

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Aplicación de prácticas sostenibles en suelo  
contaminado por hidrocarburo de un taller  
mecánico, Chilca, 2019**

Grayce Mirella Pimentel Rojas

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniera Ambiental

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## **ASESOR**

Ing. Jacinto Venancio Arroyo Aliaga.

## **AGRADECIMIENTOS**

A toda la plana docente de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Continental por brindarme sus conocimientos a lo largo de mi formación profesional. Agradezco por sus enseñanzas, dirección y apoyo, asimismo agradezco a mi asesor Ing. Jacinto Arroyo Aliaga por darme la oportunidad y la confianza de poder realizar mi tesis y guiarme día a día en la culminación satisfactoriamente, el cual me sirve para fortalecer conocimientos en mi carrera profesional.

Por otra parte, agradezco como asesora adjunta a la Ing. Elizabeth Machuca por contribuir en el desarrollo de mi tesis.

Mi agradecimiento infinito a todas las personas que permitieron que sea posible la realización y culminación con éxito este proyecto de titulación.

Muchas gracias a todos.

## **DEDICATORIA**

A mis padres Grober Pimentel Olivera y Delia Rojas Medina, por brindarme su confianza, seguridad y porque nunca me dejaron de lado siempre estuvieron conmigo en todo momento. Ellos son parte fundamental de mi formación profesional por ellos soy la persona que soy ahora, con principios y valores.

A mis hermanos Milena, Carol y Hancel, por apoyarme en todo momento, motivándome, alentándome a seguir adelante, son mi ejemplo a seguir y luchar para alcanzar mis sueños.

A mi pequeña hija, Fernanda Tineo Pimentel, que es mi razón, motivo y mis ganas de superarme cada día para ofrecerle siempre lo mejor. Aunque no con palabras, con una simple sonrisa me motiva a no rendirme. En estos momentos no entenderás mis palabras, pero cuando crezcas te darás cuenta cuán importante eres para mí.

# ÍNDICE

<b>ASESOR</b> .....	ii
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	iii
<b>DEDICATORIA</b> .....	iv
<b>ÍNDICE</b> .....	v
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	ix
<b>RESUMEN</b> .....	xi
<b>ABSTRACT</b> .....	xii
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	xiii
<b>CAPÍTULO I</b> .....	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	1
1.1.1. Planteamiento del problema .....	1
1.1.2. Formulación del problema .....	7
1.2. Objetivos .....	7
1.2.1. Objetivo general .....	7
1.2.2. Objetivos específicos.....	7
1.3. Justificación.....	8
1.3.1. Justificación académica.....	8
1.3.2. Justificación ambiental.....	8
1.3.3. Justificación científica .....	8
1.4. Hipótesis y variables.....	8
1.4.1. Hipótesis de investigación .....	9
1.4.2. Hipótesis nula.....	9
1.4.3. Hipótesis alterna.....	9
1.4.4. Hipótesis específicas .....	9
1.4.5. Operacionalización de las variables.....	9

<b>CAPÍTULO II</b> .....	12
2.1. Antecedentes de la investigación.....	12
2.2. Bases teóricas .....	21
2.2.1. El suelo.....	21
2.2.2. La mecánica automotriz.....	22
2.2.3. Suelo contaminado por hidrocarburos .....	22
2.2.4. Fuentes de contaminación por hidrocarburos .....	24
2.2.5. Efectos de los hidrocarburos en el suelo, flora, fauna y la salud .....	25
2.2.6. Remediación de suelos .....	26
2.2.7. Biorremediación.....	26
2.2.8. Biodegradación.....	27
2.2.9. Técnicas e instrumentos complementarios de la investigación .....	29
2.3. Definición de términos .....	29
<b>CAPÍTULO III</b> .....	32
3.1. Método, tipo y nivel de la investigación.....	32
3.1.1. Métodos de la investigación.....	32
3.1.2. Tipo de la investigación .....	33
3.1.3. Nivel de la investigación .....	33
3.2. Diseño de la investigación .....	33
3.3. Población y muestra .....	34
3.3.1. Población.....	34
3.3.2. Muestra .....	35
3.4. Procedimiento experimental .....	36
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	39
3.5.1. Técnicas de recolección de datos.....	39
3.5.2. Instrumentos de recolección de datos.....	39
3.6. Técnicas de análisis y procesamiento de datos .....	39
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	40

4.1.	Resultados del tratamiento y análisis de la información .....	40
4.1.1.	Resultados iniciales .....	40
4.1.2.	Resultados finales .....	42
4.2.	Discusión de resultados.....	66
<b>CONCLUSIONES</b>	.....	<b>74</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	.....	<b>76</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	.....	<b>77</b>
<b>ANEXOS</b>	.....	<b>82</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01. Comportamiento de hidrocarburos ligeros en el subsuelo.....	04
Figura 02. Comportamiento de hidrocarburos pesados en el subsuelo.....	04
Figura 03. Ubicación de los talleres mecánicos en el distrito de Chilca.....	35
Figura 04. En la imagen se observa el punto de ubicación del taller mecánico "Unión" del cual retiramos la muestra para el experimento.....	36
Figura 05. Diagrama de los tratamientos de la fase experimental.....	38
Figura 06. Contenido de HTP en el suelo, según la dosis de humus de lombriz.....	44
Figura 07. Contenido de materia orgánica del suelo, según la dosis de humus de lombriz.....	46
Figura 08. Nitrógeno total del suelo, según la dosis de humus de lombriz.....	48
Figura 09. Contenido de fósforo disponible en el suelo, según la dosis de humus de lombriz.....	51
Figura 10. Potasio disponible del suelo, según la dosis de humus de lombriz.....	53
Figura 11. Densidad aparente del suelo, según la dosis de humus de lombriz.....	55
Figura 12. Contenido de carbonato de calcio en el suelo, según la dosis de humus de lombriz.....	57
Figura 13. pH del suelo, según la dosis de humus de lombriz.....	60
Figura 14. Porosidad total del suelo, según la dosis de humus de lombriz.....	62
Figura 15. Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva del suelo, según la dosis de humus de lombriz.....	65
Figura 16. Temperaturas tomadas por fechas a cada muestra de suelo.....	66

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. Matriz de operacionalización de las variables.....	10
Tabla 02. Tratamientos en estudio.....	34
Tabla 03. Resultados del análisis de HTP en el suelo.....	40
Tabla 04. Resultados del análisis físico-químico del suelo antes del experimento.....	41
Tabla 05. Resultados del análisis de humus de lombriz.....	41
Tabla 06. Resultado del análisis de HTP ( $\mu\text{g/g}$ ) después del experimento.....	42
Tabla 07. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para el contenido de HTP del suelo.....	43
Tabla 08. Análisis de varianza del contenido de HTP total del suelo.....	43
Tabla 09. Prueba de comparación múltiple de Duncan para el contenido de HTP del suelo.....	44
Tabla 10. Resultado del contenido de materia orgánica del suelo.....	45
Tabla 11. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para el contenido de materia orgánica del suelo.....	45
Tabla 12. Prueba de rangos de Kruskal-Wallis para el contenido de materia orgánica del suelo.....	46
Tabla 13. Resultados del análisis del contenido de nitrógeno total en el suelo ( $\text{g/kg}$ ).....	47
Tabla 14. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para el contenido de nitrógeno total del suelo.....	47
Tabla 15. Prueba de rangos de Kruskal-Wallis para el contenido de nitrógeno total del suelo.....	48
Tabla 16. Resultado del análisis de fósforo disponible del suelo ( $\text{mg/kg}$ ).....	49
Tabla 17. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para el contenido de fósforo disponible del suelo.....	49
Tabla 18. Análisis de varianza del contenido de fósforo disponible del suelo.....	50
Tabla 19. Prueba de comparación múltiple de Duncan para el contenido de fósforo disponible del suelo.....	50
Tabla 20. Resultados del análisis del contenido de potasio disponible del suelo ( $\text{mg/kg}$ ).....	51
Tabla 21. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para el contenido de potasio disponible del suelo.....	52
Tabla 22. Prueba de rangos de Kruskal-Wallis para el contenido de potasio disponible del suelo.....	52
Tabla 23. Resultado de la densidad aparente del suelo.....	53
Tabla 24. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para la densidad aparente del suelo.....	54

