquino

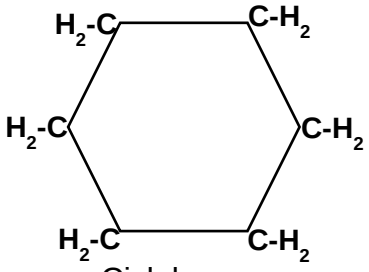
B) Hidrocarburos cíclicos:

- **Hidrocarburos policíclicos.**

  Son los que tienen cadenas cerradas de 3, 4, 5, 6, 7 y 8 átomos de carbono saturados o no saturados. Como ejemplo, encontraríamos el ciclohexano y ciclopentano:



Ciclopentano

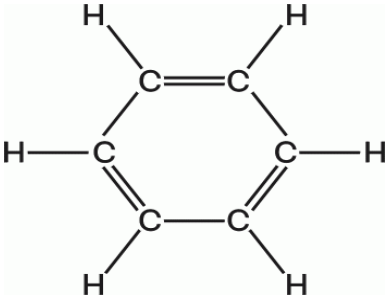


Ciclohexano

- **Hidrocarburos aromáticos.**

  Son hidrocarburos que cuentan al menos un anillo aromático aparte de otros tipos de enlaces que puedan tener. El más representativo de la familia de los hidrocarburos aromáticos es el benceno (C6H6), pero existen otros ejemplos, como el tolueno, etilbenceno y xileno, muy perjudiciales para la salud por estar implicados en numerosos tipos de

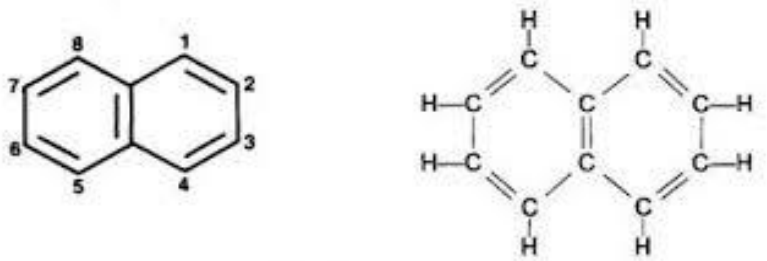
cáncer y que habrán de tomar muchas medidas al respecto en caso de fugas o derrames.



Benceno

- **Hidrocarburos naftalénicos o hidrocarburos aromáticos policíclicos.**

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos también conocidos por sus siglas, HAP's; están constituidos por dos o más anillos fusionados, con resonancia electrónica entre sus átomos de carbono. Los HAP´s constituyen contaminantes orgánicos relacionados con las actividades humanas, en especial con aquellas derivadas del tratamiento y posterior combustión del petróleo y sus derivados. Son compuestos estables y altamente tóxicos, algunos potentes carcinógenos y otros mutagénicos.



Naftaleno

Estos compuestos se encuentran distribuidos en el suelo, mar, sistemas fluviales y sedimentos, su presencia se ha atribuido principalmente a los derrames de petróleo y descargas de plantas petroquímicas.

Algo que es muy común en cualquiera de los grupos de hidrocarburos expuestos más arriba es la sustitución de uno o varios de sus hidrógenos por otro átomo o grupos funcionales que se mencionarán

más adelante. La importancia de estas sustituciones se debe a que, variará el comportamiento químico de molécula, también lo hará la facilidad con la que estos compuestos podrán ser biodegradados.

2.2.1.4. Clasificación del crudo según su gravedad api.

La gravedad API (del inglés: American Petroleum Institute) es un método de clasificación según la densidad (viscosidad y fluidez) del crudo en comparación con el agua a temperaturas iguales. De esta forma la densidad API es la medida inversa a su gravedad específica respecto al agua.

Fórmula de la gravedad API

La fórmula inferida y usada para determinar esta propiedad es la siguiente:

$$API = (141.5 \div GE) - 131.5$$

Donde:

GE =Gravedad Especifica del producto a 60°C.

El instrumento para medir el grado API es el hidrómetro, que complementado con una probeta y un termómetro permite determinar los grados API observados. Luego, de tablas ad hoc se obtiene el valor respectivo a 60 °F. Mientras mayor sea la viscosidad del crudo menor es la gravedad API y menor es la calidad del petróleo, ya que son más pesado y más difíciles de extraer, transportar y refinar para la obtención de sus derivados; por tanto, cuanto más alto es el API el petróleo es más liviano, de mayor calidad y más fácil de procesar. (Nava, 2014)

Clases de crudo según gravedad API:

- **El crudo ligero o liviano.**

Con grado API mayor a 31,1, contiene gran concentración de hidrocarburos de bajo peso molecular, lo cual lo hace fácil de transportar,

con este tipo de petróleo se busca para obtener la mayor cantidad de combustible posible en forma de diesel, queroseno y gasolina.

- **El crudo medio o mediano.**

Con grado API entre a 29,9 y 22, contiene concentración media de hidrocarburos de bajo peso molecular, lo cual lo hace fácil de transportar, con este tipo de petróleo se busca para obtener combustible y materias primas para polímeros y parafinas.

- **El crudo pesado.**

Con grado API entre a 21,9 y 10, contiene gran concentración de hidrocarburos de mediano peso molecular, lo cual lo hace complicado de transportar, con este tipo de petróleo se busca para obtener la mayor cantidad de parafinas, polímeros, aceites, combustibles, aceites.

- **El crudo extrapesado.**

De API iguales o inferiores a 10,0 Grados API, contiene menos concentración de hidrocarburos con mayor peso molecular, lo cual lo hace más pesado y difícil de transportar, con este tipo de petróleo se busca para obtener aceites, parafinas, polímeros y betunes. La faja petrolífera del Orinóco contiene la mayor reserva de crudo extrapesado en el mundo.

Tabla 1. Tipos de crudo según gravedad API

Crudo	Escala API	Densidad	Descripción
Ligero	30-40°	0.87 - 0.83 g/cm3	Fácil transporte y extracción, ideal para refinar en combustibles y derivados.
Mediano	22-29.9°	0.92 - 0.87 g/cm3	Fácil transporte y extracción, ideal para combustibles y derivados.
Pesado	10-21.9°	1.00 - 0.92 g/cm3	Fácil transporte y difícil extracción, ideal para combustibles y derivados.
Extrapesados	Menos 10°	> 1.00 g/cm3	Difícil transporte y difícil extracción, ideal para derivados.

Fuente: Melvin Nava, 2014

2.2.1.5. Petróleo en Perú

Tres, son las zonas petroleras del Perú: la costa noroccidental, el zócalo continental y la selva peruana. La costa noroccidental del Perú es la zona petrolera más antigua del país, en el departamento de Piura. Allí están los centros petrolíferos de la Brea, Pariñas, Lobitos, El Alto, Talara y los Órganos, todos ellos en la provincia de Talara. El zócalo continental es la parte del fondo submarino que se extiende entre a la playa y la isobata de 200 m de profundidad. Frente a Piura el zócalo continental es estrecho. Sin embargo, allí hay 539 pozos en producción que se operan desde unas plataformas flotantes. La selva peruana es la más importante zona petrolera del Perú. Su explotación se acentuó en la década del setenta. Los primeros yacimientos que se explotaron fueron: Aguas Calientes, en la provincia de Pachitea, departamento de Huánuco. En la década del setenta se descubrieron los yacimientos de la selva norte, en las cuencas de los ríos Corrientes, afluente del Tigre, y Pastaza, ubicados cerca de la zona de frontera, en el departamento de Loreto (Valderrama, 2005).

- **Reseña histórica**

Desde tiempo inmemorial se extrajo brea en diversos lugares del Perú; la Breita y la Brea en el Departamento de Piura, Lobos de Tierra (Departamento de Lambayeque), la Brea de Chumpi y otros en los Departamento de Junín y Puno; el más importante de todos estos depósitos es el de La Brea, situado a 18 kilómetros al Este de Negritos y al pie de los cerros de los Amotapes en el que se acumularon grandes cantidades del producto, consecuencia de la evaporación natural del petróleo que aflora en dicho lugar a través de fracturas en las estratos. En el año 1860, Don Manuel Antonio de la Lama, propietario de hacienda Máncora, inició con la explotación del petróleo que salía de forma natural del subsuelo y tres años después se asoció con varias personas de Piura, para explotar los depósitos de petróleo que había en su hacienda y se efectuaron las primeras ocho perforaciones que tuvieron de 20 a 30 pies de largo, de 7 a 15 pies de ancho y de 17 a 30 pies de profundidad. En 1874 otro hombre emprendedor, don J. B. Murphy inició trabajos de

explotación en la región de Negritos, en donde perforó tres pozos en unos terrenos que denunció y que le fueron adjudicados.En 1884 quedó constituido el "Establecimiento Industrial de Petróleo de Zorritos" de la firma Faustino G. Piaggio y Cia, que inicio la explotación comercial del petróleo y crea la primera Refinería del país. En 1887 don Genaro Helguero, propietario de la hacienda "La Brea y Pariñas" hizo varias perforaciones al mismo tiempo que gestionaba la regularización del dominio del subsuelo para toda la amplitud de su propiedad rural, la misma que se le concedió el 26 de enero de 1888, por Resolución Suprema. En 1888 Genaro Helguero vende su hacienda "La Brea y Pariñas" y las valiosas concesiones que había obtenido para el subsuelo, a don Herbert Tweddle. A pesar de que a partir de 1900 se multiplicaron los denuncios de terrenos petrolíferos en la zona Noroeste del Perú, y se ponían en evidencia nuevos campos petrolíferos en otros puntos del Perú y principalmente en los bordes del lago Titicaca. En 1920 la "International Petroleum Co.", se registró en Toronto (Canadá) y dio, desde un principio gran impulso a las explotaciones. En 1928 el "Padrón de Minas" registraba 352,147 pertenencias de las cuales 113,151 se referían a concesiones en la Costa, 1,340 en la Sierra y 237,656 en la región de la Montaña. A partir de 1927 la "Lobitos Oilfields Ltd." efectúa instalaciones para aprovechar también la gasolina natural, iniciando ese año con 550 T.M. de gasolina captada; las dos compañías extraen conjuntamente 65,619 T.M. del mismo producto en 1928, 105,430 T.M. en 1936 y en 1937 124,843 T.M. Desde 1935 La Internacional produce en la Refinería de Talara “gas líquido”. La máxima producción de petróleo se alcanzó en los años 80 y apenas se superaron los 200 mil barriles diarios. Hoy se comprueba que la dependencia externa de crudo asociada a la brecha entre producción y demanda nacional se incrementa, lo que puede resultar angustiante y condicionar seriamente las actividades económicas del País. La producción del crudo convencional en el Perú se reduce gradualmente desde el año 1980, del año 2002 al 2012, la producción nacional se ha reducido en 27 mil barriles diarios. En el 2006 y 2007 se incrementó la producción en 2 mil barriles diarios, pero los siguientes años se reinició una importante reducción de la producción nacional. Por

otro lado, entre el 2002 y 2012, la producción de crudo convencional se ha reducido en 10 millones de barriles anuales. No es difícil deducir que el Perú experimenta una inexorable reducción del principal recurso energético del país, deslizándose peligrosamente hacia una dependencia energética nunca imaginada e incrementando la vulnerabilidad energética del país.Se observa que la producción en la selva presenta una incesante reducción. Es muy probable, incluso, que los tan publicitados nuevos descubrimientos en la selva no permitan recuperar la producción de años anteriores.Adicionalmente la existencia de yacimientos antiguos, operados desde los años 60 hasta la fecha tanto en la selva de Ucayali como en Loreto y el noroeste peruano, generan un alto riesgo de contaminación, en razón a la antigüedad de los oleoductos, tanques e instalaciones de producción y transporte (Noriega, 1962)**.**

- **Potencial petrolífero.**

Perú está ubicado en una de las zonas más productivas de Sudamérica, sin embargo, resulta ser un país en el que la actividad exploratoria no es adecuada en función al potencial de producción probable. El país tiene 18 cuencas sedimentarias con 83 millones de hectáreas (ha), la mayoría de ellas en un estado inmaduro de exploración, existen por tanto grandes posibilidades de encontrar nuevos y mejores yacimientos de petróleo. Existen 74 contratos de exploración y explotación con 33 millones de hectáreas y existe un remanente de 50 millones de hectáreas para nuevos contratos. Se estima que el Perú puede alcanzar un total de más de 4,000 millones de barriles de reservas probadas, en las cuales el mayor volumen consiste en Gas Natural y Líquidos de Gas Natural. Como resultado de nuevos descubrimientos, las reservas probadas de petróleo, gas natural gas y LGN se han tenido un incremento sostenido en los últimos 20 años. Siendo la región más prolífica y de mayor éxito productivo la del Sub Andina, con un factor de éxito de 77 %. El año 2014 se efectuaron importantes hallazgos en la Cuenca de Ucayali, los cuales cuentan con un excelente potencial productivo, lo que generará también el incremento del riesgo de contaminación por el derrame de petróleo, que actualmente se transporta mediante camiones cisterna en vías

afirmadas no asfaltadas y se prevé que en los próximos años se contará con oleoductos que también son susceptibles a sufrir roturas contaminando el suelo de la región (Cuneo, 2014).

2.2.1.6. Comportamiento del petróleo en el ambiente.

El proyecto de recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos a cargo de Raquel Alonso Riesco (2012) indica que un derrame de petróleo lleva consigo una serie de cambios progresivos de sus propiedades fisicoquímicas los cuales se atribuyen al proceso de intemperización, el cual incluye: evaporación, disolución, dispersión, oxidación, emulsificación, sedimentación y biodegradación. La intemperización es la pérdida de ciertos componentes del petróleo a través de una serie de procesos naturales que comienzan una vez que ocurre el derrame y continúan indefinidamente. La tasa de intemperización del petróleo varía en función de las características del producto derramado y de las condiciones climáticas existentes en el lugar del derrame. Generalmente va referida a vertidos al aire libre no en el subsuelo, pero en algunos casos el derramen se produce a ras del suelo y de ahí percola hasta los acuíferos, de modo que parte del hidrocarburo percolado puede haber sufrido o sufrir durante su movilización de este proceso.

- **Evaporación:**

Este paso atañe la composición del producto derramado: crece su densidad y viscosidad y merma su solubilidad en el agua, reduciendo así el nivel de toxicidad del producto. En la medida que los compuestos más volátiles se evaporan, el petróleo se hace más pesado y puede llegar a hundirse. A las 24 horas casi el 40 % del petróleo se ha evaporado.

Estos porcentajes van variando de acuerdo con el valor de viscosidad del hidrocarburo, por lo que el proceso de evaporación es muy trascendental en los derrames, especialmente si se trata de gasolinas o crudos livianos.

La evaporación de los hidrocarburos es uno de los factores principales para determinar el destino final del derrame. Durante las primeras 24 horas la evaporación es responsable por la pérdida de los hidrocarburos de tamaño C6 a C13 (alcanos de 6 a 13 carbonos) dependiendo del tipo

de hidrocarburo, aproximadamente 25"50 % de los hidrocarburos derramados pueden llegar a evaporarse.

- **Disolución:**

  Este proceso empieza inmediatamente, es de largo plazo y continúa durante todo el proceso de degradación del hidrocarburo. Es de notar que los compuestos más ligeros son los más solubles en el agua y por lo tanto se convierten en los más tóxicos, por lo que es muy importante calcular su concentración, para estimar los posibles efectos tóxicos.

- **Oxidación:**

  La combinación química de hidrocarburos con el oxígeno molecular contribuye a la descomposición final del petróleo. Cuanta más área expuesta exista, mayor será la oxidación y mayor la velocidad de degradación. La radiación ultravioleta solar produce la oxidación fotoquímica que puede implicar una degradación diaria del 1 % del derrame (dependiendo de la intensidad de la radiación solar).

- **Emulsificación:**

  Este es el procedimiento por el cual un líquido se dispersa en otro líquido en forma de pequeñas gotitas, es decir como suspensión. La degradación de este tipo de emulsión es muy lenta y solo puede ser acelerada por la presencia de cierto tipo de bacterias dentro de la emulsión.

- **Sedimentación:**

  Puede suceder por dos mecanismos: el primero se define en la medida que el hidrocarburo se intemperiza resultando en un incremento de su densidad respecto al agua circundante y por consiguiente se hunde. El segundo ocurre por la adhesión de las partículas suspendidas en la columna de agua al petróleo. Esto sólo es importante en el mar.

2.2.2. EL SUELO.

El suelo es un cuerpo natural que es parte integrante del escenario donde ocurren los ciclos biogeoquímicos, hidrológicos y de la cadena alimentaria. Asimismo, es el espacio donde se realizan actividades agrícolas y ganaderas, y es la base para el establecimiento de áreas verdes. El suelo es un recurso natural complejo, dinámico y su equilibrio depende de la interacción entre sus propiedades físicas, químicas y biológicas. (CIIFEN, 2008)

2.2.2.1. Estructura del suelo.

La estructura de un suelo se puede definir como la disposición y organización de las diferentes partículas de este. Dicha estructura constituye una propiedad cualitativa y depende de la porosidad total de un volumen de suelo, de la forma de cada poro y de la distribución global de los tamaños de los poros. Como consecuencia, la estructura de un suelo afecta en gran medida a las propiedades mecánicas de éste, principalmente al movimiento de fluidos, incluidas la infiltración, la retención de agua y la aireación. Aquellos suelos en los que las partículas están sueltas y no adheridas entre sí (como los depósitos no consolidados de polvo del desierto), se definen como carentes de estructura o como poseedores de una estructura de grano simple. En contraposición, los suelos con partículas estrechamente unidas (como en una arcilla seca), se definen como poseedores de una estructura en masa. Los suelos que poseen una estructura intermedia entre las dos anteriormente descritas se denominan agregados (Hillel, 1982).

2.2.2.1.1. La fracción mineral.

La fracción mineral del suelo deriva directamente del material original del mismo y está constituida por fragmentos de aquel unidos a sus productos de transformación, generados en el propio suelo. Ello hace que aparezcan partículas de diferentes tamaños, si bien solo aquellas que son inferiores a los 2 mm son las que se consideran como partículas edáficas.

Al distribuir las partículas minerales del suelo por tamaños establecemos lo que se conoce como fracciones granulométricas.

- **Fracciones granulométricas**

  Conjunto de partículas edáficas cuyo diámetro, supuestas esféricas, está comprendido entre ciertos límites que les prestan unas características definidas. Su tamaño máximo es de 2 mm.

- **Arena gruesa**

  Está constituida por fragmentos de la roca madre y, como ella, es polimineral. Arena muy gruesa. Cuyo tamaño oscila entre 2 mm y 1 mm. Son fragmentos de roca sin alterar. Arena gruesa. De tamaño comprendido entre 1 mm y 0,5 mm. Usualmente presentan algún tipo de alteración superficial. Arena media. Su límite inferior está en 250 mm.

- **Arena fina**

  Está constituida por fragmentos de roca, pero, generalmente, de carácter monomineral y con un nivel de alteración variable. En el caso de los minerales ferríferos es observable un alto grado de transformación en cuanto a su nivel de hidratación. Su tamaño para la SICS está comprendido entre 200 mm y 20 mm. Esta clasificación sigue una escala logarítmica, la cual es muy cómoda de representar, pero no muy adaptable a la realidad natural.

- **Limo**

  Está constituido por materiales heredados o transformados, pero no tienen carácter coloidal. El limo es una fracción donde las transformaciones son mayores y su composición mineralógica se parece a la de las arcillas. Son partículas monominerales en las que hay un alto contenido en filosilicatos de transformación o neoformación. Su tamaño está comprendido entre 50 mm y 2 mm para el USDA y entre 20 mm y 2 mm para la SICS.

- **Arcilla**

Son partículas de carácter coloidal y monomineral que se han formado en el suelo o han sufrido transformaciones en él, aunque en algunos casos pueden ser heredados del material original mediante una micro división de este. El tamaño para los dos tipos de clasificación que hemos considerado es el mismo y corresponde a las partículas menores de 2 mm. En ocasiones se diferencia una arcilla fina con un tamaño inferior a 0.1 mm, muy útil para identificar procesos de ilimerización o movimiento de arcilla en el suelo. (Universidad de Extremadura, 2005)

2.2.2.1.2. Materia orgánica del suelo.

La fracción orgánica del suelo está compuesta por:

- Residuos de plantas y animales.
- Células microbianas.
- Productos resultantes del metabolismo microbiano, comúnmente llamado humus. El humus es materia orgánica que ha sufrido varias degradaciones y transformaciones. Está compuesto en su mayor parte por sustancias polimerizadas: compuestos aromáticos, polisacáridos aminoácidos, polímeros del ácido urónico y compuestos que contienen fósforo. Mucha de la materia orgánica de un suelo, en particular el humus, es ligeramente soluble únicamente en agua y de alguna forma, resistente a la biodegradación. El material húmico tiene propiedades coloidales y una carga neta negativa; por lo tanto, la importancia que tiene en el proceso de formación de complejos organometálicos es considerables. (Alexander, 1991).

2.2.2.2. Humedad del suelo.

Torres (2009) nos indica que la humedad del suelo influye significativamente en la actividad biológica, puesto que un suministro adecuado de agua es esencial para el crecimiento y la estabilidad microbianos. Un suelo con una humedad demasiado baja da lugar a

zonas secas y a una disminución en la actividad microbiana; sin embargo, demasiada humedad inhibe el intercambio de gases y el movimiento de oxígeno a través del suelo y deriva en la aparición de zonas anaerobias, lo cual daría lugar a la eliminación de las bacterias aerobias y el aumento de la presencia de anaerobios o anaerobios facultativos.

2.2.2.3. Gases de un suelo.

Existe una relación directa entre las cantidades de agua y aire contenidas en un volumen de suelo, ya que el espacio de poros que no ocupe el gas lo ocupa el agua. Los principales gases que conforman un suelo son, en esencia, los mismos que se encuentran en la atmósfera terrestre. El aire de la atmósfera está compuesto, aproximadamente, por un 78,08 % de nitrógeno (N_2), un 20,94 % de oxígeno (O_2), un 0,035% de dióxido de carbono (CO_2) y un 0,93 % de gases inertes como el argón y el neón. Sin embargo, las concentraciones relativas de dichos gases en el suelo, específicamente del O_2 y del CO_2, dependen de la aireación de este y de la actividad microbiana en todo el perfil. En un suelo con buena aireación la concentración de O_2 puede oscilar entre el 18 % y 20 % y la concentración del CO_2 puede alcanzar valores tan altos como del 1 % al 2 %. En suelos con menor aireación (como los suelos arcillosos con un alto contenido en agua y una actividad microbiana considerable) el CO_2 puede llegar a presentarse en una concentración del 10 %. En cuanto a la actividad microbiana, el nivel de aireación de un suelo no es tan importante como las condiciones en el interior de los agregados. Aquellos suelos que en general están bien aireados pueden tener zonas microscópicas anaerobias en el interior de las formaciones de agregados, las cuales constituyen una explicación relativa a la presencia de bacterias anaerobias, tales como los clostridium, en las capas superiores de un suelo (Eweis et al., 1999).

2.2.3. LA BIORREMEDIACIÓN

La biorremediación es una tecnología que utiliza el potencial metabólico de los microorganismos (fundamentalmente bacterias, pero también hongos y levaduras) para transformar contaminantes orgánicos en compuestos más simples poco o nada contaminantes, y, por tanto, se puede utilizar para limpiar terrenos o aguas contaminadas (Glazer y Nikaido, 1995).

Su ámbito de aplicabilidad es muy amplio, pudiendo considerarse como objeto cada uno de los estados de la materia (Atlas y Unterman, 1999):

- Sólido. Con aplicaciones sobre medios contaminados como suelos o sedimentos, o bien directamente en lodos, residuos, etc.
- Líquido. Aguas superficiales y subterráneas, aguas residuales.
- Gases. Emisiones industriales, así como productos derivados del tratamiento de aguas o suelos.

2.2.3.1. Antecedentes históricos de la biorremediación.

En la actualidad, la biorremediación enfrenta un nuevo reto, el de convencer a las compañías y a los organismos oficiales de su alto potencial. En algunos países, la biorremediación fue una técnica poco reconocida y marginada, hoy en día se ha convertido en una verdadera industria. Esta “industria” busca seguir mejorando en sus líneas interdisciplinares, que se pueden resumir en los siguientes puntos: Integración en el proceso de técnicas innovadoras que ayuden a comprender y controlar los fenómenos de transporte de nutrientes y otros posibles aditivos. Desarrollo de técnicas rápidas de biología molecular que permitan caracterizar las poblaciones indígenas de los emplazamientos contaminados, así como su potencial enzimático (Theron y Cloete, 2000; Watanabe, 2001).

Exploración de las implicaciones del concepto de biodisponibilidad ("bioavailability") definido por las propiedades fisicoquímicas de los

contaminantes. Se trata de un factor que en muchos casos está limitando la biodegradación y en otros reduciendo la toxicidad de los contaminantes. Desarrollo definitivo de técnicas de bioaumentación realmente útiles (Major et al., 2002).

2.2.3.2. Fundamentación bioquímica de la biodegradación.

El fundamento bioquímico de la biorremediación se basa, principalmente, en la serie de reacciones de óxido-reducción (cuyo fin es la obtención de energía) que se producen en la cadena respiratoria, o transportadora de electrones de las células. La cadena la inicia un sustrato orgánico (compuestos hidrocarburados) que es externo a la célula y que actúa como dador de electrones, de modo que la actividad metabólica de la célula acaba degradando y consumiendo dicha sustancia (Maroto Arroyo, articulo internet). Los aceptores más comúnmente utilizados por los microorganismos son el oxígeno, los nitratos, el hierro (III), los sulfatos y el dióxido de carbono. Cuando el oxígeno es utilizado como aceptor de electrones la respiración microbiana se produce en condiciones aerobias, y los procesos de biodegradación serán de tipo aerobio; sin embargo, si utiliza los sulfatos o el dióxido de carbono se produce en condiciones reductoras o anaerobias, y los procesos de biodegradación serán de tipo anaerobio.

Degradación aeróbica:

$$\text{Sustrato} + O_2 \longrightarrow \text{Biomasa} + CO_2 + H_2O$$

Biodegradación de hidrocarburo producido por las bacterias presentes en el humus:

$$\text{HIDROCARBURO} \qquad CO_2 + H_2O + \text{PROTEINA} + NH_3$$

2.2.3.3. Factores que condicionan la biorremediación de un suelo.

La biodegradabilidad de una mezcla de hidrocarburos presente en un suelo contaminado depende de diversos factores, los cuales como pueden clasificarse en cuatro grupos:

- **Factores medio ambientales**

  Los factores medio ambientales son aquellos necesarios a la hora de proporcionar las condiciones óptimas para el crecimiento de los microorganismos que llevan a cabo la recuperación. Los microorganismos son muy sensibles a los cambios de temperatura, pH, disponibilidad de nutrientes, oxígeno y humedad.

  - **El pH.**

  Afecta significativamente la actividad microbiana. En consecuencia, cuanto mayor sea la diversidad de microorganismos existentes, potencialmente mayor será el rango de tolerancia. No existen unas condiciones preestablecidas que sean óptimas en todos los casos, pero en términos generales el crecimiento de la mayor parte de los microorganismos es máximo dentro de un intervalo de pH situado entre 6 y 8. En general, el pH óptimo para las bacterias heterótrofas es neutro (pH 6 - 8), mientras que es más ácido para los hongos (pH 4 - 5). El pH óptimo establecido para procesos de biodegradación es neutro (pH 7,4 - 7,8) (Dibble y Bartha, 1979).

- **Temperatura.**

  Es uno de los factores ambientales más importantes que afecta la actividad metabólica de los microorganismos y la tasa de biodegradación. Generalmente, las especies bacterianas crecen a intervalos de temperatura bastante reducidos, entre 20 y 30 ºC (condiciones mesófilas), decreciendo la biodegradación por desnaturalización de las enzimas a temperaturas superiores a 40 ºC e inhibiéndose a inferiores a 0 ºC. Sin embargo, también se ha dado la biodegradación de hidrocarburos a temperaturas extremas: 10ºC en suelos subárticos y subalpinos (Sparrow

y Sparrow, 1988; Margesin y Schinner, 1997). 5ºC en suelos árticos (Whyte et al., 1999) 60ºC por una cepa termófila de Bacillus stearothermophilus aislada de un suelo contaminado con crudo de petróleo del desierto kuwaití (Sorkoh et al., 1993).

- **Humedad**

Los microorganismos requieren unas condiciones mínimas de humedad para su crecimiento. El agua forma parte del protoplasma bacteriano y sirve como medio de transporte a través del cual los compuestos orgánicos y nutrientes son movilizados hasta el interior de las células. Un exceso de humedad inhibirá el crecimiento bacteriano al reducir la concentración de oxígeno en el suelo (el rango varía en función de la técnica). Por lo anterior, la humedad del suelo puede limitar de forma severa la biodegradación, fundamentalmente en suelos superficiales afectados por oscilaciones importantes en el contenido de agua. No obstante, el nivel óptimo de humedad depende de las propiedades de cada suelo, el tipo de contaminación y si la biodegradación es aeróbica o anaeróbica.

- **El oxígeno**

Es el aceptor final de electrones generalmente empleado en procesos biológicos y también es necesario en determinados tipos de reacciones de oxidación – reducción catalizada por enzimas. Los microorganismos, oxidan compuestos orgánicos o inorgánicos, obteniendo así la energía necesaria para su crecimiento. El proceso de oxidación da lugar a electrones que intervienen una cadena de reacciones en el interior de la célula y, al final, deben ser vertidos en el entorno. El aceptor final de electrones es el receptor de estos y, en el caso de un metabolismo aerobio, O2 es el aceptor y H2O es el producto. La mayor parte de hidrocarburos presentes en los productos petrolíferos son degradados con mayor extensión y rapidez de forma aeróbica (O_2 como aceptor final de electrones), ya que en ausencia de O_2, y en presencia de aceptores de electrones alternativos (NO_3 - SO_4^{2-} CO_2 Mn_4+ y Fe^{3+}) los

hidrocarburos pueden ser degradados, pero con unas tasas de biodegradación muy inferiores a las aeróbicas (Holliger y Zehnder, 1996; Grishchenkov et al., 2000; Boopathy, 2002; Massias et al., 2003).

2.2.3.4. Alternativas de bioremediación.

- **Biorremediación in situ**

Tratamiento realizado en el lugar en donde ocurrió la contaminación, en el cual se intenta acelerar el proceso en el mismo ambiente modificando las condiciones ambientales y/o por inoculación microbiana.

- **Bioaireación o bioventeo**

Es una técnica altamente efectiva para tratar contaminaciones con compuestos con baja presión de vapor (menos de 1 mmHg), ya que su tasa de degradación es mucho mayor que la de volatilización (Matthews, 1993). La bioaireación generalmente se lleva a cabo en áreas poco profundas y pequeñas; a menudo es factible la instalación de barreras para guiar el flujo, el uso de cubiertas, un control intensivo, un plan de muestreo y un sistema de ventilación. Una característica determinante en la selección de esta técnica es el tipo de contaminante, puesto que es de mayor efectividad donde los contaminantes tienen baja volatilidad (Delgado, 2009).

- **Bioestimulación**

La bioestimulación es el tratamiento en el cual se aumenta nutrientes, se proporciona temperaturas apropiadas al suelo, ajuste del pH, aireación, y otras modificaciones en el medio que sean necesarias, para estimular el crecimiento de los microorganismos autóctonos de un lugar determinado. Estas aproximaciones son válidas siempre y cuando los microorganismos autóctonos sean capaces de degradar el contaminante (UNALM, 2017).

- **Atenuación natural**

  Se denomina biorremediación intrínseca o atenuación natural al proceso que se lleva a cabo por organismos autóctonos, principalmente por bacterias del medio que fue afectado (Rosenberg y Ron, 1996).

  Los Factores que pueden limitar o impedir la atenuación natural en un medio contaminado son (King *et al., 1997):*

- Carencia de nutrientes esenciales para los microorganismos (por ejemplo, nitrógeno y/o fósforo).
- Ausencia de aceptores adecuados de electrones (generalmente oxígeno).
- Inexistencia de condiciones medioambientales apropiadas (pH, potencial redox, humedad, temperatura).
- Ausencia de poblaciones microbianas con el potencial enzimático adecuado necesario para degradar los contaminantes.
- Presencia de componentes tóxicos en la mezcla contaminante.