Tabla 25. Prueba de rangos de Kruskal-Wallis para la densidad aparente del suelo.....	54
Tabla 26. Resultado del análisis de carbonato de calcio del suelo (%).....	55
Tabla 27. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para el contenido de CaCO <sub>3</sub> del suelo .....	56
Tabla 28. Análisis de varianza del contenido de carbonato de calcio del suelo.....	57
Tabla 29. Prueba de comparación múltiple de Duncan para el contenido de carbonato de calcio del suelo.....	57
Tabla 30. Resultado del análisis de pH del suelo.....	58
Tabla 31. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para el pH del suelo.....	58
Tabla 32. Análisis de varianza del pH del suelo.....	59
Tabla 33. Prueba de comparación múltiple de Duncan para el pH del suelo.....	59
Tabla 34. Resultado del análisis de porosidad total del suelo (%).....	60
Tabla 35. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para la porosidad total del suelo.....	61
Tabla 36. Análisis de varianza de la porosidad total del suelo.....	61
Tabla 37. Prueba de comparación múltiple de Duncan para la porosidad total del suelo.....	62
Tabla 38. Resultado del análisis de CICE del suelo (cmol/kg).....	63
Tabla 39. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para la CICE del suelo.....	63
Tabla 40. Análisis de varianza de la CICE del suelo.....	64
Tabla 41. Prueba de comparación múltiple de Duncan para la CICE del suelo.....	64
Tabla 42. Temperatura de suelo.....	65

## RESUMEN

**Objetivo:** Determinar el efecto del laboreo, aireación y humectación con adición de enmienda en la concentración de hidrocarburos derivados de petróleo y propiedades físico-químicas de un suelo contaminado del distrito de Chilca. **Métodos:** Se utilizaron tres tratamientos: (i) sin enmienda, (ii) 30 % de humus de lombriz y (iii) 50 % de humus de lombriz, dispuestos en un diseño experimental completamente al azar, con tres repeticiones. **Resultados:** El suelo inicial tuvo una concentración de 43 386.7  $\mu\text{g/g}$ ; tras el experimento el suelo tuvo una concentración promedio de 5 358.772  $\mu\text{g/g}$ , habiéndose reducido los HTP en un 87.65 %. Las propiedades del suelo que se incrementaron fueron: contenido de materia orgánica, nitrógeno total, potasio disponible, carbonato de calcio, porosidad total y capacidad de intercambio catiónico efectiva. Las propiedades del suelo que disminuyeron fueron: pH y densidad aparente. No se observaron diferencias significativas entre tratamientos para los datos evaluados, excepto en el fósforo disponible donde el tratamiento con 50 % de humus de lombriz supero a los demás tratamientos. El tratamiento que tuvo un mayor índice de reducción de HTP presente en el suelo, fue el tratamiento 4 con 70 % de suelo y con 30 % de humus de lombriz, reduciendo a 4 359.523  $\mu\text{g/g}$ , con respecto a lo inicial (HTP = 43 386.7  $\mu\text{g/g}$ ). **Conclusión:** El suelo contaminado con Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP), después de la aplicación del laboreo, aireación y humectación, con adición de enmienda orgánica, disminuyó su concentración, alcanzando un valor promedio de 5 358.772  $\mu\text{g/g}$ , inferior al valor inicial de 43 386.7  $\mu\text{g/g}$ , significando una reducción del 87.65 %.

**Palabras clave:** contaminación del suelo, hidrocarburo, Landfarming, enmiendas orgánicas.

## ABSTRACT

**Objective:** To determine the effect of tillage, aeration and moistening with the addition of amendment on the concentration of hydrocarbons derived from petroleum and physical-chemical properties of a contaminated soil in the Chilca district. **Methods:** Three treatments were used: (i) without amendment, (ii) 30 % worm humus and (iii) 50 % worm humus, arranged in a completely randomized experimental design, with three repetitions. **Results:** The initial soil had a concentration of 43 386.7  $\mu\text{g/g}$ ; after the experiment, the soil had an average concentration of a 5 358.772  $\mu\text{g/g}$ , having reduced the TPH by 87.65 %. The properties of the soil that increased were: content of organic matter, total nitrogen, available potassium, calcium carbonate, total porosity and effective cation exchange capacity. The properties of the soil that decreased were: pH and apparent density. No significant differences were observed between treatments for the data evaluated, except in available phosphorus where the treatment whit 50 % worm cast surpassed the other treatments. The treatment that had a higher rate of reduction of TPH present in the soil was treatment 4 with 70 % soil and 30 % worm humus, reducing to 4 359.523  $\mu\text{g/g}$ , whit respect to the initial (TPH = 43 386.7  $\mu\text{g/g}$ ). **Conclusion:** The soil contaminated with Total Petroleum Hydrocarbons (HTP), after the application of tillage, aeration and humidification, with the addition of organic amendment, decreased its concentration, reaching an average value of 5 358.772  $\mu\text{g/g}$ , lower than the initial value of 43 386.7  $\mu\text{g/g}$ , meaning a reduction of 87.65 %.

**Keywords:** soil pollution, hydrocarbon, Landfarming, organic amendments.

## INTRODUCCIÓN

En el Perú y el mundo, hacen uso del hidrocarburo provocando derrames causando contaminación en el suelo presentando un grave problema ambiental.

Los hidrocarburos son contaminantes hallados en el suelo y la napa freática como resultado de la actividad industrial pasada y actual. La mayor preocupación con respecto a la contaminación por hidrocarburos es que, se encuentra en las características tóxicas, cancerígenas y muta génica. El grado de contaminación ambiental depende de la composición química y concentración del contaminante y las propiedades del suelo (1).

La contaminación de suelos por hidrocarburos puede inducir cambios en la condición física y actividad biológica del suelo, y el conocimiento previo de estos procesos es considerado necesario para seleccionar y desarrollar la metodología más adecuada para remediar suelos contaminados. Así, por ejemplo, las medidas de la textura y porosidad del suelo son prerrequisitos para aplicar métodos de biorremediación (2). Sin embargo, pocos estudios han examinado el efecto de la contaminación por hidrocarburos sobre la estructura del suelo en ambientes semiáridos.

En los últimos años se ha adoptado el uso de estrategias de compostaje en la biodegradación/biorremediación de contaminantes orgánicos, pero como resultado hay una carencia de información general, así como un número limitado de mezclas de contaminantes tratados. Los contaminantes investigados incluyen hidrocarburos de petróleo, mono aromático (benceno y tolueno), explosivos (2,4,6-trinitolueno, TNT), cloro fenoles (pentaclorofenol, PCF), pesticidas (2,4-ácido diclorofenoxiacético, 2-4-D y diazinon) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) (antraceno, fenantreno, benzoantraceno y benzopireno. Los HAP son quizás los más estudiados de estos contaminantes (3).

La remediación de suelos contaminados con hidrocarburos es una necesidad para tener un ambiente saludable y seguro que resultará en estilos de vida saludables a través del globo terrestre. La remediación biológica de hidrocarburos ofrece una técnica amigable ambientalmente que si es aplicada apropiadamente tiene ventajas sobre otras técnicas de remediación. Sin embargo, a pesar de sus enormes ventajas de este tratamiento biológico, no es completamente utilizada para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos (4). Se propone en este trabajo de investigación la aplicación de

vermicompost a suelos contaminados con hidrocarburos, después de un tratamiento con Landfarming, para disminuir la concentración de estos contaminantes orgánicos.

El presente trabajo presenta los siguientes capítulos: Capítulo I: presenta el planteamiento, formulación del problema, los objetivos, hipótesis, justificación y las variables; Capítulo II: presenta el marco teórico que aborda de los antecedentes, bases teóricas, técnicas e instrumentos de investigación; Capítulo III: presenta la metodología que aborda los métodos y alcances de la investigación, diseño de la investigación, población, muestra y las técnicas de recolección de datos; y Capítulo IV: presenta los resultados y discusión que abordan los resultados iniciales y finales y la discusión de los resultados de los mismos. Llegando así a concluir que el suelo contaminado con Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP), después de la aplicación del laboreo, aireación y humectación, con adición de enmienda orgánica, disminuyó su concentración, alcanzando un valor promedio de 5 358.772  $\mu\text{g/g}$ , inferior al valor inicial de 43 386.7  $\mu\text{g/g}$ , significando una reducción del 87.65 %.

La autora.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### 1.1. Planteamiento y formulación del problema

#### 1.1.1. Planteamiento del problema

En Colombia, el sector petrolero ha tenido un importante crecimiento en la economía del país, por otra parte, la contaminación por esta sustancia es cada vez mayor, afectando a la flora y fauna e incluso a la salud humana. En el año 1998 presentaron ataques contra el oleoducto Caño Limón-Coveñas, ya que mediante las roturas y abolladuras han perjudicado al ecosistema, a las fuentes de producción y abastecimiento de las comunidades aledañas al oleoducto. Estas situaciones se han generado en diversos sectores del país con difícil acceso impidiendo las estrategias para un desarrollo de control, vigilancia o recuperación (5).

En Ecuador la contaminación por hidrocarburos en el suelo proviene de las instalaciones fijas que están relacionadas con la extracción y destilería de petróleo, la disposición final de los diversos derivados de este contaminante está almacenados en tanques subterráneos de estaciones de servicio ubicados en el campamento de Guarumales en la hidroeléctrica Mazar, sin embargo, estos tanques se están deteriorando causando daños al suelo por la percolación de hidrocarburos y metales pesados. Para recuperar el suelo contaminado es un proceso lento de forma natural, los hidrocarburos que permanecen en la superficie pueden ser absorbidos por



la lluvia y llegar hasta el nivel freática y convertirse en un problema mayor e incrementar los costos y el tiempo de remediación (6).

En México, los ecosistemas también se están viendo afectados por el derrame del petróleo dañando varios de sus subsistemas: árboles, fauna, suelo, agua ocasionando su desaparición a una tasa anual que oscila entre el 1 y 5 % (7). La vegetación del manglar puede morir por intoxicación directa con los compuestos aromáticos de bajo peso molecular. Por otra parte, en Cuba para el año 2009, en la localidad del centro sur del cayo, se produjeron derrames de *fuel oil* (una fracción del petróleo) tras una mala operación de la trampa de hidrocarburos de la central hidroeléctrica Cayo Santa María, contaminaron un ecosistema de manglar, esto podría afectar a otras áreas marinas debido a la dispersión del contaminante a través de canales naturales que conforman el Cayo (8).

En Estados Unidos de América, existen aproximadamente 34 mil sitios impactados con derivados de HC; en Alemania se registran casi 50 mil; en México se desconoce la real dimensión del problema. PEMEX en el 2001 reportó que 8 031 toneladas de derivados de hidrocarburos se derramaron en el suelo. A nivel nacional, en la república mexicana, las zonas más contaminadas son los ríos y lagunas Tuxpan y Ostión respectivamente, entre otros.

En Venezuela ocurren derrames constantes de crudo en el lago Maracaibo, el subsuelo de éste está lleno de petróleo. Hace más de cien años que se extrae petróleo debajo del lago impulsando a la riqueza de Maracaibo. Cerca a la orilla del lago con una inmensa extensión de agua se conecta el mar Caribe. Los pescadores guardan una gran preocupación porque ya no pueden pescar con tranquilidad y normalidad, ya que sus herramientas de trabajo como el barco y la red están cubiertas de crudo tras ser sumergidas al agua contaminada. Cuando salen de pescar están cubiertos de este contaminante afectándoles a su salud ya que para lavarse utilizan gasolina para quitar todas las manchas, por otra parte, en las noches no pueden dormir por el olor a gas que emite el petróleo y se ven afectados de los pulmones, sobre todo los niños. El 50 % de las especies existentes están impregnadas de petróleo y se ven obligados a lanzarlos al lago nuevamente porque es imposible venderla en ese estado. Venezuela es el

país que tiene mayores reservas mundiales del oro negro, pero ahora está atravesando la peor crisis económica de su historia. El colapso del sector petrolero es una consecuencia. Ahora en el lago Maracaibo se está produciendo un sexto de lo que se producía hace seis años, ahora producen menos, porque existe mayor contaminación (9).

El Perú cuenta con diversos yacimientos de petróleo. La selva peruana (norte) es la zona importante ya que se extrae más del 50 % de todo el país, la conducción del hidrocarburo es por un oleoducto a cargo de la empresa estatal Petroperú, pero este traslado del oleoducto se ha visto cuestionada por los constantes derrames de petróleo que ha dado, afectado así al medio ambiente y sobre todo a los ríos, generando pérdida de flora y fauna aledañas a éstos (10).

En una zona de la amazonia ocurrió el derrame de petróleo en el río Chiriaco, afectando a 1 230 familias nativas; este derrame fue provocado a través de la rotura de un oleoducto dañando quebradas que desembocan al río Marañón, este oleoducto Norperuano es operado por la empresa estatal Petroperú, que transporta crudo, a lo cual Defensa Civil ha tenido que repartirles agua a todas las familias que se vieron afectadas ante esta situación (11).

Los diversos tipos de hidrocarburos de petróleo afectan de distintas maneras al suelo como por ejemplo los Light Nonaqueous Phase Liquid (LNAPLs) o hidrocarburos ligeros, tienden a formar una capa en el nivel freático y se moviliza de forma horizontal en la dirección del flujo del agua subterránea, como es el caso de las gasolinas, petróleo crudo y aceites (figura 01); de igual se tiene a los Dense Nonaqueous Phase Liquid (DNALPs) o hidrocarburos pesados pueden penetrar la zona saturada, venciendo las fuerzas de presión de los poros, el desplazamiento de este tipo de hidrocarburo en la zona saturada es inestable por lo que la penetración se produce en forma de ramificaciones, ya que el hidrocarburo al formar una capa sobre el nivel del agua parten las ramificaciones hacia la base del acuífero (figura 02) (12).

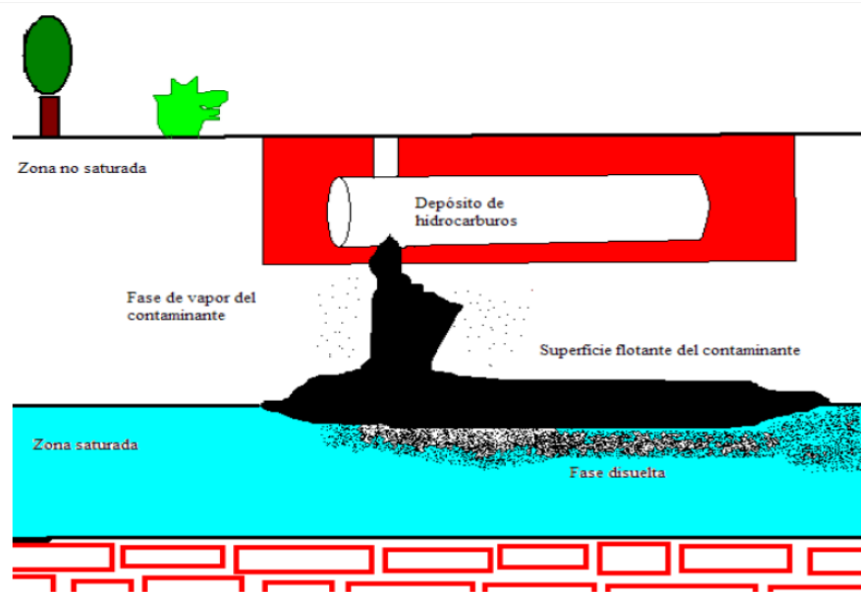


Figura 01. Comportamiento de hidrocarburos ligeros en el subsuelo\*.

\*Nota: tienden a formar una capa y se movilizan de forma horizontal en dirección del flujo del agua

Fuente: Proyecto de recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos - UAB.

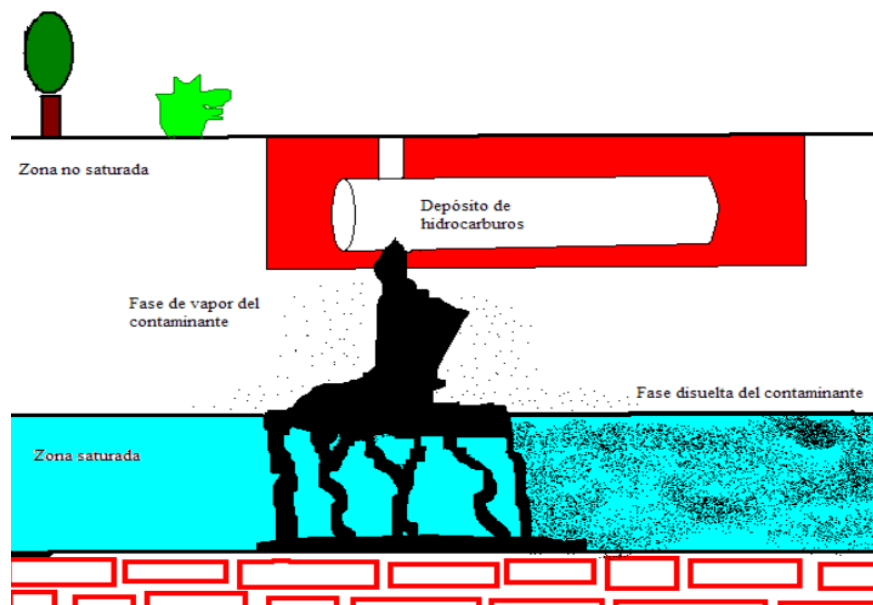


Figura 02. Comportamiento de hidrocarburos pesados en el subsuelo\*.