- **Bioaumentación**

  Es la actividad de añadir al suelo contaminado microorganismos de otros lugares que cuya eficiencia se haya comprobada, debido a la falta de actividad biológica presente en el suelo para degradar el contaminante. Es la introducción de microorganismos aclimatados o incluso modificados genéticamente en el medio contaminado, con el fin de mejorar la biodegradación (Walter, 1997; Atlas y Unterman, 1999). Esta técnica funciona en condiciones de laboratorio o biorreactor, pero en ambientes externos (suelo, agua) su implantación depende de una serie de factores (Alexander, 1999).

- **Biorremediación ex situ**

- **Landfarming o tratamiento en lechos o disposición sobre el suelo o arado del suelo**

  Es una técnica de biorrecuperación que puede ser utilizada para descontaminación tanto “insitu” como “exsitu”, y consiste en provocar la oxidación biológica de los hidrocarburos contenidos en el suelo, por medio de la estimulación de la microflora natural que se encuentra en el suelo (levaduras, hongos o bacterias) mediante el agregado de fertilizantes, arado y riego superficial (ueupsfc, 2017).

- **Bioceldas o Biopilas**

  La técnica de biopilas es un tratamiento de biorrecuperación. La técnica consiste en la formación de pilas de material biodegradable de dimensiones variables, formadas por suelo contaminado y materia orgánica (compost) en condiciones favorables para el desarrollo de los procesos de biodegradación de los contaminantes. Estas pilas de compost pueden ser aireadas de forma activa, volteando la pila, o bien de forma pasiva, mediante tubos perforados de aireación. (ueupsfc, 2017).

- **Vía suspensión**

- **Sistema biorreactor o Contacto líquido-sólido**

  También conocido como sistema biorreactor o contacto líquido-sólido. El procedimiento consiste en excavar el suelo contaminado y luego introducirlo en un reactor añadiendo nutrientes, agua, y los cultivos microbianos adecuados para que se lleve a cabo la degradación. Se mezcla bien y se airea la suspensión hasta que las transformaciones de los compuestos seleccionados para su eliminación alcanzan el nivel deseado. A continuación, se detienen el mezclado y la aireación, y se deja a los sólidos separarse de los fluidos por sedimentación. El sedimento es retirado y, si la transformación ha tenido éxito, el suelo se devuelve a su lugar de origen, mientras que los líquidos se tratan como aguas residuales. Delgado (2012)

2.2.3.5. Microorganismos en la biorremediación.

- **Bacterias**

Los principales microorganismos utilizados en los procesos de biorremediación son las bacterias (Schippers & Sand, 1999) y los hongos (Gadd, 1993), las cuales se usan para neutralizar sustancias toxicas, transformándolas en sustancias menos nocivas o convirtiéndolas en inocuas para el ambiente y la salud humana.

Las bacterias son las más empleadas en el proceso de biorremediación, aunque también se han empleado otros microorganismos como hongos y algas, cianobacterias y actinomicetes para la degradación de compuestos tóxicos del suelo. Además de las bacterias y hongos, existen animales que actúan como agentes descontaminantes, ya que pueden desarrollarse en medios con fuerte toxicidad y poseen en su interior microorganismo capaces de retener metales pesados, tal es el caso de la lombriz de tierra, la cual absorbe contaminantes a través de los tejidos y los acumula en las vías digestivas. (Benavides, 2005)

- **Microorganismos concretos.**

Los hidrocarburos son una clase de compuestos naturales que no solo pueden ser encontrados en áreas contaminadas por petróleo y sus derivados, sino también en cantidades relativamente pequeñas en suelos y sedimentos, derivados de la biosíntesis hecha por plantas, insectos y algunos microorganismos (bacterias, levaduras, hongos miceliales y microalgas).

Una fuente importante de hidrocarburos la constituye la capa cerosa que recubre algunas estructuras vegetales, así como polifenoles y resinas presentes en las acículas de coníferas (las hojas en forma de aguijones de los pinos). La degradación de estas ceras efectuada por algunos animales es limitada, de modo que son los microorganismos los que logran la mineralización completa. (Yanine, 2012)

Pseudomonas. Bacterias capaces de utilizar petróleo para su crecimiento y mantenimiento, y que, por su versatilidad metabólica son capaces de convertir sustratos habitualmente no degradables, en metabolitos fácilmente asimilables o susceptibles de ser catalizados enzimáticamente (Echeverri, Manjarrez, & Cabrera).

Bacillus sp., utiliza como fuente de energía compuestos orgánicos simples y complejos y son productoras de enzimas extracelulares, incluyendo la lipasa.

Micrococcus sp (Naftaleno)., bacteria de ambiente marino degradadora de hidrocarburos, también considerada terrestre.

Vibrio sp., ba9cteria hidrocarbonoclastica al igual que las anteriores mencionadas son capaces de degradar hidrocarburos.

2.2.4. Humus de lombriz.

El humus de lombriz es el resultado de la digestión de materia orgánica (compost, estiércol descompuesto, vegetales, etc.) por las lombrices, obteniéndose uno de los abonos orgánicos de mejor calidad. Se puede producir desde el nivel de mar hasta los 3800 m.s.n.m. (MIDIS, 2014). El humus aporta nutrientes al suelo (Nitrógeno, Fosforo, Potasio), mejora su calidad física, química y biológica.

Debido a su color oscuro, el humus, contribuye a la absorción de calor por el suelo y neutraliza los contaminantes, lo cual favorece la ecología al reducir problemas de contaminación (Pachon, Súarez, Celis, Patiño, & Moyano, 2015).

Además de generar otras ventajas al transformar los desechos orgánicos en productos o coproductos de gran beneficio para el hombre. El humus de lombriz presenta una alta carga microbiana que le permite participar directamente en la regeneración de suelos. El humus presenta un efecto homeostático (tampón), ya que modera los cambios de acidez y neutraliza los compuestos orgánicos tóxicos que llegan a él por contaminación. De esta forma, un suelo que posee el nivel adecuado de materia orgánica humificada, se encuentra con mayores defensas frente

a invasores bacterianas y fúngicas toxicas para las plantas. El humus de lombriz puede almacenarse durante mucho tiempo sin que sus propiedades se vean alteradas, pero es necesario mantenerlas bajo condiciones óptimas de humedad (40%). (Pacheco, 2010)

Tabla 2. Composición del humus de lombriz.

Propiedad	Concentración
Humedad	30-60%
PH	6.8–7.2
Nitrógeno	1-2.6%
Fosforo	2–8%
Potasio	1-2.5%
Calcio	2 -8%
Cobre	0.05%
Manganeso	0.006%
Magnesio	1–2.5%
Materia orgánica	30–70%
Carbono orgánico	14–30%
Ácidos fúlvicos	14–30%
Ácidos húmicos	2.8–5.8%
Sodio	0.02%
Hierro	0.02%
Relación C/N	10–11%

Fuente. Alejandro Escobar Carbajal. Trabajo de práctica empresarial

2.3 NORMATIVIDAD

El sector de hidrocarburos está regido bajo la Ley N°26221, Ley Orgánica de Hidrocarburos, dentro de la que se señala los requisitos para calificación a contratos de exploración o explotación de hidrocarburos, además que nos indica del estricto cumplimiento de las normas de protección del medio ambiente las cuales deben son aprobadas por el OSINERMIN, caso que de no cumplirse estarán sujetas a sanciones pudiendo llegar hasta la terminación del contrato como se indica en el artículo 87.

La misión del OSINERMIN es regular, supervisar y fiscalizar, en el ámbito nacional, el cumplimiento de las disposiciones legales y técnicas relacionadas con las actividades de los subsectores electricidad, hidrocarburos y minería, así como el cumplimiento de las normas legales y técnicas referidas a la conservación y protección del medio ambiente en el desarrollo de dichas actividades.

Una vez finalizado el contrato, la empresa que realizaba la actividad de exploración o explotación está obligado a realizar acciones que determine el reglamento del medio ambiente que apruebe el Ministerio de Energía y Minas.

La amazonia peruana ha venido sufriendo derrames de petróleo el cual ha afectado a la flora, fauna y pobladores de las zonas aledañas, y, según la Resolución Directoral N°012-2016-OEFA/DS emitida por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) que el derrame en el Tramo II como en el Ramal Norte del Oleoducto Norperuano se produjeron debido al deterioro de la tubería por un proceso corrosivo (Atilano, 2018). La ley N°26221, nos señala en el artículo 72 que el transporte de hidrocarburos de toda empresa de explotación se realizara mediante ductos los cuales están normados por un reglamento dictado por el Ministerio de Energía y Minas, D.S. 041-99-EM, en la cual se nos da a conocer todos los alcances para que una persona natural o jurídica nacional o extranjera pueda construir, operar y mantener ductos para el transporte de hidrocarburos y de sus productos derivados (OSINERMIN, 2005).

2.3.1 Reglamento para la protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos.

Un reglamento aplicable en todo el territorio nacional que tiene por objetivo normar la protección y gestión ambiental de las actividades de hidrocarburos, además de que busca prevenir, minimizar, rehabilitar, remediar y compensar los impactos ambientales negativos asociadas a tales actividades, su base legal se sostiene en lo establecido en la Constitución Política del Perú; la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente; la Ley N° 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental; la Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación del

Impacto Ambiental modificada por el Decreto Legislativo Nº1078 y su Reglamento aprobado por Decreto Supremo Nº019-2009-MINAM; Texto Único Ordenado de la Ley Orgánica de Hidrocarburos, aprobado mediante Decreto Supremo Nº042-2005-EM y las demás disposiciones legales pertinentes; así como sus modificatorias o sustitutorias. (MEM, 2014)

La responsabilidad ambiental recae sobre el titular de la actividad quienes además son responsables del cumplimiento de lo dispuesto en el marco legal vigente. Los titulares son responsables por las emisiones atmosféricas, descargas de efluentes líquidos, la disposición de residuos sólidos y las emisiones de ruido, el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) vigentes, y que la actividad que realizan no exceda los Límites Máximos Permisibles (LMP), tal y como lo indica el artículo N°3 del Reglamento para la protección ambiental en las actividades de hidrocarburos.

De la función de supervisión y fiscalización son responsables el OEFA y las EFA en los casos que corresponda, y al OSINERMIN el cumplimiento de las disposiciones legales y técnicas relacionadas con la seguridad de la infraestructura.

2.3.2 Marco legal para la gestión de sitios contaminados.

El MINAM regula de manera transectorial la gestión de sitios contaminados, a través de:

Decretos

- D.S. N°002-2013-MINAM Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo.
- D.S. N°002-2014-MINAM: Disposiciones complementarias para la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo.

Guías Técnicas

- Guía para muestreo de suelos.
- Guía para elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos.

- Guía para la Elaboración de Estudios de Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente (ERSA) en Sitios Contaminados.

Tabla 3. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. D.S.002-2013-MINAM.

N°	Parámetro	Suelo Agrícola	Residencial/ Parques	Comercial/ Industrial/ Extractivos	Método de Ensayo
I	**Orgánicos**				
1	Fracción de hidrocarburos F1 (C5-C10) (mg/Kg MS)	200	200	500	EPA 8015
2	Fracción de hidrocarburos F2 (C10-C28) (mg/Kg MS)	1200	1200	5000	EPA 8015
3	Fracción de hidrocarburos F3 (C28-C40) (mg/Kg MS)	3000	3000	6000	EPA 8015

Fuente: MINAM, 2013

Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo son aplicables a todo proyecto y actividad, cuyo desarrollo dentro del territorio nacional genere o pueda generar riesgos de contaminación del suelo en su emplazamiento y áreas de influencia.

CAPÍTULO III

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

3.1.1. Ubicación Geográfica

El proyecto se llevó a cabo en el campus de investigación de la Universidad Nacional de Ucayali, en el área de cultivos nativos ubicada en el departamento de Ucayali, provincia de Coronel Portillo de la ciudad de Pucallpa.

Coordenada UTM:

Metros Este: 0546897

Metros Norte: 9070427

Altura: 160m



Figura 1. Ubicación del proyecto.

3.2. METODO DE INVESTIGACION

La metodología de investigación que se desarrolló fue el experimental, con muestra no probabilística, en el cual se aplicó un Diseño Completamente al Azar (DCA). Ya que el tipo y cantidad de suelo y crudo de petróleo fueron iguales para todos los tratamientos; siendo el componente que puso las variabilidades, el humus de lombriz. La presente investigación tiene como propósito comprobar la eficiencia del humus de lombriz, para tratar un suelo contaminado con petróleo, mediante la acción bacteriana que degrada el hidrocarburo presente en el suelo.

3.2.1. Población y muestra

.

En el presente proyecto no se tuvo población y muestra, ya que la investigación fue realizada en condiciones controladas, mediante celdas de 1x1 m ($1m^2$) con 20 cm de profundidad, donde se extrajo el suelo (200 Kg) para colocarlo en un recipiente y mezclarlo con petróleo crudo (1 galón); antes de volver a poner el suelo en la celda, se colocó un plástico de alta densidad para evitar que el petróleo crudo se infiltre a la napa freática.

3.3 INSTRUMENTOS, MATERIALES, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS.

3.3.1. Materiales

- Tablero de campo
- Libreta de campo
- Plástico de alta densidad.
- Listones de Madera 1”x 2”x4´
- Cinta de señalización.
- Crudo de petróleo.
- Frascos de vidrio, con tapa hermética.
- Guantes de látex verdes de nitrilo
- Mascarilla
- Bata del laboratorio
- Cooler
- Tarjetas de rotulación

3.3.2. Equipos

- Medidor de pH.
- Termómetro.
- Higrómetro.
- GPS

3.3.3. Herramientas

- Martillo, clavos.
- Lampas y picos
- Machetes
- Rastrillo de madera.

3.4 PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

Se desmalezó la vegetación que cubría el terreno, posterior se delimitó la posición de las 12 celdas de tratamiento, cada una de 1 m^2 de superficie con 20 cm de profundidad y con una separación de 60 centímetros entre cada celda.

- se colocó un plástico de alta densidad debajo de cada celda de tratamiento con la finalidad de evitar la lixiviación del hidrocarburo a la napa freática.
- Se retiró todo el suelo de las doce excavaciones, estas fueron mezcladas y homogenizadas, para luego ser colocadas otra vez en las celdas donde recibirán los tratamientos.
- Se tomó muestras del suelo inicial con barreno, la muestra fue envía al Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA).
- Se aplicó 1 galón de crudo de petróleo en cada una de las celdas, y se homogenizó la celda completamente.

  -Se colocó la señalización del área de trabajo y los avisos indicativos y de seguridad.
- Se tomó muestras de humus de lombriz que fue utilizado como tratamiento para el suelo contaminado con hidrocarburo, colocando 1kg de muestra en una bolsa ziploc, con la debida rotulación.
- Aplicó en las Celdas T2, 10 kg de humus de lombriz, homogenizar la mezcla.

- Aplicó en las Celdas T3, 20 kg de humus de lombriz, homogenizar la mezcla.
- Aplicó en las Celdas T4, 30 kg de humus de lombriz, homogenizar la mezcla.
- Las celdas T1 solo contuvo las bacterias naturales del suelo y no se neutralizó la acides del terreno.

  -Para el análisis de hidrocarburos totales de petróleo (TPH) presentes en el suelo, se recolectó muestras de suelo de cada celda de tratamiento.

  -Se repitió la toma de muestra dos veces más, una en el mes de setiembre y la última toma de muestra en el mes de noviembre.

- Se efectuó cada semana la medición de la temperatura del suelo de las celdas de tratamiento.
- Semanalmente el suelo fue removido con palas, quedando completamente homogenizado.

  Las muestras iniciales de suelos fueron enviados al Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), para conocer la caracterización del suelo.

  Las muestras tomadas para el análisis de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH), fueron enviadas al laboratorio ALS Global con las respectivas hojas de cadena de custodia.