\*Nota: forma una capa sobre el nivel del agua y a partir de ahí se forman las ramificaciones penetrando por la zona saturada y venciendo las fuerzas de presión de los poros.

Fuente: Proyecto de recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos - UAB.

Los derrames o filtraciones de hidrocarburos ocurren básicamente durante las actividades de operación de las estaciones de servicio, estos líquidos migran hacia el suelo, subsuelo (zona vadosa) y hacia el agua subterránea (zona saturada-acuífero) afectando las características físicas y químicas del suelo, por otra parte a los elementos abióticos, bióticos y socioeconómicos (13); por otra parte, estos derrames de petróleo también ocasionan perturbaciones en los ecosistemas al afectar su estructura y bioproceso directamente sobre la biota ya que este contaminante contiene compuestos químicos tóxicos que producen daños a las plantas, animales e incluso a los humanos (14).

Los hidrocarburos se encuentran en la naturaleza por la acumulación de la biomasa durante millones de años, sin embargo, existe la posibilidad de que ocurra contaminación debido a los derrames constantes ocasionados accidentalmente (5), es así que un suelo contaminado con hidrocarburo impide el intercambio gaseoso con la atmósfera, iniciando un proceso simultáneo como la evaporación y penetración del hidrocarburo en el suelo, ya que dependiendo de la cantidad vertida la penetración puede ser rápida o lenta provocando así una mayor toxicidad, por consiguiente, si el suelo tiene una moderada, alta o extrema cantidad de salinidad, dificulta su posible tratamiento y puede ser una amenaza (15) para la salud pública de las zonas aledañas al lugar afectado, por lo tanto, se ve la necesidad de presentar una estrategia para disminuir el contenido de hidrocarburos, neutralizando el riesgo de una mayor contaminación (16).

Los derrames de petróleo ya sea por la producción o distribución liberan gran cantidad de contaminantes orgánicos como el aceite, lo cual interviene al suelo negativamente, aumentando la capacidad de compresión por la presencia del fluido en los intersticios de éste. Estos derrames incontrolados causan deterioro al medio ambiente especialmente a las propiedades del suelo y agua causando variaciones en la diversidad microbial y la pérdida de la capacidad de degradación de diferentes microorganismos presentes en estos medios. Esto puede conllevar a la remediación del suelo con altos costos tanto para las empresas como para la población (17).

Se ha observado el crecimiento poblacional y el aumento de los vehículos y por ende se ha incrementado el negocio de los talleres mecánicos en el distrito de Chilca donde se ofrecen distintos servicios para un mejor funcionamiento del vehículo (reparación de motor, lubricación, cambio de aceite, etc.). Ese por ello que existe un problema ambiental como es la contaminación del suelo, ya que los diversos talleres mecánicos están haciendo uso directo del suelo y está siendo afectado por los derrames de diversas sustancias químicas como aceites usados, diésel, petróleo, líquido de frenos, filtros de aceite, pintura, esmalte u otros que utilizan los trabajadores para realizar sus actividades cotidianas. A lo largo del tiempo esto trae consecuencias como la modificación del suelo y afectando a los seres vivos que se desarrollan a su alrededor. Estos talleres mecánicos no cumplen con las normas de la ley para así evitar la contaminación del suelo, del ambiente y de la salud de los trabajadores, estos se encuentran dentro de un cuadrante donde no está designado los talleres mecánicos por la municipalidad distrital de Chilca, y a la vez no cuentan con licencia de funcionamiento. Todos los talleres mecánicos realizan actividades que ocasionan gran impacto negativo al principal recurso que es el suelo, siendo así que no se han visto evaluados, ni han tomado medidas de corrección o prevención los propietarios de los talleres mecánicos. En los talleres mecánicos, mayormente el personal no es capacitado para las diversas actividades que se realizan, es por ello que desconocen que sustancias son peligrosas, los residuos que están generando los vehículos y cuál es su correcta disposición final y también a las cuales se exponen día a día, esto puede ser un riesgo para su salud complementado con el inadecuado manejo de los productos químicos; por lo tanto optan por eliminar los residuos (aceites, líquidos de motor, petróleo, etc.) directamente al suelo descubierto y a las alcantarillas sin darse cuenta ni medir el daño que están ocasionando al suelo y al ambiente.

Por otra parte, la falta de control de las autoridades de la Municipalidad distrital de Chilca sobre los talleres mecánicos ha provocado que estos presenten niveles altos de riesgo sobre el suelo y el ambiente.

### 1.1.2. Formulación del problema

#### a) Problema general:

¿Cuáles son los beneficios de la aplicación de las prácticas sostenibles y la adición de humus de lombriz en el suelo contaminado por hidrocarburos de un taller mecánico, Chilca - 2019?

#### b) Problemas específicos:

- ¿De qué manera influyen las prácticas sostenibles con adición de enmienda en la concentración de Hidrocarburos Totales de Petróleo en un suelo contaminado de hidrocarburos de un taller mecánico, Chilca - 2019?
- ¿De qué manera influyen las prácticas sostenibles con adición de enmienda en las propiedades físicas y químicas del suelo contaminado con hidrocarburos de un taller mecánico, Chilca - 2019?

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo general

Determinar el efecto del humus de lombriz con la influencia de las prácticas sostenibles en un suelo contaminado con hidrocarburo de un taller mecánico, Chilca, 2019.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar el efecto del humus de lombriz con la influencia de las prácticas sostenibles con adición de enmienda en la concentración de Hidrocarburos Totales de Petróleo de un suelo contaminado con hidrocarburos de un taller mecánico, Chilca, 2019.

- Determinar el efecto del humus de lombriz con la influencia de las prácticas sostenibles con adición de enmienda en las propiedades físicas y químicas del suelo contaminado con hidrocarburos de un taller mecánico, Chilca, 2019.

### 1.3. Justificación

#### 1.3.1. Justificación académica

La investigación servirá como punto de inicio para la realización de nuevas investigaciones, además de ser un tema muy importante y de mucho interés para los profesionales. El estudio de este proyecto es realizado para dar soluciones a empresas que tengan problemas con el tema hidrocarburos o sus derivados sobre el suelo.

#### 1.3.2. Justificación ambiental

La contaminación por hidrocarburos es un problema que afecta a las propiedades físico-químicas y microorganismos del suelo provocando el decrecimiento de las plantas y a la vez la sobrevivencia de los animales que se alimentan de ellas. Este proyecto de remediación es importante por la recuperación de suelo para diferentes usos.

#### 1.3.3. Justificación científica

La presente investigación nos muestra el efecto positivo del humus de lombriz para remediar el suelo contaminado con hidrocarburos, además nos da a conocer que es una técnica de fácil desempeño.

### 1.4. Hipótesis y variables

#### 1.4.1. Hipótesis de investigación

H<sub>1</sub>: La aplicación de las prácticas sostenibles con la adición de enmienda orgánica puede remediar el suelo contaminado con hidrocarburos del taller mecánico Unión, Chilca, 2019.

#### 1.4.2. Hipótesis nula

H<sub>0</sub>: La aplicación de las prácticas sostenibles con la adición de enmienda orgánica no influyen en un suelo contaminado por hidrocarburos.

#### 1.4.3. Hipótesis alterna

H<sub>a</sub>: La aplicación de prácticas sostenibles con la adición de enmienda orgánica influyen en un suelo contaminado por hidrocarburos.

#### 1.4.4. Hipótesis específicas

- Las prácticas sostenibles con enmienda disminuyen ligeramente la concentración de Hidrocarburos Totales de Petróleo en un suelo contaminado de hidrocarburos de un taller mecánico, Chilca, 2019.
- Las prácticas sostenibles con enmienda mejoran ligeramente las propiedades físicas y químicas del suelo contaminado con hidrocarburos de un taller mecánico, Chilca, 2019.

#### 1.4.5. Operacionalización de las variables

- Variable independiente:
  - Enmienda orgánica.
  - Prácticas sostenibles.
  - Indicador:
    - Dosis (%).



- Variable dependiente:
  - Suelo contaminado con HTP.
  - Indicadores:
    - Densidad aparente (Mg/m<sup>3</sup>).
    - pH.
    - CICE (cmol/kg).
    - Porosidad (%).
    - Nitrógeno total (g/kg).
    - P disponible (mg/kg).
    - K disponible (mg/kg).

Tabla 01. *Matriz de operacionalización de las variables.*

Variables	Tipo	Definición	Dimensiones	Indicadores
Enmienda orgánica.	Independientes	Son compuestos orgánicos provenientes de restos de animal o vegetal en completa descomposición que ejerce una influencia positiva sobre el suelo mejorando la calidad del mismo.	Humus de lombriz.	Dosis (%).
Prácticas sostenibles.		Son factores que ayudan en el proceso de la descomposición de los Hidrocarburos Totales de Petróleo como son la aireación, humectación y laboreo.	Aireación. Humectación.	

Suelo contaminado con HTP.		Es la degradación de ciertas fracciones del hidrocarburo total de petróleo.	Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP).	HTP (ppm).
				Densidad (Mg/m <sup>3</sup> ).
	Dependientes	El suelo es una mezcla de materiales sólido, líquido y gas. La relación y la proporción de estos componentes determina una serie de propiedades (propiedades físicas). Las propiedades químicas describen el comportamiento de los componentes.		pH.
Propiedades físicas y químicas.			Propiedades físicas.	CICE (cmol/kg).
			Propiedades químicas.	Porosidad (%).
				Nitrógeno total (g/kg).
				P disponible (mg/kg).
				K disponible (mg/kg).

Fuente: elaboración propia.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

En la tesis titulada: “Comparativa de métodos de descontaminación de suelos afectados por hidrocarburos” se tuvo como objetivo el desarrollo de tratamientos de biorremediación para la recuperación de terrenos contaminados, para ello se va a realizar la descontaminación del suelo con concentraciones de hidrocarburos mediante la técnica de Landfarming pretendiendo reducir el contaminante y el tiempo de tratamiento con las condiciones ambientales optimas que nos ayuden a la degradación microbiana de los hidrocarburos. La metodología del proyecto fue realizar 9 parcelas rectangulares de 200 m<sup>2</sup> total, con un volumen promedio de 60 m<sup>3</sup> de suelo de un terreno de 6 000 metros cuadrados de las cuales la P1 control, P2 riego + volteo, P3 fertilizante, P4 magnesio, P5 magnesio + fertilizante, P6 magnesio + S-200, P7 magnesio+ fertilizante+, P8 fertilizante + IVEYSOL, P9 S-200. El suelo tuvo una concentración inicial de 3 200 ppm de HTP, la duración que tuvo este proyecto fue de 5 a 6 meses. Los resultados obtenidos fueron entre los puntos P2 y P7, que han mejorado mucho el suelo con una reducción de hasta un 66 % con referencia a la P1. Las parcelas que contienen fertilizantes tuvieron una mejor reacción que las parcelas con Mg(OH)<sub>2</sub>. El pH se mantuvo en valores adecuados las parcelas que contenían Mg(OH)<sub>2</sub>, en estas llego hasta 10 pH. Por otra parte, el contenido del fósforo resulto significativo en la biorremediación en las parcelas con contenido de fertilizantes alcanzando un mayor contenido de este. Se concluye que las muestras de suelo obtenían una concentración de hidrocarburos que superaba los límites máximos marcados por la legislación vigente,

considerando que existe una contaminación al subsuelo. Las parcelas que tuvieron mejor resultado fueron los que contenían fertilizantes que se han conseguido rebajar por debajo de 1 000 ppm (18).

En la tesis titulada: “Biorremediación del suelo contaminado con hidrocarburos de la central hidroeléctrica del campamento Secoya mediante Landfarming”, tiene el objetivo biorremediar el suelo contaminado con hidrocarburo de la central hidroeléctrica del campo Secoya mediante la técnica de Landfarming, la metodología utilizada fue construir un cubeto de 18 m x 7 m, con una inclinación de 5°, se impermeabilizó con geo membrana dividida en 12 celdas. Trabajó con tres tratamientos con tres repeticiones y con tres celdas con suelo sin tratar, siendo un total de 12 unidades experimentales. Cada celda contiene 149.66 kg de suelo contaminado con 32144 mg/kg de HTP y se añadió a cada tratamiento lo siguiente: T1 (25 % MO + 75 % aserrín), T2 (75 % MO + 25 % aserrín), T3 (50 % MO+50 % aserrín); el procedimiento se llevó a cabo durante siete meses. Teniendo como resultado, el T1 tuvo una biodegradación lenta ya que llegó a reducir hasta 20 572 mg/kg (36 %) de lo inicial, este tratamiento es el menos efectivo; el T2 es el mejor tratamiento por obtener la más alta remoción de HTP llegando hasta 9 004 mg/kg (72 % reducción) y los mejores resultados que arrojaba durante el tiempo que duró el proceso y el T3 llegó a degradar hasta 15 179 mg/kg (53 %), este tratamiento presenta un rendimiento medio entre el T1 y T2. Por último, el tratamiento sin adición llegó a tener una remoción de HTP hasta 28 930 mg/kg (10 %), esto demuestra que la atenuación natural es relativamente lenta. Se concluye que la técnica de Landfarming logra disminuir la concentración de HTP tal cual lo demostró el tratamiento número 2 que logró reducir hasta el 72 % de Hidrocarburos Totales de Petróleo con respecto al tratamiento con atenuación natural que requiere de mayor tiempo para recuperar el suelo (19).

En la tesis titulada: “Aplicación de la técnica de *Landfarming* para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos” se tuvo por objetivo reducir la concentración de hidrocarburos hasta niveles por debajo del 2 % de HTP, el trabajo se realizó en condiciones *in situ* y *ex situ* donde se aplicará la técnica de Landfarming y biodegradación respectivamente, donde en la primera condición se realizó un filtro natural con una previa excavación del suelo contaminado con el fin de reducir los hidrocarburos de la napa freática; en la segunda condición se realizó en biopilas donde está conformado por suelo contaminado con hidrocarburo y

materia orgánica, en esta condición primero se trabajó en el laboratorio primero se tomó una muestra de suelo y se aisló cepas microbianas con posible potencial degradador, después se realizó la preparación del caldo bacteriano. En campo se realizó la dosificación de nutrientes, oxigenación del material, la humectación y se aplicó el caldo bacteriano. El resultado obtenido con la metodología utilizada nos da a conocer que es una de las mejores alternativas para mejorar el medio ambiente y es económicamente viable para la recuperación de suelos contaminados con hidrocarburos. El proceso de Landfarming permite alcanzar niveles de recuperación del suelo hasta porcentajes por debajo del 2 % de HTP. La eficiencia de Landfarming aumenta cuando es aplicada en suelos arenosos y cuando los hidrocarburos tienen cadenas cortas y son livianos (20).

En la tesis titulada: "Efecto del humus de lombriz en la remediación de suelos contaminado con crudo de petróleo", se tuvo como objetivo determinar cuál es el efecto del humus de lombriz en la remediación de suelos contaminados con crudo de petróleo, en campus de la universidad Nacional de Ucayali. La metodología del proyecto está compuesta por cuatro celdas de tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos cada celda por triplicado, a los cuales se aplicaron diferente dosis de humus de lombriz (T1 sin humus, T2 con 10 kg, T3 con 20 kg, T4 con 30 kg de humus de lombriz) durante cuatro meses. Inicialmente el suelo contiene 150 000 mg/kg de crudo de petróleo. Los resultados fueron: el T1 tiene 1 534.47 mg/kg de HTP con una remoción del 69.59 %, el T2 tiene 1116.77 mg/kg de HTP con una remoción de 84.33 %, T3 tiene 681.07 mg/kg de HTP con una remoción de 86.74 %, T4 tiene 704.30 mg/kg de HTP con una remoción de 75.52 %. Realizando el análisis de varianza nos indica que el nivel de significancia es mayor a 0.05 lo cual muestra que las medidas de los tratamientos son iguales. Se concluye que el humus de lombriz logra disminuir la presencia de HTP. El porcentaje de eficiencia de humus lombriz para el tratamiento de suelo fue estadísticamente no significativo, ya que el T3 tuvo un resultado favorable a diferencia del resto (21).