  Se realizo un muestreo de superficie, el cual se realiza en derrames o contaminación reciente y para tasas reducidas de migración de contaminantes. Cuando se realiza este muestreo a poca profundidad (menos de 50-100 cm), se podrá usar cucharas de degrado o lampas; En este muestreo se usó lampas.

3.5. PROCESAMIENTO DE DATOS RECOLECTADOS.

Tabla 4. Proporciones de mezcla para cada tratamiento.

TRATAMIENTO	SUELO (Kg)	HUMUS (Kg)	CRUDO DE PETRÓLEO (Lt)
T_1	200	0	4
T_2	200	10	4
T_3	200	20	4
T_4	200	30	4

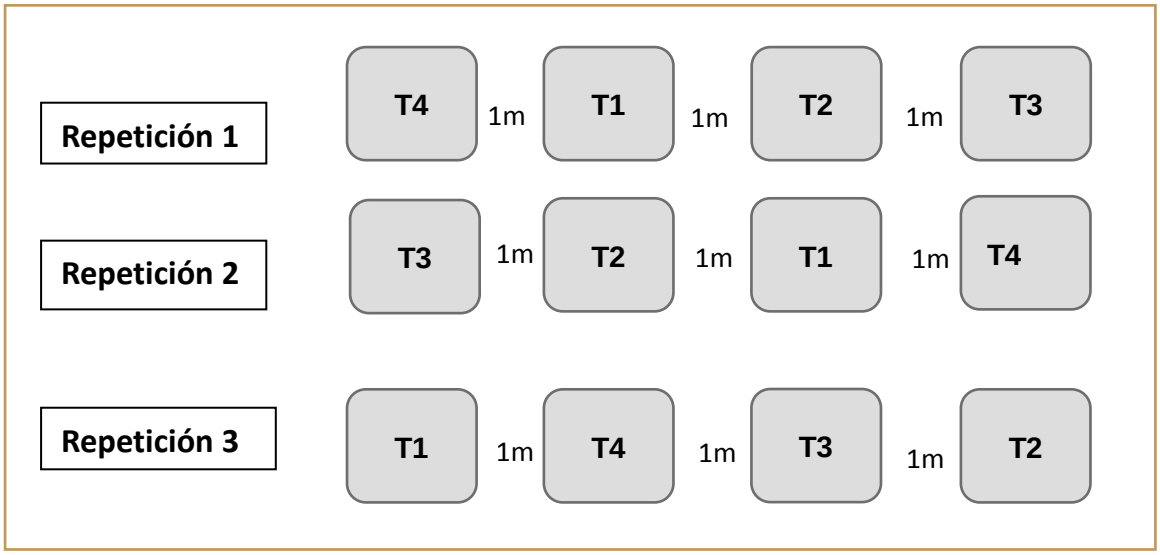


Figura 2. Disposición de tratamientos y repeticiones en el experimento.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. TIPOS DE MICROORGANISMOS ENCONTRADOS EN EL HUMUS DE LOMBRIZ.

Se uso el método SM9215E, para determinar el tipo de bacterias presentes en el humus de lombriz usado en el experimento, el parámetro usado fue de Bacterias Heterotróficas, y se encontraron un total de 4 100 000 UFC/g, Los métodos de cultivo que se usaron fueron: Agar centrimide, Agar plate count, Agar sangre y Agar TCBS; encontrando coloración Gram: Bacilos Gram (-), Bacilos Gram (+), Cocos Gram (-) y Cocos Gram (+); los géneros presuntuosos encontrados fueron: pseudomonas sp. Bacillus sp. Micrococcus sp. Vibrio sp, y dos no identificados. Ver tabla 5.

Tabla 5. Microorganismos presentes en el humus.

MEDIO DE CULTIVO	CARACTERÍSTICAS DE LAS COLONIAS SELECIONADS	COLORACIÓN GRAM	GÉNERO PRESUNTIVO
Agar Centrimide	Colonias grandes, redondas, de bordes irregulares con pigmentación verde	Bacilos Gram (-)	pseudomonas sp. (1^{a})
Agar plate count	Colonias de forma irregular, color crema, grandes de consistencia seca	Bacilos Gram (+)	Bacillus sp. (1^{b})
Agar plate count	Colonias de color amarillo, pequeñas, con bordes regulares, y aspecto seco	Cocos Gram (+)	Micrococccus sp. (1^{c})
Agar sangre	Colonias de negras, brillantes, de bordes irregulares, producen halo de hemolisis	Bacilos Gram (+)	No identificado (1^{d})
Agar TCBS	Colonias con el centro de color verde azuladas, grandes, de bordes regulares	Bacilos Gram (-)	Vibrio sp-. (1^{e})
	Colonias de color amarillo, de bordes regulares, aspecto cremoso, ligeramente planas, pequeñas, con centros opacos.	Cocos Gram (-)	No identificado (1^{f})

Laboratorio Natura Analítica. Pucallpa,2017.

4.2. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO, ANTES DE CONTAMINARLO CON CRUDO DE PETRÓLEO.

Es necesario saber hasta qué grado un suelo ha sido perjudicado por la presencia de crudo de petróleo, para esto se realizaron pruebas de laboratorio antes y después de la aplicación de crudo de petróleo. Es muy importante conocer las características físicas y químicas de un suelo que se ha impactado con hidrocarburos y que son básicos si se requiere diseñar alguna tecnología de restauración. Así, como la porosidad, pH, humedad, temperatura y contenido de nutrimentos son indispensables para los procesos de biorremediación (Morgan y Watkinson, 1989). En el caso de aplicar métodos de extracción de vapor del suelo, se requiere conocer su porosidad, permeabilidad y textura (Suthersand, 1998). Se realizaron exámenes fisicoquímicos del suelo contaminado con crudo de petróleo, aquí observamos los cambios ocurridos en el suelo por medio de los análisis textual y análisis de fertilidad. Ver tabla 6.

Tabla 6. Análisis químico del suelo.

	ANÁLISIS TEXTURAL										
	Clase Textural	Densidad Aparente (gr/cm3)	Porosidad (%)	N (%)	pH	M.O (%)	Fósforo (p.p.m.)	Calcio (Cmol/Lt)	Magnesio (Cmol/Lt)	Potasio (Cmol/Lt)	Aluminio (Cmol/Lt.)
Suelo Inicial	Franco Arcilloso	1,28	51	0,1	5,17	2,16	17,38	3,65	1,09	0,28	1,2
Suelo (Humus + Crudo de Petróleo)	Franco Arcilloso	1,31	52	014	5,15	3,08	26,25	4,35	1,25	0,39	0,4

Se observar que no se produjo cambio en la textura. En cambio, cuando el suelo está contaminado con 150 000 mg/kg de crudo de petróleo, las partículas de arcilla disminuyen y los valores de arenas aumentan marcadamente, mientras que el limo presenta muy poca variación aún en alta concentración de este hidrocarburo y esto hace que la clase textual cambie. (López V. E., 2000)

El pH prácticamente no tuvo variación alguna en presencia del crudo de petróleo, el pH inicial fue de 5,17, del suelo contaminado fue de 5,15 pH, el suelo continúo siendo acido. Ver Figura 3. La materia orgánica fue uno de los parámetros con que tuvo variaciones, de 2,16 % de materia orgánica, con presencia de crudo de petróleo aumento a un 3,08 %. Ver Figura 4. El fosforo mostro cambios más relevantes, aumentó con la presencia del crudo de petróleo, de 17,38 (ppm) a 26,25 (ppm). Ver Figura 5. El nitrógeno aumento de manera insignificantica, de 0,1% con presencia de crudo de petróleo ascendió a 0,14 %. Ver Figura 6.

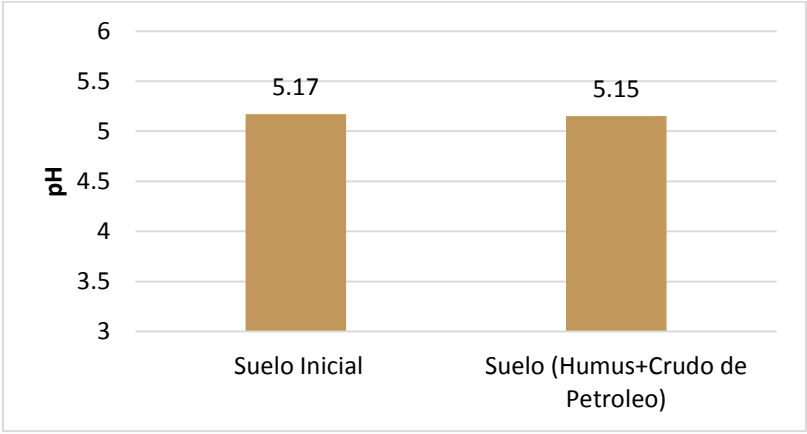


Figura 3. Variación del pH del suelo inicial y suelo (humus + crudo de petróleo).

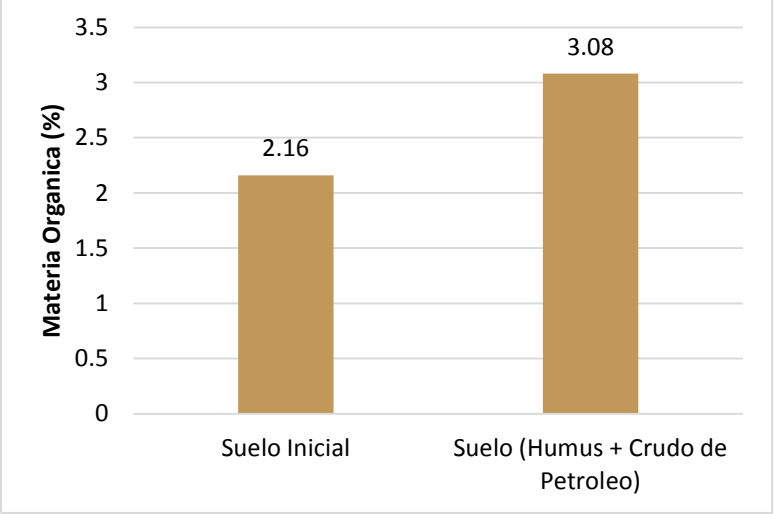


Figura 4. Variación del contenido de Materia Orgánica en el suelo inicial y suelo (humus + crudo de petróleo).

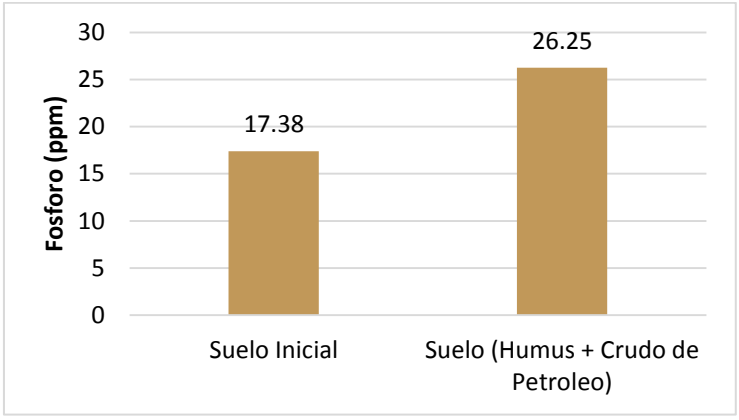


Figura 5. Variación de contenido del Fosforo en el suelo inicial y suelo (humus + crudo de petróleo).

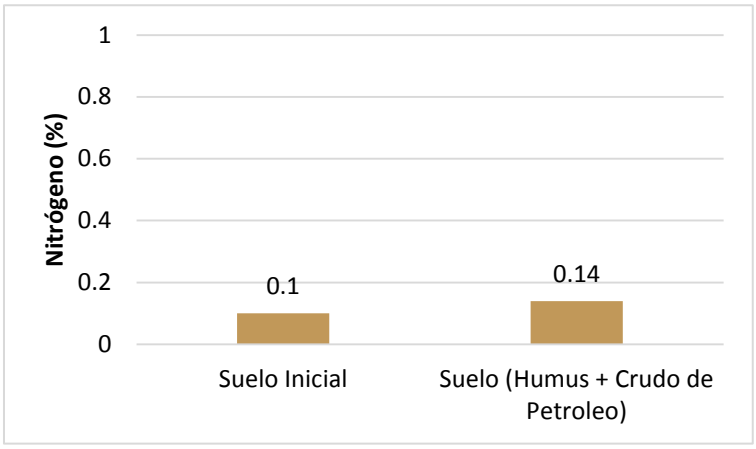


Figura 6. Variación del contenido de Nitrógeno del suelo inicial y suelo (Humus + crudo de Petróleo).

El calcio, magnesio y potasio ascendieron ligeramente, de 1,09 (Cmol/Lt) a 1,25 (Cmol/Lt), de 0,28 (Cmol/Lt) a 0,39 (Cmol/Lt), de 3,65 (Cmol/Lt) a 4,35 (Cmol/Lt), con presencia de crudo de petróleo respectivamente. aluminio disminuyó levemente, de 1,2 (Cmol/Lt) en el suelo inicial, con presencia de crudo de petróleo a 0,4 (Cmol/Lt). Ver Figura 7.

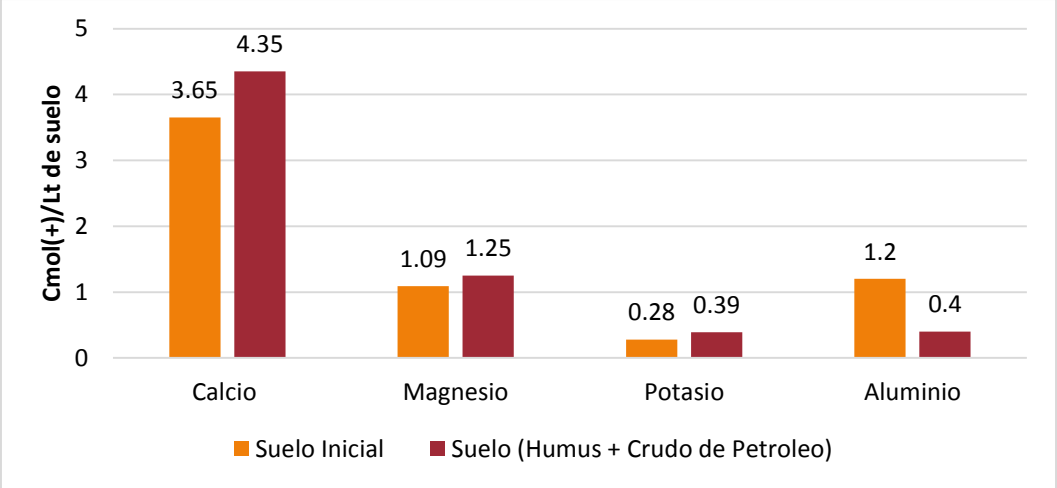


Figura 7. Variación del contenido de calcio, magnesio, potasio y Aluminio en el suelo y suelo (Humus + crudo de Petróleo).

4.3. PRESENCIA DE HIDROCARBUTOS TOTALES DE PETROLEO (TPH) PRESENTES EN EL SUELO PARA CADA REPETICIÓN Y CADA TRATAMIENTO.

Se realizaron 3 análisis con la finalidad de conocer el estado en que se encontraban las celdas de tratamiento. Los resultados que se obtuvieron están en relación con la dosis que se aplicó en cada tratamiento, los cuales fueron analizados en el Laboratorio ALS GLOBAL, fueron los siguientes:

Tabla 7. Presencia de Hidrocarburos Totales de Petróleo en el experimento a los primeros 12 días.

12 de julio	**R1** mg/kg	**R2** mg/kg	**R3** mg/kg	**Promedio** mg/kg
T1	7 184,00	6 961,00	994,40	5 046,47
T2	5 353,00	12 192,00	3 839,00	7 128,00
T3	2 366,00	5 829,00	7 218,00	5 137,67
T4	3 006,00	2 679,00	2 947,00	2 877,33

Para el primer análisis, que fue realizado el 12 de Julio del 2017. Los resultados obtenidos indican que en el T1 se encontraron un total de 5046,47 mg/kg de Hidrocarburos totales de petróleo presente en el suelo, asimismo,

en el T2 nos muestra un total de 7128,00 mg/kg de TPH Presente en el suelo, mientras que en el T3 hubo un total de 5137,67 mg/kg de TPH presente en el suelo y por último en el T4 se encontró un total de 2877,33 mg/kg de TPH Presente en el suelo. Ver figura 8.

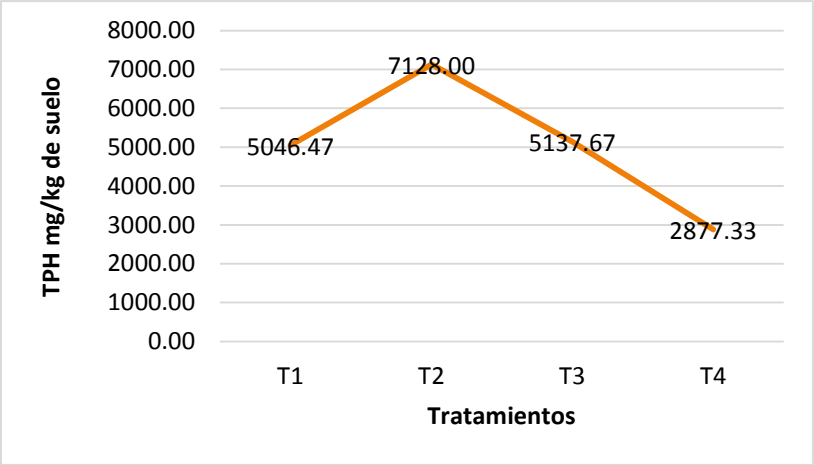


Figura 8. TPH promedio presente en el suelo tras el primer análisis.

El análisis de varianza (ANOVA) muestra que el nivel de significancia es de 0,464 que es mayor a 0,05 alfa utilizado para el análisis, el cual indica que entre los tratamientos no existen diferencias significativas, por lo tanto, al se acepta la hipótesis nula, en la que se sostiene que las medias de los tratamientos son iguales ($U_1=U_2=U_3=U_4$), razón por la cual no es necesario realizar una prueba de promedios para determinar diferencias entre tratamientos. Ver tabla 8.

Tabla 8. Presencia de Hidrocarburos Totales de Petróleo en el experimento a los primeros 12 días de instalado el experimento.

ANOVA

TPH

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	27138704,667	3	9046234,889	,942	,464
Intra-grupos	76817824,000	8	9602228,000		
Total	1,040E8	11			

Tabla 9. Hidrocarburos Totales de Petróleo presentes en el experimento a los 2 meses de instalar el experimento.

13 de setiembre	**R1** mg/kg	**R2** mg/kg	**R3** mg/kg	**Promedio** mg/kg
T1	3 832,00	3 487,00	2 402,00	3 240,33
T2	4 090,00	1 968,00	2 649,00	2 902,33
T3	60,80	1 600,00	2 448,00	1 369,60
T4	1 201,00	2 469,00	846.40	1 505,47

Para el segundo análisis, realizado el 13 de setiembre del 2017. Los resultados del análisis nos indica que en el T1 había un total de 3240,33 mg/kg de Hidrocarburos totales de petróleo presente en el suelo, en T2 hubo un total de 2902,33 mg/kg de TPH Presente en el suelo, T3 hubo un total de 1369,60 mg/kg de TPH Presente en el suelo y en T4 se encontró un total de 1505,47 mg/kg de TPH Presente en el suelo. Ver figura 9.

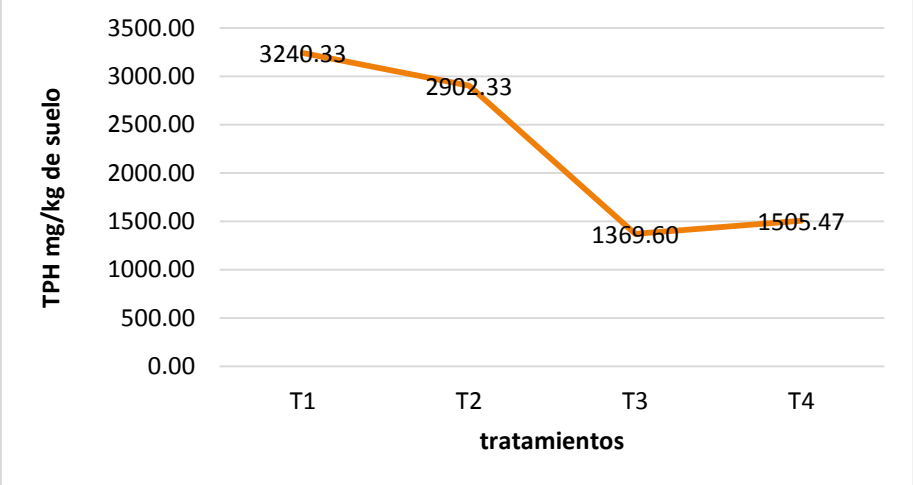


Figura 9. TPH promedio presente en el suelo tras el segundo análisis

El análisis de varianza (ANOVA) muestra que el nivel de significancia es de 0,109 que es mayor a 0,05 alfa utilizado para el análisis, el cual indica que entre los tratamientos no existen diferencias significativas, por lo tanto, al se acepta la hipótesis nula, en la que se sostiene que las medias de los tratamientos son iguales (U1=U2=U3=U4), razón por la cual no es necesario

realizar una prueba de promedios para determinar diferencias entre tratamientos. Ver Tabla 10.

Tabla 10. Presencia de Hidrocarburos Totales de Petróleo presentes en el experimento a los 2 meses de instalar el experimento.

ANOVA

TPH

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	8208978,000	3	2736326,000	2,789	,109
Intra-grupos	7848500,667	8	981062,583		
Total	16057478,667	11			

Tabla 11. Resultado de TPH presentes en el suelo 4 meses de implantar el Experimento.

22 de noviembre	**R1** mg/kg	**R2** mg/kg	**R3** mg/kg	**Promedio** mg/kg
T1	2 624,00	802,40	1 177,00	1 534,47
T2	1 582,00	1 024,00	744,30	1 116,77
T3	520,40	5 99,70	923,10	681,07
T4	542,50	8 63,40	707,00	704,30

Para el tercer análisis, realizado el 22 de noviembre del 2017. Los resultados obtenidos del análisis nos indica que en el T1 se contaba con un total de 1534,47 mg/kg de Hidrocarburos totales de petróleo presente en el suelo, mientras que en el T2 un total de 1116,77 mg/kg de TPH Presente en el suelo y por el contrario en el T3 y T4 un total de 681,07 mg/Kg y 704,30 mg/kg de TPH Presente en el suelo respectivamente, siendo estos dos últimos los datos más bajos obtenidos del periodo que duro la aplicación de la metodología. Ver Figura 10.

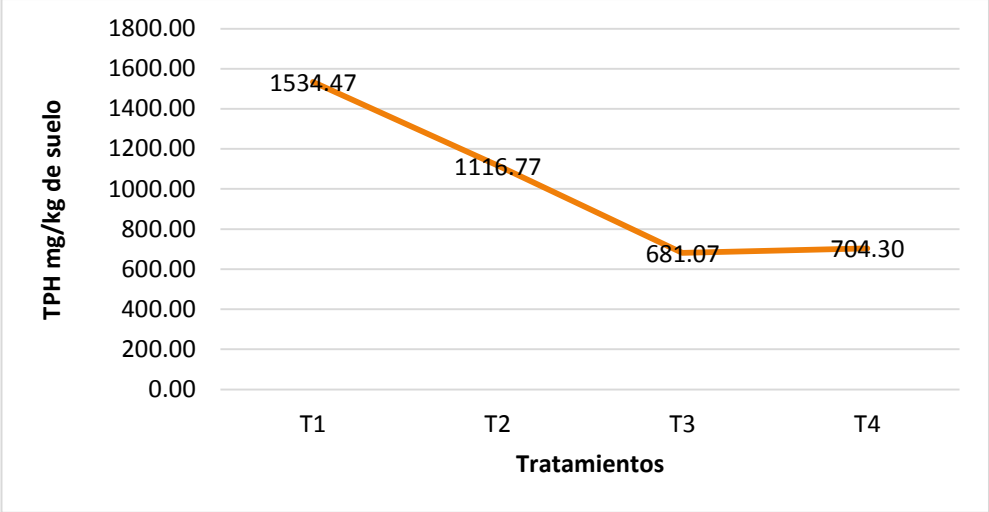


Figura 10. TPH promedio presente en las muestras tras el tercer análisis

El análisis de varianza (ANOVA) muestra que el nivel de significancia es de 0,252 que es mayor a 0,05 alfa utilizado para el análisis, el cual indica que entre los tratamientos no existen diferencias significativas, por lo tanto, al se acepta la hipótesis nula, en la que se sostiene que las medias de los tratamientos son iguales (U1=U2=U3=U4), razón por la cual no es necesario realizar una prueba de promedios para determinar diferencias entre tratamientos. Ver tabla 12.

Tabla 12. Resultado de TPH presentes en el suelo 4 meses después instalar el experimento.

ANOVA

TPH

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	1465184,917	3	488394,972	1,657	,252
Intra-grupos	2358118,000	8	294764,750		
Total	3823302,917	11			

4.4. PROMEDIO DE TRATAMIENTOS POR FECHAS

Tabla 13. Resultado de TPH presentes en el suelo tras el segundo análisis.

	12-Jul mg/kg	**13-Set** mg/kg	**22-Nov** mg/kg
T1	5 046,46	3 240,33	1 534,47
T2	7 128,00	2 902,33	1 116,77
T3	5 137,67	1 369,60	681,07
T4	2 877,33	1 505,47	704,30

El primer análisis realizado el 12 de Julio muestran los resultados iniciales de la investigación donde indica que en el T1 se encontraron un total de 5046,47 mg/kg de TPH presente en el suelo, asimismo, en T2 nos muestra un total de 7128,00 mg/kg de TPH Presente en el suelo, mientras que en el tratamiento N°3 hubo un total de 5137.67 mg/kg de TPH presente en el suelo y por último en el tratamiento N°4 se encontró un total de 2877,33 mg/kg de TPH Presente en el suelo. En el segundo análisis, que fue realizado 2 meses después el 13 de setiembre del 2017. Los resultados nos indica que en el T1 había un total de 3240,33 mg/kg de TPH presente en el suelo, en T2 hubo un total de 2902,33 mg/kg de TPH Presente en el suelo, T3 hubo un total de 1369,60 mg/kg de TPH Presente en el suelo y en T4 se encontró un total de 1505,47 mg/kg de TPH Presente en el suelo. Evidenciando una clara reducción de los THP en comparación con el primer análisis. En el tercer análisis, realizado el 22 de noviembre del 2017. Los resultados obtenidos nos indica que en el T1 se contaba con un total de 1534,47 mg/kg de Hidrocarburos totales de petróleo presente en el suelo, mientras que en el T2 un total de 1116,77 mg/kg de TPH Presente en el suelo y por el contrario en el T3 y T4 un total de 681,07mg/Kg y 704,30 mg/kg de TPH Presentes en el suelo respectivamente, logrando remediar el suelo en más de un 80 %. Ver figura 11.

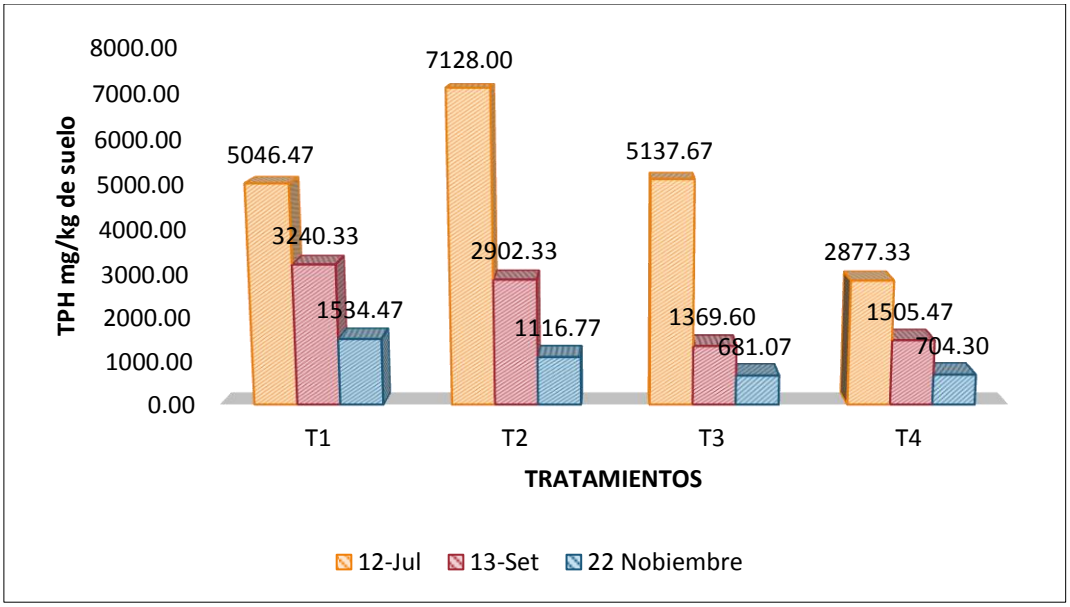


Figura 11. TPH promedio presente en los tratamientos en las 3 diferentes fechas

El análisis de varianza (ANOVA) muestra que el nivel de significancia es de 0,693 que es mayor a 0,05 alfa utilizado para el análisis, el cual indica que entre los tratamientos promedios de todas las evaluaciones no existen diferencias significativas, por lo tanto al se acepta la hipótesis nula, en la que se sostiene que las medias de los tratamientos son iguales (U1=U2=U3=U4), razón por la cual no es necesario realizar una prueba de promedios para determinar diferencias entre tratamientos. Ver tabla 14.

Tabla 14. Resultado de TPH presentes en el suelo después de todas las evaluaciones.

ANOVA

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	7326100,250	3	2442033,417	,499	,693
Intra-grupos	39157416,667	8	4894677,083		
Total	46483516,917	11			

Buendía Ríos (2012) realizo un trabajo referido a la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos utilizando organismos vivos para el consumo de los hidrocarburos de petróleo en el suelo, encontrando que la mezcla de estiércol y aserrín disminuyó 22,5% el contenido de hidrocarburos en el suelo,

empleando solo estiércol disminuyó 16,5% y usando solamente aserrín disminuyó 9,6%. De acuerdo con los resultados obtenidos con la aplicación de humus de lombriz, fueron 86,74%, 84,33%, 75,52% y 69,59%, lo que indica que el uso de estiércol de animales para la remediación del suelo es de gran eficacia.

Windevoxhel Sánchez, Subero, Bastardo, & Malaver (2009), estudiaron el efecto de humus y la bioaumentación en la biorremediación de un suelo petrolizado mediante ensayos a escala de laboratorio aislando 29 cepas bacterianas del suelo contaminado y se conformó un cultivo mixto con aquellas que dieron respuesta positiva a un grupo de pruebas enzimáticas; encontrando los mayores niveles de remoción de aceites y grasas (97,2%, 96,0% y 93,1 %) en los tratamientos con humus e inoculación combinadas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

1. El efecto del humus de lombriz en el tratamiento de suelos contaminados con crudo de petróleo a los dos meses de aplicación mostró una respuesta estadísticamente no significativa, aunque se logró disminuir la presencia de TPH (mg/kg) en el suelo en un 35% en el T1, 59% en el T2, 73% en el T3 y 47% en el T4 respectivamente. El efecto del humus de lombriz en el tratamiento de suelos contaminados con crudo de petróleo a los cuatro meses de aplicación se logró disminuir la presencia de TPH (mg/kg) en el suelo tomando como base los datos del segundo mes obteniéndose los siguientes resultados: En el tratamiento T1 disminuyo en un 52%, en el T2 en un 61%, en el T3 50% y en el T4 53% respectivamente.

2. Las características fisicoquímicas del suelo que experimentaron cambios con la aplicación de crudo de petróleo fueron: el contenido de Fósforo, aumento en 8,876 p.p.m. en promedio; el contenido de Aluminio bajó en un promedio de 0,7 (Cmol/Lt.), El nitrógeno aumento en 0,04 % respecto al contenido inicial; el magnesio aumento en 0,14 (Cmol/Lt). El pH del suelo se mantuvo entre 5,15 y 5.17 (fuertemente acido). Las propiedades físicas mostraron una ligera variación como es el caso de la densidad aparente y la porosidad total.