En la tesis titulada: "Biorremediación de suelos y sedimentos contaminados por el derrame de la línea de flujo del pozo Shushuqui 13 mediante la técnica de Landfarming, campo libertador, Sucumbios - Ecuador", se tuvo como objetivo tratar biológicamente el suelo contaminado con hidrocarburo, el tratamiento se realizó mediante la técnica de Landfarming en cuatro unidades experimentales cada uno con cinco repeticiones y un testigo, los microorganismos se estimularon con materia

orgánica y suplementos nutritivos, estas unidades fueron aireadas (movido) para que los microorganismos (bioaumentación) tengan un nivel de oxígeno adecuado, una buena temperatura y la humedad a capacidad de campo. Se obtuvo el resultado que la degradación del contaminante fue 96.75 %, 72.96 %, 93.35 % y 87.85 % para las unidades 1, 2, 3, 4 respectivamente. Finalmente, a la conclusión llegada es, las pruebas demuestran una mayor biodegradación de HTP en la fase inicial del tratamiento ya que las fracciones más livianas se consumen quedando las más pesadas requiriendo mayor tiempo (22).

En la tesis titulada: "Biodegradación de crudo de petróleo en terrarios", se tuvo como objetivo evaluar a los consorcios bacterianos nativos y exógenos en su capacidad degradativa en suelos contaminados con petróleo mediante la técnica de Landfarming, el procedimiento se realizó en tres recipientes con 30 kg de suelo contaminado intencionalmente con petróleo, el primer recipiente se denominó control abiótico y fue tratado con un litro de hipoclorito de sodio al 5.25 %, para inhibir el crecimiento microbiano y poder evaluar los factores ambientales en la degradación del hidrocarburo; el segundo recipiente se observó únicamente la influencia de los microorganismos nativos del suelo en la biodegradación del hidrocarburo; en el tercer recipiente se introdujo el suelo esterilizado con luz UV, seguidamente se inoculó en el suelo el consorcio bacteriano exógeno seleccionado. Se mantuvieron durante noventa días en la intemperie aireándolo semanalmente mezclando todo el contenido. El mejor resultado se asoció al recipiente número tres, ya que, el porcentaje de biodegradación de hidrocarburo fue 92.5 % y hubo una reducción de 1.2 g de hidrocarburo/25 g de suelo a 0.09 g de hidrocarburo/25 g de suelo con una temperatura de 16.1°C y una humedad de 8 ml/kg a los noventa días de tratamiento (23).

En el artículo científico titulado: "Estudio comparativo del agregado de enmiendas orgánicas e inorgánicas en proceso de biorremediación de suelo norpatagónicos contaminados con petróleo", se analizó la eficacia del agregado de biosólidos (B) y compost de biosólidos (CB) en comparación a los métodos convencionales de biorremediación en suelos norpatagónicos contaminados con petróleo. El trabajo se realizó a escala de laboratorio para saber la cantidad de hidrocarburos degradados del suelo mediante la aplicación de B y CB vs los fertilizantes y laboreo, aireación y humectación (LH). Los resultados obtenidos nos muestran estadísticamente diferencias en la cantidad de degradación de los hidrocarburos en el suelo, siendo

B>CB>F>LH. En conclusión, las enmiendas orgánicas optimizan la actividad microbiana produciendo mayor degradación del petróleo respecto a los tratamientos convencionales de biorremediación en ese tipo de suelo (24).

En el artículo científico titulado: “Optimización de un sistema de biorremediación de hidrocarburos a escala de laboratorio” se tuvo por objetivo optimizar los parámetros (humedad, temperatura, y la relación de nutrientes) de un suelo contaminado con hidrocarburos para ver la posibilidad de aplicar la técnica de biorremediación en éste. Para optimizar la temperatura y humedad se trabajó en microcosmos con humedades de 3 %, 10 %, 15 % y 20 %, y temperaturas de 5°C, 15°C, 28°C y 37°C. Para poder optimizar la relación de nutrientes se diseñaron diferentes microcosmos que fueron monitoreados por consumo de oxígeno y por determinación de hidrocarburos por cromatografía gaseosa. Los resultados que se obtuvieron indican que la mineralización de hidrocarburos fue óptima para humedades de 10 % a 20 % y a temperaturas de 25°C a 37°C con valores de producción de CO<sub>2</sub> de 3 000 a 4 500 mg.CO<sub>2</sub>/kg. La relación óptima C:N:P fue de 100:1:0.1 donde se observó que el mayor consumo de oxígenos y la remoción de los hidrocarburos de un 83 % que determinados por cromatografía gaseosa (25).

En el artículo de investigación titulado: “Biocorrección de suelos contaminados con isómeros de hexaclorociclohexano mediante técnicas de Landfarming y biopilas”, se tiene como objetivo realizar una evaluación a escala de campo de la eficiencia de las técnicas de Landfarming y biopilas. Landfarming es la técnica de biocorrección donde se adicionan nutrientes y enmiendas, sometidas a un laboreo y aireación periódicamente, se observó durante el periodo de tratamiento la disminución rápida de la concentración de isómeros  $\alpha$ -HCH (89 %) y  $\gamma$ -HCH (82 %) a causa de la destrucción de los agregados y la degradación biológica del HCH, y el isómero  $\beta$  no se vio afectado por el tratamiento ya que es más persistente. Por otra parte, el sistema de biopilas, una técnica de biocorrección *ex situ* donde también se adicionan materia orgánica, nutrientes y otras enmiendas al suelo contaminado, sometiéndose a una actividad microbiana aerobia y manteniendo la humedad adecuada. En esta técnica se realizó la biocorrección con tres sistemas como el estiércol, corteza y tojo, en proporciones: 70:15:7.5:7.5. Se consiguió una mayor reducción de los isómeros  $\gamma$ -HCH y  $\delta$ -HCH (68 % y 28 % respectivamente) (26).

En el artículo de investigación titulado: “Atenuación natural en suelos contaminados con hidrocarburos”, se comprendió la ejecución de un experimento con suelo de una refinería. La metodología de este estudio es preparar 6 cajones con 7 kg de suelo, cada uno con contenido de agua (15 % y 30 %), se añadió nutrientes y surfactantes en las siguientes condiciones: S<sub>1</sub> suelo contaminado y 15 % contenido de agua, S<sub>2</sub> suelo contaminado con adición de N y P con 15 % de contenido de agua, S<sub>3</sub> suelo contaminado con adición de N y P más surfactante no iónico con 15 % de contenido de agua, S<sub>4</sub> lo mismo que el S<sub>1</sub> pero con 30 % de contenido de agua, S<sub>5</sub> al igual que el S<sub>2</sub> con 30 % de contenido de agua, S<sub>6</sub> al igual que el S<sub>3</sub> con 30 % de contenido de agua, S<sub>7</sub> suelo testigo, sin control de humedad y sin aireación. Todo esto consiste en airear el suelo diariamente con el control de contenido de agua. El proyecto tuvo una duración de 60 días. Por consiguiente, los resultados fueron que todos los cajones tuvieron una eficiencia en la remoción de los HAP que disminuyó en más de 80 % con respecto al suelo inicial. Pero la remoción con mayor eficiencia tuvo los cajones que contenían mayor cantidad de agua que es el 30 %, nutrientes y surfactante. Las conclusiones que se obtuvieron es que la adición de surfactantes ayuda a degradar los HAP. La atenuación natural y la biorremediación son una opción viable y efectiva en suelos arenosos contaminados con HAP (27).

En el artículo de divulgación titulado: “El composteo: una alternativa tecnológica para la biorremediación de suelo en México” se tuvo como objetivo la restauración de suelos contaminados por hidrocarburos. La metodología del proyecto es realizar composteo mediante biopilas (alargada o estática) en el cual se adiciona y se mezclan los componentes primarios de una composta con el suelo contaminado de HTP. Durante el tratamiento se realiza monitoreos fisicoquímicos y biológicos lo que nos permite ajustar cada parámetro (pH, velocidades de flujo de inyección o extracción de aire, mezclado de la composta, adición de agua) hasta obtener en condiciones óptimas de operación. El tiempo de tratamiento puede durar desde unos meses hasta los dos años, dependiendo el tipo, condiciones del suelo, la biodisponibilidad del contaminante y sobre todo de las condiciones climáticas. Los resultados que se obtuvieron con todos los procedimientos y tipos de biopilas fueron: en una biopila alargada de 100 m<sup>3</sup> y 500 m<sup>3</sup> con 20 000 y 40 000 ppm de HTP en un tiempo de 104 y 450 días se tuvo una remoción del 43 % y 70 % todo respectivamente, en una biopila estática de 250 m<sup>3</sup> y 27 m<sup>3</sup> con 20 000 y 30 000 ppm de HTP en un tiempo de 450 y 154 días, tuvo una remoción de 70 % y 80 % todo respectivamente. Se concluye que el sistema de composteo hoy en día es una



de las tecnologías de biorremediación más utilizadas a nivel mundial para la remediación de suelos contaminados principalmente con hidrocarburos. Esto se debe a que sus procesos son sencillos y tecnológicamente efectivos y sus costos son bajos a diferencia de otras (28).

En el artículo de investigación titulado: “Biorremediación de un suelo con diésel” tiene como objetivo aislar y caracterizar un consorcio bacteriano capaz de degradar los hidrocarburos presentes en combustible diésel mediante los métodos de atenuación natural y bioestimulación. El experimento se realizó en dos tratamientos y uno de control, todos ellos por triplicado. El suelo contaminado tuvo una inicial de 40 000 ppm de diésel. Durante el experimento que duro 4 meses, se realizaron siembras en los días 13, 33, 43, 49, 65, 79 y 111 como fuente única de carbono y energía. En los resultados se indicó como parámetro de control la concentración de Hidrocarburos Totales de Petróleo, para lo cual, se obtuvo una reducción en la concentración del 36.86 % para la atenuación natural y un 50.99 % para bioestimulación, en los dos tratamientos se reportó que la degradación fue más de la mitad que la concentración inicial. El tratamiento más efectivo fue la bioestimulación ya que presento mejores niveles de degradación. Se concluye que la biorremediación ha demostrado ser una alternativa eficiente, fácil de aplicar y sobre todonde bajo costo para la recuperación de suelos contaminados con hidrocarburos (29).

Según el reporte del diario Tabasco Hoy, con el titular “Sin freno de desecho de talleres mecánicos” se informó que los talleres mecánicos también causan impacto hacia el medio ambiente, más de 400 talleres mecánicos generan 38 200 toneladas de residuos. Realizaron una investigación a las empresas que desechan productos tóxicos (trapos sucios con aceites, solventes, pinturas del sector automotriz y talleres de mantenimiento), que provocan un serio problema para el drenaje. Estos talleres mecánicos son una de las principales fuentes de contaminación por falta de conocimiento de cómo realizar correcta disposición final de los residuos sólidos y líquidos de estos establecimientos (30).

En el trabajo de investigación titulado: “Assessing changes in physical and biological properties in a soil contaminated by oil sludges under semiarid Mediterranean conditions” se tuvo como objetivo evaluar cambios en las actividades biológicas, porosidad y agrietamiento superficial de un suelo contaminado por hidrocarburos de lodos de aceite, bajo condiciones semiáridas Mediterráneas. Esta información

podría ayudar a predecir la tasa y extensión de la biorremediación intrínseca del suelo contaminado. La biomasa de C microbial, la respiración basal y el cociente metabólico ( $qCO_2$ ) de suelos contaminados fueron significativamente mayores que el suelo control, lo cual apunta a una marcada eficiencia reducida de uso de sustrato y a un posible efecto tóxico de hidrocarburos en el suelo. La baja tasa global de mineralización en el suelo contaminado también indica la presencia de hidrocarburos resistentes a la biodegradación. La actividad de la deshidrogenasa y las actividades de hidrolasas involucradas en los ciclos de N y P (ureasa, proteasa y fosfatasa) fueron estimuladas por la contaminación con hidrocarburos. La porosidad total del suelo fue incrementada por la contaminación, casi 15 veces más en comparación con el suelo control. La contaminación de hidrocarburos condujo a un incremento en las grietas en la clase de tamaño de 100 - 200  $\mu m$ , que puede estar relacionado como un reservorio para retener agua para las plantas y microorganismos. La biodegradación de hidrocarburos en el suelo podría requerir largos periodos de tiempo, y podría ser aconsejable aplicar métodos de biorremediación a este suelo contaminado (31).

En el trabajo de investigación titulado: "Removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from soil amended with biosolid or vermicompost in the presence of earthworms (*Eisenia fetida*)" se tuvo como objetivos investigar el efecto de (i) los microorganismos autóctonos del suelo, es decir, suelo no esterilizado sin lombrices, (ii) las lombrices de tierra, es decir, suelo esterilizado más lombrices de tierra, (iii) una combinación de los microorganismos autóctonos del suelo + lombrices de tierra, es decir, suelo no esterilizado más lombrices de tierra, y (iv) enmiendas orgánicas de suelo, es decir, biosólidos o vermicompost sobre la remoción de hidrocarburos aromáticos policíclicos en el suelo. El suelo esterilizado y no esterilizado fue contaminado con fenantreno, antraceno y benzopireno, con y sin el agregado de *Eisenia fétida* y biosólidos o vermicompost. Las concentraciones de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP) fue monitoreada en el suelo y en las lombrices de tierra por 70 días. La remoción de HAP incrementó en el suelo con lombrices de tierra agregados que fue disipado como 91 % de fenantreno, 16 % de antraceno y 99 % de benzopireno comparado a 42 %, 3 % y 95 % en un suelo no enmendado. Los microorganismos en el intestino de las lombrices de tierra contribuyeron a la remoción de HAP y el 100 % de fenantreno, 63 % de antraceno y 58 % fue removido de suelo esterilizado con *E. fétida* agregada. Los biosólidos y en menor extensión el vermicompost aceleró la remoción de HAP del suelo. La aplicación de lombrices

de tierra a un sitio contaminado podría ser una manera amigable con el ambiente para remover hidrocarburos del suelo. Sin embargo, una limitante podría ser el costo de las grandes cantidades de lombrices de tierra requeridos para remover HAP del suelo y la necesidad de suplirlos con suficiente substrato mientras se mantiene el contenido de agua en el suelo lo suficientemente alta para su normal funcionamiento (32).

En el trabajo de investigación titulado: "Utilization of Biosolids during the Phytoremediation of Hydrocarbon-Contaminated Soil" se se tuvo como objetivo determinar la influencia de adición de biosólidos (lodos digeridos anaeróticamente) y el establecimiento de la planta de *Bromus inermis* L. (Bromo Liso) sobre la tasa y extensión de la degradación de Hidrocarburos Policíclicos (HP) en suelos contaminados con diésel (gasoil). Se planteó como hipótesis que la adición de biosólidos podría estimular el crecimiento de la planta y la actividad microbiana, a través de la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas; así como favorecer la degradación de HP sobre controles no enmendados. Otra meta de la investigación fue investigar la influencia de la adición de biosólidos sobre la absorción de N por la planta y la dinámica del N mineral dentro del suelo contaminado. Se instaló un experimento de invernadero por 32 semanas, con tres dosis de biosólidos (0; 13, 34; y 26, 68 g de biosólidos secos al horno) y la presencia y ausencia de (*Bromus inermis* L. cv. Carlton) sobre la remoción de diésel (3.5 g/kg de suelo secado al horno) en un suelo franco arenoso, industrial. Los HP fueron divididos en dos fracciones. La adición de biosólidos no incrementó la extensión de la degradación de HP sino resultó en significativas mayores constantes de descomposición de primer orden comparados a los controles no enmendados. En general, la presencia de plantas no incrementó la tasa o extensión de degradación de HP, en relación a lo observado en suelos no enmendados, no vegetados. Sin embargo, la vegetación fue un factor importante dentro de los suelos enmendados con biosólidos debido a que se observó una mayor extensión de la degradación de HP. La adición de biosólidos incrementó las siguientes propiedades del suelo: contenido de C total, contenido de N total, contenido de N mineral, capacidad de retención de agua, capacidad de intercambio catiónico y pH. La dosis de enmienda más baja fue considerada preferible a la dosis más alta, debido a que tuvo una mayor tasa de descomposición (33).

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. El suelo

El suelo está compuesto por diversos minerales, desechos y erosiones y de materia orgánica. Está constituido por tres fases: sólida (componentes orgánicos e inorgánicos), líquida y gaseosa (hallada en el interior de los poros, grietas, etc. del suelo) (34).