3. El porcentaje de eficiencia del humus de lombriz para el tratamiento de suelo contaminado con crudo de petróleo fue estadísticamente no significativo, aparentemente se encontraron resultados favorables con el T3, es decir, con la aplicación de 20 kg de humus de lombriz, disminuyendo de 5137,6 mg/kg a 681.06 de TPH a los 4 meses de aplicación del crudo de petróleo.

4. El efecto del humus de lombriz en el tratamiento de suelos contaminados con crudo de petróleo a los cuatro meses de aplicación mostró una respuesta estadísticamente no significativa, el T3 mostro resultados favorables en

comparación a los demás tratamientos, la aplicación de 20 kg de humus de lombriz logró disminuir 5137,6 mg/kg a 681.06 de TPH a los 4 meses de aplicación del crudo de petróleo.

5. Se determino la presencia de los tipos de microorganismos presentes en el humus de lombriz, El análisis se realizó en el laboratorio Natura Analítica, el cual uso diferentes medios de cultivos como: Agar centrimide, Agar plate count, Agar sangre y Agar TCBS; encontrando coloración Gram: Bacilos Gram (-), Bacilos Gram (+), Cocos Gram (-) y Cocos Gram (+); los géneros presuntuosos encontrados fueron: pseudomonas sp. Bacillus sp. Micrococcus sp. Vibrio sp, y dos no identificados.

RECOMENDACIONES

1. Se hace énfasis en la aplicación de la metodología propuesta en la presente tesis como una alternativa al tratamiento químico empleado por las empresas petroleras, en su mayoría, por su rápida acción, para combatir los derrames ocurridos y que dejan y/o pueden dejar secuelas nocivas para el medio ambiente, esta aporta nutrientes y crea un ambiente favorable para las bacterias presentes en el suelo, ayudando a acelerar la resiliencia del suelo.

2. En tratamientos de biorremediación la velocidad de descomposición por los organismos depende en gran medida de su concentración, respecto a las características del suelo (disponibilidades de oxígeno y de nutrientes, pH, humedad y temperatura) y del contaminante. Para definir el tratamiento y/o dosis más apropiada es necesario realizar un estudio previo de caracterización del suelo y el nivel de contaminación que este presenta, con el fin recuperar sus características biológicas y morfológicas.

3. Fortalecer las alianzas con las instituciones SERNANP, GOREU, UNU, OEFA SOINERGMIN y ONG’s para la implementación de políticas, estrategias y planes de acción inmediata dirigidos a la gestión efectiva ante los derrames de petróleo, trabajando con agricultores que se dediquen a la producción de humus de lombriz, para la comercialización de sus productos, que contribuyan a la protección de los recursos naturales y al desarrollo armónico y sostenible de las sociedades.

4. Se recomienda neutralizar el pH del suelo, El pH neutro crea un ambiente favorable para los microorganismos presentes en el suelo, mejorando la acción de los microrganismos reduciendo el tiempo de biorremediación del suelo.

CAPITULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anonimo. (s.f.). *ecured.cu*. obtenido de https://www.ecured.cu/biorremediaci%c3%b3n_de_suelos_contaminados_con_hidrocarburos

Atilano, I. (31 de marzo de 2018). *perú21*. obtenido de todo lo que necesitas saber sobre los 2 derrames de petróleo en la amazonía peruana [informe]: https://peru21.pe/lima/necesitas-2-derrames-petroleo-amazonia-peruana-informe-211378

Benavides, J. e. (10 de 10 de 2005). *http://unicolmayor.edu.co/.* Obtenido de http://unicolmayor.edu.co/: http://unicolmayor.edu.co/publicaciones/index.php/nova/article/view/60/119

Bishnoi, n. r., & garima, n. (2004). fungus-an alternative for bioremediation of heavy metal containing wastewater. *journal of scientific and industrial research*, 93-100.

Buendía Ríos, H. (2012). *cybertesis.unmsm.edu.pe*. obtenido de cybertesis.unmsm.edu.pe: http://cybertesis.unmsm.edu.pe/xmlui/handle/cybertesis/2290

Chow. (2004). en j. r. elizabet hernandez, *restauracion de suelos contaminados por hidrocarburos: conceptos basicos* (pág. 149). texcoco: colegio de postgraduados.

CIIFEN. (9 de octubre de 2008). *www.ciifen.org.* Obtenido de www.ciifen.org: http://www.ciifen.org/index.php%3Foption%3Dcom_content%26view%3Darticle%26id%3D580%253Aciclos-biogeoquimicos%26catid%3D98%253Acontenido-1%26Itemid%3D131%26lang%3Des

Comunicación, J. d. (2016). *cigom*. Obtenido de cigom: http://www.cigom.info

Cuneo, l. o. (2014). *www.perupetro.com.pe*. obtenido de www.perupetro.com.pe: https://www.perupetro.com.pe/wps/wcm/connect/097c40bb-125b-4ed0-ac1a-dc5e77953eb0/140212_peru+energia+presentacion+final+feb.pdf?mod=ajperes

Delgado, k. t. (2009). *bdigital.unal.edu.co*. obtenido de bdigital.unal.edu.co: http://www.bdigital.unal.edu.co/815/1/32242005_2009.pdf

Echeverri, e., manjarrez, g., & cabrera, m. (s.f.). aislamiento de bacterias potencialmente degradadoras de petróleo en hábitats de ecosistemas costeros en la bahía de cartagena, colombia. (o. l. ortiz, ed.) *nova, 8*(13).

Obtenido de http://www.unicolmayor.edu.co/invest_nova/nova/nova13_artorig7.pdf

Energíasur. (2016). *energiasur.com*. Obtenido de energiasur.com: http://energiasur.com/cronologia-de-derrames-petroleros-en-peru/

Fernandez, c., llobregat, m. j., & bastidas, h. y. (2009). *https://scielo.conicyt.cl*. obtenido de https://scielo.conicyt.cl: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07642009000500004&script=sci_abstract

Fraser, B. (27 de junio de 2016). *https://es.mongabay.com*. Obtenido de https://es.mongabay.com: https://es.mongabay.com/2016/06/derrame-petroleo-la-amazonia-peruana-pone-riesgo-comunidades/

Gadd, G. M. (1993). Interaction of fungi with toxic metals. *new phycologist*, 25-60.

hidrocarburos, b. d. (2012). hildebrando buendía r. *rev. del instituto de investigación (riigeo), figmmg-unmsm* , vol. 15, n.º 30, pp. 123-30.

http://www.bdigital.unal.edu.co. (s.f.). Obtenido de http://www.bdigital.unal.edu.co: http://www.bdigital.unal.edu.co/815/1/32242005_2009.pdf

Joaquín Benavides López de Mesa msc, g. q. (10 de 10 de 2005). *unicolmayor.edu.co*. obtenido de unicolmayor.edu.co: http://unicolmayor.edu.co/publicaciones/index.php/nova/article/view/60/119

Jong, T., & parry, d. l. (2003). removal of sulfate and heavy metals by sulfate reducing bacteria in short-term bench scale upflow anaerobic packed bed reactor runs. *water research*, 3379-3389.

Limasur, u. n. (2013). *es.scribd.com.* Obtenido de es.scribd.com: https://es.scribd.com/doc/315618154/Biorremediacion-Trabajo

López, M. (02 de octubre de 2017). *www.actualidadambiental.pe*. obtenido de http://www.actualidadambiental.pe/?p=46594

López, V. E. (junio de 2000). efecto de hidrocarburos en las propiedades fisicas y. *Terra Latinoamericana*, 9-17.

Mayra vázquez luna, a. m.-f. (2011). *http://www.redalyc.org*. obtenido de http://www.redalyc.org: http://www.redalyc.org/pdf/939/93920942029.pdf

MEM. (2014). *osinermin*. obtenido de reglamento para la protección ambiental en las actividades de hidrocarburos: http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/PlantillaMarcoLegalBusqueda/Reglamento%20para%20la%20protecci%C3%B3n%20Ambiental%20en%20las%20Actividades%20de%20Hidrocarburos.pdf

Midis. (2014). producción y uso de abonos orgánicos: biol, compost y humus. *proyecto “mi chacra emprendedora - haku wiñay”*, 31-33. (foncodes-paccperú, ed.) tarea asociación gráfica educativa. obtenido de http://www.paccperu.org.pe/publicaciones/pdf/126.pdf

MSc. Janet Nápolesi, d. s. (2015). *http://scielo.sld.cu*. obtenido de http://scielo.sld.cu: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852015000300006

Nava, M. (05 de marzo de 2014). *http://www.venelogia.com*. Obtenido de http://www.venelogia.com: http://www.venelogia.com/archivos/9589/

Noriega, F. (1962). *osinermin*. obtenido de historia de la industria del petróleo en el perú desde sus comienzos hasta la fecha : http://www.osinerg.gob.pe/newweb/uploads/GFH/Historia%20del%20Petroleo%20Peru.pdf

OSINERMIN. (2005). *osinermin*. obtenido de ley orgánica que norma las actividades de hidrocarburos en el territorio nacional, ley n° 26221: http://www2.osinerg.gob.pe/marcolegal/pdf/leyoh-%2026221.pdf

Pacheco, A. (03 de 02 de 2010). *https://www.hortalizas.com.* Obtenido de https://www.hortalizas.com: https://www.hortalizas.com/cultivos/humus-como-sustrato-de-germinacion/

Pachon, e., súarez, m., celis, a., patiño, b., & moyano, j. (16 de abril de 2015). *proyectodelombriculturade11-01-2015*. obtenido de remediacion de suelos mediante el proceso de lombricultura: http://proyectodelombriculturade11-01-2015.blogspot.pe/2015/04/remediacion-de-suelos-mediante-el.html

Palacios, r. (2016). remediacion de suelos contaminados con hidrocarburos . (p. rodriguez, entrevistador)

Prado, a. m. (agosto de 2011). *scielo.org.mx*. obtenido de scielo.org.mx: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0188-49992011000300009

Provincial, C. A. (2007). contaminacion ambientales . *Diario La Opinión Austral de Río Gallegos, Pcia. de Santa Cruz.*

Riesco, r. a. (junio de 2012). *ddd.uab.cat*. obtenido de ddd.uab.cat: https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2012/hdl_2072_206396/pfc_raquelalonsoriesco.pdf

Romo, v. (12 de enero de 2018). perú: las claves del informe del congreso sobre los derrames de petróleo en la amazonía. perú, lima, lima.

Schippers, a., & sand, w. (1999). bacterial leaching of metal sulfides proceeds by two indirect mechanisms via thiosulfate or via polysulfides and sulphur, applied and environmental. *microbiology*, 319-321.

Schroeder, r. h. (1999). *http://www.redalyc.org*. obtenido de http://www.redalyc.org: http://www.redalyc.org/pdf/573/57317209.pdf

Seminario Permanente de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. (s.f.). obtenido de clasificación de los suelos: http://platea.pntic.mec.es/~cmarti3/ctma/suelo/clasif1.htm

Tabak, h. h., lens, p., van hullebusch, e. d., & dejonghe, w. (2005). developments in bioremediation of soils and sediments polluted with metals and radionuclides–1. microbial processes and mechanisms affecting bioremediation of metal contamination and influencing metal toxicity and transport. *environmental science and biotechnology*, 115-156.

Universidad de Extremadura. (17 de marzo de 2005). *área de edafología y química agrícola*. obtenido de edafología. ciencias ambientales: https://www.eweb.unex.es/eweb/edafo/ecap/ecal4fscompmin.htm

Valderrama, g. (2005). *http://www.perutoptours.com*. obtenido de http://www.perutoptours.com: http://www.perutoptours.com/index19ta_el_alto_petroleo.html

Valls, M., & de lorenzo, v. (2002). exploiting the genetic and biochemical capacities of bacteria for the remediation of heavy metal pollution. *fems microbiology*, 327-338.

Windevoxhel, r., sánchez, n., subero, n., bastardo, h., & malaver, n. (enero de 2009). *http://www.redalyc.org*. obtenido de http://www.redalyc.org: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70717292009

Yanine, h. f. (14 de agosto de 2012). *http://agenciadenoticias.unal.edu.co*. obtenido de http://agenciadenoticias.unal.edu.co: http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/bacterias-degradadoras-de-hidrocarburos-aliadas-clave.html

ANEXOS

ANEXO 1. RESULTADOS DE LABORATORIO

Petróleos DE LA SELVA

CERTIFICADO DE CALIDAD
LABORATORIO DE REFINERIA PUCALLPA
MAPLE GAS CORPORATION DEL PERÚ S.R.L.

INFORMACION GENERAL				
Procedencia	Nombre de la Materia Prima		Destino del producto	
MAPLE GAS CORPORATION DEL PERÚ S.R.L.	Petróleo Crudo		Proyecto de Tesis	
Fecha de Muestreo	Fecha de Analisis	Fecha de Reporte	Nombre de Analista de Laboratorio	
13/06/2017	13/06/2017	13/06/2017	Liliana Flores Pinedo	

CARACTERÍSTICAS	MÉTODO ASTM	CALIDAD	ESPECIFICACIONES TECNICAS	
			MIN	MAX
VOLATILIDAD				
Gravedad API observada	D - 1298-12b	42.9		
Gravedad API a 15.6°C		41.0		
Temperatura observada (º F)		81.0		
CONTAMINANTES				
Sales, ptb	D - 3230-13	0.27		
Agua y sedimentos, % Vol.	D - 4007-11[E1]	0.100		
Azufre Total,% masa	D - 4294-10	0.4560		

OBSERVACIONES:	ANALIZADO POR:	APROBADO POR:
	Liliana Flores Pineda Analista de Laboratorio Cod. 3195	Raphael U. Martinez Ocaña Gerente de Refineria y Mantenimiento Código: 2165

Prohibida la reproducción total o parcial sin autorización de Maple Gas Corporation del Perú S.R.L.

Natura Analítica

Natura Analítica SAC
RUC: 20600103661

SECCIÓN II:
ANALISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS

CERTIFICADO DE ANÁLISIS N° 20170750

SOLICITANTE	PAOLA GABRIELA RODRIGUEZ BERNA
PROYECTO	"EFECTO DEL HUMUS DE LOMBRIS EN EL TRATAMIENTO DE SUELO CONTAMINADO CON HIDROCARBURO, UCAYALI – PERÚ"
*MUESTRA	Humus de lombriz
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA	Universidad Nacional de Ucayali – Carretera Federico Basadre Km 6
FECHA DE MUESTREO	**Fecha: 30/06/2017** **Hora: 15:30**
FORMA Y PRESENTACIÓN	2 bolsas de plástico
CANTIDAD RECIBIDA	500 g/bolsa
ANALISTA RESPONSABLE	Mblgo. Francisco Fernández
FECHA DE INGRESO	30/06/2017
*COLECTOR	**La Solicitante**
ANALISIS SOLICITADOS	**MICROBIOLÓGICO**
FECHA INICIO DE ENSAYO	01/07/2017
FECHA TERMINO DE ENSAYO	08/07/2017
FECHA EMISIÓN DE RESULTADOS	11/07/2017

***El laboratorio solo se hace responsable de la muestra a partir de su recepción.**

RESULTADOS

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO
Bacterias Heterotróficas	UFC/g	SM 9215 E	4 100 000

METODO: **SMEWW-APHA-AWWA-WEF Ed. 22 2012**

La muestra se sembró en agar sangre, plate count, cetrimide y TCBS, se analizó las características morfológicas de las diferentes colonias y se seleccionaron algunas de ellas para realizar la coloración Gram.

MEDIO DE CULTIVO	CARACTERÍSTICAS DE LAS COLONIAS SELECCIONADAS	COLORACIÓN GRAM	GÉNERO PRESUNTIVO
Agar Cetrimide	Colonias grandes, redondas, de bordes irregulares con pigmentación verde	Bacilos Gram (-)	*Pseudomonas* sp. (1^a)
Agar Plate Count	Colonias de forma irregular, color crema, grandes, de consistencia seca	Bacilos Gram (+)	*Bacillus* sp. (1^b)
Agar Plate Count	Colonias de color amarillo, pequeñas, con bordes regulares, de aspecto cremoso	Cocos Gram (+)	*Micrococcus* sp. (1^c)
Agar Sangre	Colonias negras, brillantes, de bordes irregulares, producen halo de hemolisis	Bacilos Gram (+)	No identificado (1^d)
Agar TCBS	Colonias con el centro de color verde azuladas, grandes, de bordes regulares	Bacilo Gram (-)	*Vibrio* sp. (1^e)
	Colonias de color amarillo, de bordes regulares, aspecto cremoso, ligeramente planas, pequeñas, con centros opacos	Cocos Gram (-)	No identificado(1^f)

(1^a) Anexo 1, imagen a1 y a2. (1^b) Anexo 1, imagen b. (1^c) Anexo 1, imagen c.
(1^d) Anexo 1, imagen d. (1^e) Anexo 1, imagen e. (1^f) Anexo 1, imagen f.

av. Sáenz Peña 503 PUCALLPA teléfono: 576060
E-MAIL: laboratorioanalitica@gmail.com

Natura Analítica S.A.C.
ANÁLISIS CLÍNICA, MICROBIOLÓGICOS Y MOLECULARES AGUAS Y ALIMENTOS
Av. Sáenz Peña Nº 503
Teléfono: 576060

GERENCIA TÉCNICA
Natura Analítica S.A.C.

Mblgo. Francisco J. Fernández Bocanegra
C.B.P. Nº 12954

Natura Analítica

Natura Analítica SAC
RUC: 20600103661

SECCIÓN II:
ANALISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS

ANEXO 1



Imagen **a1**

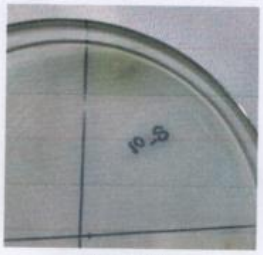


Imagen **a2**

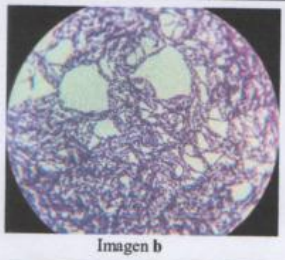


Imagen **b**

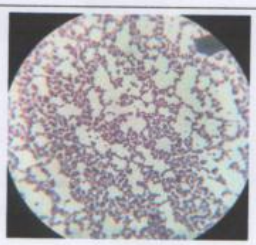


Imagen **c**

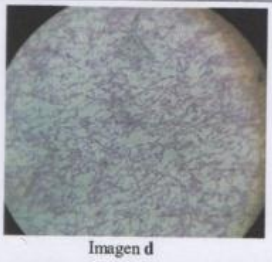
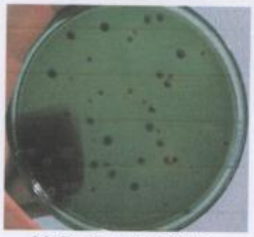


Imagen **d**



Medios de cultivo TCBS

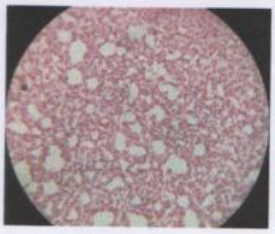


Imagen **e**

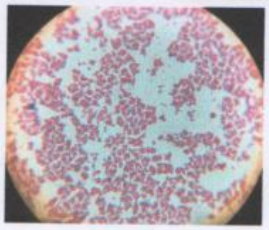


Imagen **f**

av. Sáenz Peña 503 BUCALEMA Teléfono: 576060 E-MAIL: naturaanalitica@gmail.com

Natura Analítica
ANALISIS CLINICO MICROBIOLOGICOS Y MOLECULARES AGUAS Y ALIMENTOS
Av. Sáenz Peña Nº 503
Teléfono: 576060

GERENCIA TÉCNICA
Natura Analítica S.A.C.

PERÚ | Ministerio de Agricultura y Riego | Instituto Nacional de Innovación Agraria | Estación Experimental Agraria Pucallpa

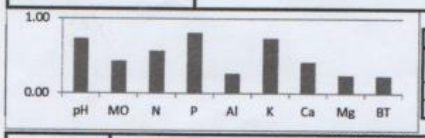
ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y ABONOS

Solicitante:	Paola Rodriguez	Fecha muestreo:	11/07/2017
Procedencia:	Campus UNU	Fecha Recepción	11/07/2017
Dirección Legal:	UNU	Fecha Resultados	04/08/2017
Solicitud Ingreso	SU00053-EEAP-2017	Tipo Muestra:	Suelo
Ensayo Solicitado:	Caracterizacion	Cultivo Anterior:	N/D
Código : 184	B2 T1	Cultivo a Instalar:	N/D
Muestreado por:	El Solicitante	Edad del cultivo:	N/D

Profundidad Suelo (m.)	ANÁLISIS TEXTURAL					
	Profundidad (cm.)	Arena	Arcilla	Limo	Clase Textural	Densidad Aparente (gr/cm3)
		25.52%	33.92%	40.56%	Franco Arcilloso	1.30

	ANÁLISIS DE FERTILIDAD								
	pH	M.O (%)	N (%)	Fósforo (p.p.m.)	Aluminio ($Cmol^{(+)}/Lt.$)	Potasio ($Cmol^{(+)}/Lt.$)	Calcio ($Cmol^{(+)}/Lt.$)	Magnesio ($Cmol^{(+)}/Lt.$)	Bases Totales ($Cmol^{(+)}/Lt.$)
VALORES	5.13	3.15	0.14	28.54	0.40	0.37	4.21	1.24	5.82
Interpretación	Fuertemente ácido	Bajo	Medio	Medio	Bajo	Medio	Bajo	Medio	Medio

	Conductividad Electrica milimhos/cm a 25ºC	PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE BASES				
Valor Calculado	0.06	6.43%	0.06	0.68	0.20	93.57%
Interpretación	No salino. Efecto de salinidad casi nulo	Normal. Sin problemas	Bajo	Bajo	Bajo	Muy alto



OTRAS DETERMINACIONES QUIMICAS	
CIC efectiva (meq/100 g)	% de Saturación de Al respecto a CIC efectiva
6.22	6.43%
Bajo	Normal. Sin problemas

	RELACIONES ENTRE CATIONES					Volumen de Suelo (t./ha)
	Ca / Mg	Mg / K	Ca / K	(Ca + Mg) / K	(Ca+Mg+K) / Al	
VALORES	3.39	3.37	11.42	14.79	14.54	
Interpretación	IDEAL	Aceptable	Margen adecuado para K	Dentro del margen adecuado para el K	No hay problemas con aluminio	0

	OTRAS DETERMINACIONES FISICAS				
	Punto marchitez (gr agua/cm^3 suelo)	Capacidad de campo (gr agua/cm^3 suelo)	Saturación (gr agua/cm^3 suelo)	Conductividad hidráulica (cm/hr)	Agua disponible (lt Agua/dm^3 suelo)
VALORES	0.19	0.34	0.51	0.33	0.15

L. Yanqui

METODOLOGIA: Métodos analíticos para suelos y tejido vegetal usados en el tropico humedo: Autores, Q.F Olinda Ayre V. y Q.F Rafael Román Lima - Perú 1992

pH : Suelo/agua : 1:2.5 — Ca, Mg : Extrac. KCL
CC : Nelson & Sommers — K, P : Extrac. NaHCO3-EDTA-SUPERFLOC
P : Olsen Modificado — K, Ca, Mg : Absorción Atómica
LAYO — D. Apr. : Soil texture triangle hydraulic properties calculator

Instituto Nacional de Innovación Agraria
Estación Experimental Agraria Pucallpa

Dra. Beatriz Sales Davila
Responsable
Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Abonos

www.inia.gob.pe
Carretera Federico Basadre km 4
Pucallpa Ucayali. Perú
T: (061) 571-913
E: pucallpa@inia.gob.pe

PERÚ | Ministerio de Agricultura y Riego | Instituto Nacional de Innovación Agraria | Estación Experimental Agraria Pucallpa

ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y ABONOS

Solicitante:	Paola Rodriguez	Fecha muestreo:	11/07/2017
Procedencia:	Campus UNU	Fecha Recepción	11/07/2017
Dirección Legal:	UNU	Fecha Resultados	04/08/2017
Solicitud Ingreso	SU00053-EEAP-2017	Tipo Muestra:	Suelo
Ensayo Solicitado:	Caracterizacion	Cultivo Anterior:	N/D
Código : 185	B3 T1	Cultivo a Instalar:	N/D
Muestreado por:	El Solicitante	Edad del cultivo:	N/D

Profundidad Suelo (m.)	ANÁLISIS TEXTURAL					
	Profundidad (cm.)	Arena	Arcilla	Limo	Clase Textural	Densidad Aparente (gr/cm3)
		29.52%	29.92%	40.56%	Franco Arcilloso	1.33

	ANÁLISIS DE FERTILIDAD								
	pH	M.O (%)	N (%)	Fósforo (p.p.m.)	Aluminio ($Cmol^{(+)}/Lt.$)	Potasio ($Cmol^{(+)}/Lt.$)	Calcio ($Cmol^{(+)}/Lt.$)	Magnesio ($Cmol^{(+)}/Lt.$)	Bases Totales ($Cmol^{(+)}/Lt.$)
VALORES	5.21	3.08	0.14	26.64	0.30	0.30	4.03	1.22	5.55
Interpretación	Fuertemente ácido	Bajo	Medio	Medio	Bajo	Medio	Bajo	Medio	Medio

	Conductividad Electrica milimhos/cm a 25ºC	PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE BASES				
Valor Calculado	0.04	5.13%	0.05	0.69	0.21	94.87%
Interpretación	No salino. Efecto de salinidad casi nulo	Normal. Sin problemas	Bajo	Bajo	Medio	Muy alto



OTRAS DETERMINACIONES QUIMICAS	
CIC efectiva (meq/100 g)	% de Saturación de Al respecto a CIC efectiva
5.85	5.13%
Muy bajo	Normal. Sin problemas

	RELACIONES ENTRE CATIONES					Volumen de Suelo (t./ha)
	Ca / Mg	Mg / K	Ca / K	(Ca + Mg) / K	(Ca+Mg+K) / Al	
VALORES	3.31	4.00	13.23	17.23	18.50	
Interpretación	IDEAL	Aceptable	Margen adecuado para K	Dentro del margen adecuado para el K	No hay problemas con aluminio	0

	OTRAS DETERMINACIONES FISICAS				
	Punto marchitez (gr agua/cm^3 suelo)	Capacidad de campo (gr agua/cm^3 suelo)	Saturación (gr agua/cm^3 suelo)	Conductividad hidráulica (cm/hr)	Agua disponible (lt Agua/dm^3 suelo)
VALORES	0.17	0.31	0.50	0.41	0.15

L. Yanqui

METODOLOGIA: Métodos analíticos para suelos y tejido vegetal usados en el tropico humedo: Autores, Q.F Olinda Ayre V. y Q.F Rafael Roman Lima - Perú 1992

pH : Suelo/agua : 1:2.5 — Ca, Mg : Extrac. KCL
CC : Nelson & Sommers — K, P : Extrac. NaHCO3-EDTA-SUPERFLOC
P : Olsen Modificado — K, Ca, Mg : Absorción Atómica
LAYO — D. Apr. : Soil texture triangle hydraulic properties calculator

Instituto Nacional de Innovación Agraria
Estación Experimental Agraria Pucallpa

Dra. Beatriz Salas Davila
Responsable
Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Abonos

www.inia.gob.pe
Carretera Federico Basadre km 4
Pucallpa-Ucayali. Perú
T: (061) 573-913
E: pucallpa@inia.gob.pe

PERÚ | Ministerio de Agricultura y Riego | Instituto Nacional de Innovación Agraria | Estación Experimental Agraria Pucallpa

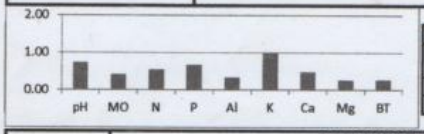
ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y ABONOS

Solicitante:	Paola Rodriguez	Fecha muestreo:	11/07/2017
Procedencia:	Campus UNU	Fecha Recepción	11/07/2017
Dirección Legal:	UNU	Fecha Resultados	04/08/2017
Solicitud Ingreso	SU00053-EEAP-2017	Tipo Muestra:	Suelo
Ensayo Solicitado:	Caracterizacion	Cultivo Anterior:	N/D
Código : 183	B1 T1	Cultivo a Instalar:	N/D
Muestreado por:	El Solicitante	Edad del cultivo:	N/D

Profundidad Suelo (m.)	ANÁLISIS TEXTURAL					
	Profundidad (cm.)	Arena	Arcilla	Limo	Clase Textural	Densidad Aparente (gr/cm3)
		25.52%	33.92%	40.56%	Franco Arcilloso	1.30

	ANÁLISIS DE FERTILIDAD								
	pH	M.O (%)	N (%)	Fósforo (p.p.m.)	Aluminio ($Cmol^{(+)}/Lt.$)	Potasio ($Cmol^{(+)}/Lt.$)	Calcio ($Cmol^{(+)}/Lt.$)	Magnesio ($Cmol^{(+)}/Lt.$)	Bases Totales ($Cmol^{(+)}/Lt.$)
VALORES	5.11	3.01	0.14	23.59	0.50	0.50	4.81	1.29	6.61
Interpretación	Fuertemente ácido	Bajo	Medio	Medio	Bajo	Medio	Bajo	Medio	Medio

	Conductividad Electrica milimhos/cm a 25ºC	PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE BASES				
Valor Calculado	0.07	7.04%	0.07	0.68	0.18	92.96%
Interpretación	No salino. Efecto de salinidad casi nulo	Normal. Sin problemas	Medio	Bajo	Bajo	Muy alto



OTRAS DETERMINACIONES QUIMICAS	
CIC efectiva (meq/100 g)	% de Saturación de Al respecto a CIC efectiva
7.11	7.04%
Bajo	Normal. Sin problemas

	RELACIONES ENTRE CATIONES					Volumen de Suelo (t./ha)
	Ca / Mg	Mg / K	Ca / K	(Ca + Mg) / K	(Ca+Mg+K) / Al	
VALORES	3.72	2.56	9.55	12.11	13.21	
Interpretación	IDEAL	Aceptable	Margen adecuado para K	Dentro del margen adecuado para el K	No hay problemas con aluminio	0

	OTRAS DETERMINACIONES FISICAS				
	Punto marchitez (gr agua/cm^3 suelo)	Capacidad de campo (gr agua/cm^3 suelo)	Saturación (gr agua/cm^3 suelo)	Conductividad hidráulica (cm/hr)	Agua disponible (lt Agua/dm^3 suelo)
VALORES	0.19	0.34	0.51	0.33	0.15

L. Yenqui

METODOLOGIA: Métodos analíticos para suelos y tejido vegetal usados en el tropico humedo: Autores, Q.F Olinda Ayre V. y Q.F Rafael Román Lima - Perú 1992

pH : Suelo/agua :1:2.5
CC : Nelson & Sommers
P : Olsen Modificado
Ca, Mg : Extrac. KCL
K, P : Extrac. NaHCO3-EDTA-SUPERFLOC
K, Ca, Mg : Absorción Atómica
D. Apr. : Soil texture triangle hydraulic properties calculator

LAYO

Instituto Nacional de Innovación Agraria
Estación Experimental Agraria Pucallpa

Dra. Beatriz Sales Davila
Responsable
Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Abonos

www.inia.gob.pe
Carretera Federico Basadre km 4
Pucallpa Ucayali. Perú
T: (061) 573-919
E: pucallpa@inia.gob.pe

PERÚ | Ministerio de Agricultura y Riego | Instituto Nacional de Innovación Agraria | Estación Experimental Agraria Pucallpa

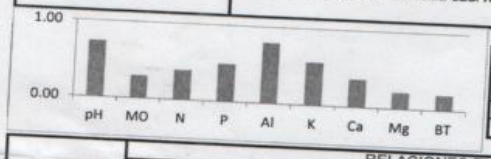
ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y ABONOS

Solicitante:	Paola Rodriguez	Fecha muestreo:	14/06/2017
Procedencia:	U.N.U.	Fecha Recepción	14/06/2017
Dirección Legal:	C.F.B. Km 6.200	Fecha Resultado	23/06/2017
Profundidad	SU00034-EEAP-2017	Tipo Muestra:	Suelo
Ensayo Solicitado:	Caracterizacion	Cultivo Anterior:	N/D
Código : 131	Cítricos	Cultivo a Instalar	Cítricos
Muestreado por:	El Solicitante	Edad del Cultivo	N/D

Profundidad Suelo (m.)	ANÁLISIS TEXTURAL					
	Profundidad (cm.)	Arena	Arcilla	Limo	Clase Textural	Densidad Aparente (gr/cm3)
0.20	0-20	24.24%	39.76%	36.00%	Franco Arcilloso	1.28

	ANÁLISIS DE FERTILIDAD								
	pH	M.O (%)	N (%)	Fósforo (p.p.m.)	Aluminio ($Cmol^{(+)}/Lt.$)	Potasio ($Cmol^{(+)}/Lt.$)	Calcio ($Cmol^{(+)}/Lt.$)	Magnesio ($Cmol^{(+)}/Lt.$)	Bases Totales ($Cmol^{(+)}/Lt.$)
VALORES	5.17	2.16	0.10	17.38	1.20	0.28	3.65	1.09	5.02
Interpretación	Fuertemente ácido	Bajo	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Bajo	Medio	Medio

Valor Calculado	Conductividad Electrica milimhos/cm a 25ºC	PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE BASES				
	0.04	19.30%	0.05	0.59	0.17	80.70%
Interpretación	No salino. Efecto de salinidad casi nulo	Tóxico para plantas susceptibles	Bajo	Bajo	Bajo	Muy alto



OTRAS DETERMINACIONES	
CIC efectiva (meq/100 g)	% de Saturación de Al respecto a CIC efectiva
6.22	19.30%
Bajo	Tóxico para plantas susceptibles

	RELACIONES ENTRE CATIONES					
	Ca / Mg	Mg / K	Ca / K	(Ca + Mg) / K	(Ca+Mg+K) / Al	Volumen de Suelo (L/ha)
VALORES	3.36	3.83	12.85	16.67	4.18	
Interpretación	IDEAL	Aceptable	Margen adecuado para K	Dentro del margen adecuado para el K	No hay problemas con aluminio	2,560

	OTRAS DETERMINACIONES FISICAS				
	Punto marchitez (gr agua/cm^3 suelo)	Capacidad de campo (gr agua/cm^3 suelo)	Saturación (gr agua/cm^3 suelo)	Conductividad hidráulica (cm/hr)	Agua disponible (lt Agua/dm^3 suelo)
VALORES	0.22	0.37	0.52	0.25	0.15

L. Yanqui

METODOLOGIA: Métodos analíticos para suelos y tejido vegetal usados en el tropico humedo: Autores, Q.F Olinda Ayre V. y Q.F Rafael Román Lima - Perú 1992

pH : Suelo/agua : 1:2.5
CC : Nelson & Sommers
P : Olsen Modificado
Ca, Mg : Extrac. KCL
K, P : Extrac. NaHCO3-EDTA-SUPERFLOC
K, Ca, Mg : Absorción Atómica
D. Apr. : Soil texture triangle hydraulic properties calculator

LAYO

Instituto Nacional de Innovación Agraria
Estación Experimental Agraria Pucallpa

Dra. Beatriz Sales Davila
Responsable
Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Abonos

www.inia.gob.pe
Carretera Federico Basadre km. 4
Pucallpa Ucayali. Perú
T: (061) 571-913
E: pucallpa@inia.gob.pe

INFORME DE ENSAYO: 31143/2017

RESULTADOS ANALITICOS

Muestras del item: 1

Nº ALS - CORPLAB				281365/2017-1.0	281367/2017-1.0	281368/2017-1.0
Fecha de Muestreo				12/07/2017	12/07/2017	12/07/2017
Hora de Muestreo				10:28:00	10:44:00	10:53:00
Tipo de Muestra				Suelo	Suelo	Suelo
Identificación				B1T1	B1T2	B1T3
Parámetro	**Ref. Mét.**	**Unidad**	**LD**			
005 ANÁLISIS POR CROMATOGRAFÍA - Hidrocarburos Totales de Petróleo						
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C9-C40)	12976	mg/kg	1,9	7184	5353	2366

Nº ALS - CORPLAB				281369/2017-1.0	281370/2017-1.0	281372/2017-1.0
Fecha de Muestreo				12/07/2017	12/07/2017	12/07/2017
Hora de Muestreo				10:15:00	10:36:00	10:23:00
Tipo de Muestra				Suelo	Suelo	Suelo
Identificación				B1T4	B2T1	B2T2
Parámetro	**Ref. Mét.**	**Unidad**	**LD**			
005 ANÁLISIS POR CROMATOGRAFÍA - Hidrocarburos Totales de Petróleo						
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C9-C40)	12976	mg/kg	1,9	3006	6961	12192

Nº ALS - CORPLAB				281374/2017-1.0	281378/2017-1.0	281380/2017-1.0
Fecha de Muestreo				12/07/2017	12/07/2017	12/07/2017
Hora de Muestreo				10:09:00	10:49:00	10:04:00
Tipo de Muestra				Suelo	Suelo	Suelo
Identificación				B2T3	B2T4	B3T1
Parámetro	**Ref. Mét.**	**Unidad**	**LD**			
005 ANÁLISIS POR CROMATOGRAFÍA - Hidrocarburos Totales de Petróleo						
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C9-C40)	12976	mg/kg	1,9	5829	2679	994,4

Nº ALS - CORPLAB				281383/2017-1.0	281393/2017-1.0	281394/2017-1.0
Fecha de Muestreo				12/07/2017	12/07/2017	12/07/2017
Hora de Muestreo				10:40:00	10:32:00	10:19:00
Tipo de Muestra				Suelo	Suelo	Suelo
Identificación				B3T2	B3T3	B3T4
Parámetro	**Ref. Mét.**	**Unidad**	**LD**			
005 ANÁLISIS POR CROMATOGRAFÍA - Hidrocarburos Totales de Petróleo						
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C9-C40)	12976	mg/kg	1,9	3839	7218	2947

CONTROLES DE CALIDAD

Control Blancos

Parámetro	LD	Unidad	Resultado	Fecha de Reporte
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C9-C40)	1,9	mg/kg	< 1,9	25/07/2017

Control Estándar

Parámetro	% Recuperación	Límites de Recuperación (%)	Fecha de Reporte
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C9-C40)	107,0	70-130	25/07/2017

LD = Límite de detección

DESCRIPCION Y UBICACION GEOGRAFICA DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO

Estación de Muestreo	Resp.del Muestreo	Tipo de Muestra	Fecha de Recepción	Fecha de Muestreo	Ubicación Geográfica UTM WGS84	Zona	Condición de la muestra	Descripción de la Estación de Muestreo
B1T1	Cliente	Suelo	17/07/2017	12/07/2017	---	---	Proporcionado por el cliente	Profundidad: 0-20 cm
B1T2	Cliente	Suelo	17/07/2017	12/07/2017	---	---	Proporcionado por el cliente	Profundidad: 0-20 cm

INFORME DE ENSAYO: 42127/2017

RESULTADOS ANALITICOS

Muestras del item: 1

Nº ALS LS				378062/2017-1.0	378063/2017-1.0	378064/2017-1.0
Fecha de Muestreo				13/09/2017	13/09/2017	13/09/2017
Hora de Muestreo				04:54:00	04:59:00	05:03:00
Tipo de Muestra				Suelo	Suelo	Suelo
Identificación				B1T1	B1T2	B1T3
Parámetro	**Ref. Mét.**	**Unidad**	**LD**			
005 ANÁLISIS POR CROMATOGRAFÍA - Hidrocarburos Totales de Petróleo						
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C9-C40)	12976	mg/kg	1,9	3832	4090	60,8

Nº ALS LS				378065/2017-1.0	378066/2017-1.0	378067/2017-1.0
Fecha de Muestreo				13/09/2017	13/09/2017	13/09/2017
Hora de Muestreo				04:50:00	04:40:00	04:32:00
Tipo de Muestra				Suelo	Suelo	Suelo
Identificación				B1T4	B2T1	B2T2
Parámetro	**Ref. Mét.**	**Unidad**	**LD**			
005 ANÁLISIS POR CROMATOGRAFÍA - Hidrocarburos Totales de Petróleo						
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C9-C40)	12976	mg/kg	1,9	1201	3487	1968

Nº ALS LS				378068/2017-1.0	378069/2017-1.0	378070/2017-1.0
Fecha de Muestreo				13/09/2017	13/09/2017	13/09/2017
Hora de Muestreo				04:37:00	04:46:00	04:09:00
Tipo de Muestra				Suelo	Suelo	Suelo
Identificación				B2T3	B2T4	B3T1
Parámetro	**Ref. Mét.**	**Unidad**	**LD**			
005 ANÁLISIS POR CROMATOGRAFÍA - Hidrocarburos Totales de Petróleo						
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C9-C40)	12976	mg/kg	1,9	1600	2469	2402

Nº ALS LS				378071/2017-1.0	378072/2017-1.0	378073/2017-1.0
Fecha de Muestreo				13/09/2017	13/09/2017	13/09/2017
Hora de Muestreo				04:15:00	04:21:00	04:26:00
Tipo de Muestra				Suelo	Suelo	Suelo
Identificación				B3T2	B3T3	B3T4
Parámetro	**Ref. Mét.**	**Unidad**	**LD**			
005 ANÁLISIS POR CROMATOGRAFÍA - Hidrocarburos Totales de Petróleo						
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C9-C40)	12976	mg/kg	1,9	2649	2448	846,4

Observaciones

Los resultados de suelos y sedimentos se expresan en base seca.

CONTROLES DE CALIDAD

Control Blancos

Parámetro	LD	Unidad	Resultado	Fecha de Análisis
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C9-C40)	1,9	mg/kg	< 1,9	22/09/2017
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C9-C40)	1,9	mg/kg	< 1,9	26/09/2017

Control Estandar

Parámetro	% Recuperación	Límites de Recuperación (%)	Fecha de Análisis
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C9-C40)	91,2	70-130	22/09/2017
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C9-C40)	95,9	70-130	26/09/2017

LD = Límite de detección

INFORME DE ENSAYO: 54843/2017

RESULTADOS ANALITICOS

Muestras del item: 1

Nº ALS LS				500837/2017-1.0	500838/2017-1.0	500839/2017-1.0
Fecha de Muestreo				22/11/2017	22/11/2017	22/11/2017
Hora de Muestreo				05:23:00	05:13:00	05:07:00
Tipo de Muestra				Suelo	Suelo	Suelo
Identificación				B1T1	B1 T2	B1 T3
Parámetro	**Ref. Mét.**	**Unidad**	**LD**			
005 ANÁLISIS POR CROMATOGRAFÍA - Hidrocarburos Totales de Petróleo						
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C9-C40)	12976	mg/kg	1,9	2624	1582	520,4

Nº ALS LS				500840/2017-1.0	500841/2017-1.0	500842/2017-1.0
Fecha de Muestreo				22/11/2017	22/11/2017	22/11/2017
Hora de Muestreo				05:17:00	04:45:00	04:50:00
Tipo de Muestra				Suelo	Suelo	Suelo
Identificación				B1 T4	B2 T1	B2 T2
Parámetro	**Ref. Mét.**	**Unidad**	**LD**			
005 ANÁLISIS POR CROMATOGRAFÍA - Hidrocarburos Totales de Petróleo						
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C9-C40)	12976	mg/kg	1,9	542,5	802,4	1024

Nº ALS LS				500845/2017-1.0	500846/2017-1.0	500848/2017-1.0
Fecha de Muestreo				22/11/2017	22/11/2017	22/11/2017
Hora de Muestreo				04:59:00	04:54:00	04:22:00
Tipo de Muestra				Suelo	Suelo	Suelo
Identificación				B2 T3	B2 T4	B3 T1
Parámetro	**Ref. Mét.**	**Unidad**	**LD**			
005 ANÁLISIS POR CROMATOGRAFÍA - Hidrocarburos Totales de Petróleo						
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C9-C40)	12976	mg/kg	1,9	599,7	863,4	1177

Nº ALS LS				500850/2017-1.0	500852/2017-1.0	500854/2017-1.0
Fecha de Muestreo				22/11/2017	22/11/2017	22/11/2017
Hora de Muestreo				04:31:00	04:38:00	00:00:00
Tipo de Muestra				Suelo	Suelo	Suelo
Identificación				B3 T2	B3 T3	B3 T4
Parámetro	**Ref. Mét.**	**Unidad**	**LD**			
005 ANÁLISIS POR CROMATOGRAFÍA - Hidrocarburos Totales de Petróleo						
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C9-C40)	12976	mg/kg	1,9	744,3	923,1	707,0

Observaciones

Los resultados de suelos se expresan en base seca.

CONTROLES DE CALIDAD

Control Blancos

Parámetro	LD	Unidad	Resultado	Fecha de Análisis
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C9-C40)	1,9	mg/kg	< 1,9	28/11/2017

Control Estandar

Parámetro	% Recuperación	Límites de Recuperación (%)	Fecha de Análisis
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C9-C40)	86,9	70-130	28/11/2017

LD = Límite de detección.

Las fechas de ejecución del análisis para los ensayos realizados en las instalaciones del laboratorio, se refiere a las fechas indicadas en las tablas de Controles de Calidad, y para los ensayos realizados en campo (Análisis en Campo) corresponden a las fechas de muestreo. No Aplica para ensayos tercerizados.

ICONOGRAFIA



Fotografía 1. Celdas de tratamiento



Fotografía 2. Aplicando el crudo de petróleo a cada celda de tratamiento



Fotografía 3. Aplicando la dosificación de Humus de lombriz



Fotografía 4. Aireación de cada celda de tratamiento



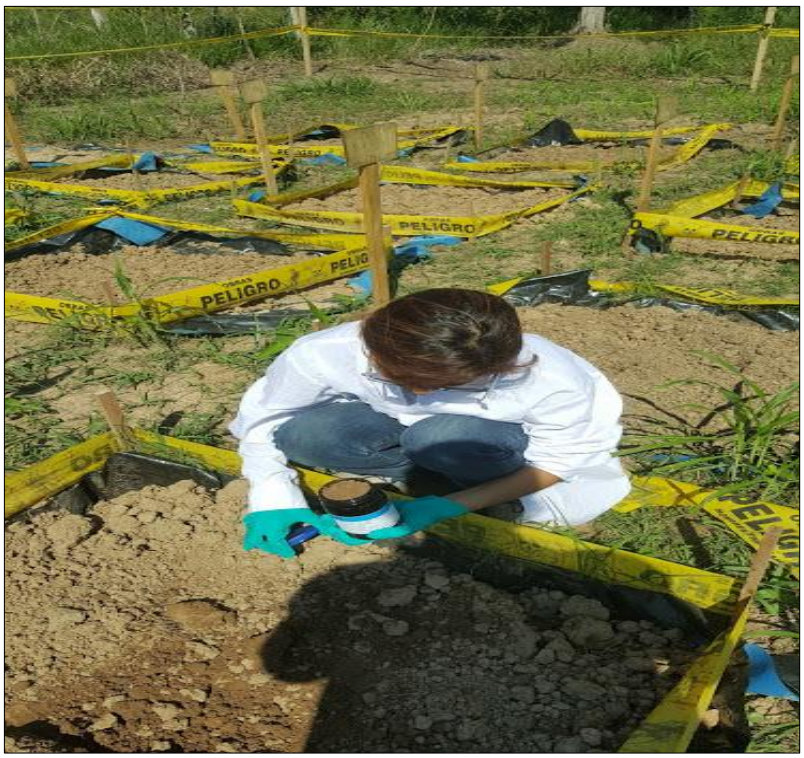
Fotografía 5. Medición de la temperatura del suelo



Fotografía 6. Tomando muestras de pH de cada celda de tratamiento.



Fotografía 7. Obteniendo muestra de suelo con el barreno.



Fotografía 8. Recolectando la muestra de suelo.



Fotografía 9. Muestras listas para enviar a analizar.



Fotografía 10. Suelo recuperado después de 2 meses de terminado el proyecto.