- Color: relacionado con la constitución de su complejo coloidal.
- Humedad: Es un indicador de la cantidad de agua presente en el suelo.
- Textura: Se determina por la cantidad de minerales inorgánicos con diferentes tamaños que contiene: arena, limo y arcilla.
- Materia orgánica: es una parte que conforma el suelo y que está constituida de restos de animales y vegetales en estado de descomposición.

#### - Composición del suelo:

El suelo está compuesto básicamente de materia orgánica, mineral, agua y aire. El componente que más abunda en el suelo es la materia mineral ya que se agrupa en tres fracciones según su tamaño, de grueso a fino arena, limo y arcilla. La materia orgánica está conformada de restos de los animales y vegetales ayudando a la fertilidad y logrando que los organismos vivos liberen nutrientes para las plantas (35). El suelo es un medio heterogéneo que puede considerarse como compuesto por tres fases principales: fase sólida, fase líquida y fase gaseosa. Estas fases influyen específicamente en el suministro de nutrientes a las raíces de las plantas. La fase sólida es el principal reservorio de nutrientes. Las partículas inorgánicas de esta fase contienen nutrientes catiónicos como K, Na, Ca, Mg, Mn, Zn y Cu mientras que las partículas orgánicas de la misma fase suponen la principal reserva de N, y en menor grado, de P y S. La fase líquida, es principalmente responsable del transporte de nutrientes en el suelo, es decir, de llevar los nutrientes desde las distintas partes del suelo

hacia las raíces. Los nutrientes transportados por esta fase están presentes fundamentalmente en su forma iónica, aunque el O<sub>2</sub> y el CO<sub>2</sub> también están disueltos en la solución suelo. La fase gaseosa participa en el intercambio gaseoso que ocurre entre los organismos vivos del suelo (raíces de las plantas, hongos, bacterias y animales) y la atmósfera. Este proceso resulta en el suministro de O<sub>2</sub> a dichos organismos vivos y la eliminación del CO<sub>2</sub> que se ha producido por la respiración de la atmósfera del suelo. Los nutrientes de las distintas fases están fuertemente interrelacionados.

### 2.2.2. La mecánica automotriz

Esta actividad está dirigida a todos los automóviles para su mantenimiento preventivo y correctivo, cambiándose elementos de servicio del vehículo como aceite, filtro de aire, entre otros. Las reparaciones mecánicas son correcciones de las fallas del vehículo que incluyen el reemplazo de autopartes, estas actividades son realizadas manualmente (36). Los insumos básicos que se emplean en la actividad descrita son:

- Lubricantes: aceite de motor, líquidos de transmisión y grasas.
- Fluidos de aplicación: líquidos de frenos, anticongelante.
- Autopartes: filtro de aceite, filtro de combustible, amortiguadores.

### 2.2.3. Suelo contaminado por hidrocarburos

La contaminación del suelo es la alteración de la calidad de la superficie terrestre o subterránea con sustancias químicas directa o indirectamente que son perjudiciales para el medio ambiente volviéndose uno de los problemas que está recibiendo mayor atención en los últimos años y afectando a la salud humana a lo largo del tiempo (37). Por un litro de aceite usado contamina un millón de litros de agua y pudiendo formar una mancha de 4 000 m<sup>2</sup> en el suelo, esta contaminación retrasa la productividad de la tierra, porque altera los horizontes que tienen mayor cantidad materia orgánica, A y B (36). Esta contaminación tiene efectos

perjudiciales para las aguas subterráneas a través de lixiviados, escorrentía y al aire a través de la combustión, evaporación o arrastre por el viento, envenenamiento por contacto directo (34). El petróleo es un líquido negro, viscoso con una composición compleja que coexisten en fases sólidas, líquidas y gaseosas. La familia de los hidrocarburos predomina la composición del petróleo (50 – 98 %), constituyendo unos de los grupos de contaminantes ambientales más importantes tanto como su abundancia y su persistencia en los distintos compartimientos ambientales (38). El nombre de petróleo significa “aceite de piedra”. Sus características más relevantes son: tiene un color amarillento hasta negro, su olor es desagradable, su combustión es positiva y tiene 11 000 calorías por kilogramo.

Los hidrocarburos son combustibles fósiles y se encuentran en la naturaleza gracias a la acumulación de biomasa de miles de años y se ha convertido en una pieza clave para diversos usos, tales como, crecimiento de la economía, consumo de energía, la explotación (5). Éstos están compuestos en gran cantidad por carbono e hidrógeno en la naturaleza. Las actividades principales que pueden generar contaminación por hidrocarburos en el suelo son: gasolineras, los talleres automotrices, el depósito final de los residuos sólidos, industrias metalúrgicas, talleres de pinturas y esmaltes, manufactura de pesticidas (12). El hidrocarburo está dividido en dos partes: alifáticos y aromáticos:

- Alifáticos: son utilizados como disolventes para sustancias aceitosas, grasas, resinas, etc., dentro de los hidrocarburos alifáticos tenemos a tres grupos: alcanos, alquenos, alquinos (39):
  - o Alcanos o hidrocarburos saturados que solo tienen enlaces simples carbono-carbono formando cadenas, pueden tener ramificaciones, pero nunca cerrarse entre sí mismas para formar estructuras cíclicas y, no presentan ningún grupo funcional. Los alcanos tienen poca afinidad para poder reaccionar a temperatura ambiental, se resisten al ataque de ácidos fuertes, bases fuertes, oxidantes, por lo cual se les denominan parafinas y se encuentran en la gasolina, kerosene, diésel, etc.

- Alquenos (insaturados) u oleofinas, contienen enlaces dobles carbono-carbono con un ángulo de  $120^\circ$  y comparten dos pares de electrones. El doble enlace está formado por un enlace sigma y uno pi y a la vez presentan isomería geométrica y cuando tienen el mismo número de carbonos en el esqueleto presentan isomería de posición. Este hidrocarburo contiene menos hidrógenos es por ello que son denominados insaturado y a la vez satisface a otros reactivos (40).
  - Alquinos (insaturados) o acetilénicos, son hidrocarburos que contienen un triple enlace (41) formado por enlaces sigma y un enlace pi con un ángulo de  $180^\circ$  y tienen una cadena por lo menos de dos carbonos. Este triple enlace hace que la molécula sea muy reactiva. Este compuesto contiene mucho menos hidrógeno que los alquenos, representando mayor insaturación. Por el lugar que ocupa el triple enlace en la cadena, los alquinos presentan isomería de posición (40).
- Aromático: está compuesto por uno o más anillos, el compuesto más importante en esta familia es el benceno, término adoptado por el intenso olor de algunos bencenos sustituidos. Los compuestos con uno o dos anillos son los más ligeros y se degradan rápidamente, los compuestos con cinco o seis anillos son mucho más resistentes a la degradación (42):
- Monoaromáticos: éstos se encuentran en el benceno, formando la familia de los BTEX (38).
  - Poliaromáticos: en los poliaromáticos de tres anillos, encontramos el fenantreno, antraceno, fluoreno y sus derivados (38).

#### 2.2.4. Fuentes de contaminación por hidrocarburos

Las actividades de explotación, transporte, almacenamiento y extracción de petróleo crudo son las principales fuentes de contaminación en el Perú. Al realizar estas actividades se producen derrames afectando al suelo en sus propiedades físicas, químicas y biológicas, tal como ha ocurrido con el

Oleoducto Norperuano de Petroperú que ha sufrido roturas y consecuentes derrames de petróleo, así mismo, ocurrió con la extracción de hidrocarburos del Lote 192 provocando derrames de crudo (43). Por otra parte, otra fuente de contaminación está las estaciones de servicio, por el manejo de productos como la gasolina, diésel, gas, petróleo para la reparación o intercambios de aceites de los automóviles provocando así derrames hacia el suelo y por el inadecuado almacenamiento de los residuos como los aceites gastados y combustibles (44).

#### 2.2.5. Efectos de los hidrocarburos en el suelo, flora, fauna y la salud

- Suelo: los hidrocarburos afectan al suelo de manera que impiden el intercambio gaseoso con la atmosfera, puede destruir de las proteínas su estructura terciaria, desnaturalizar enzimas y deshidratar células dependiendo de la cantidad, el tipo de hidrocarburo vertido, temperatura, humedad, textura del suelo y de los altos gradientes de salinidad (43).
- Flora: los efectos que puede causar los hidrocarburos al tener contacto con las plantas se pueden dar de dos formas, directa e indirectamente. Este contaminante afecta directamente a la descomposición de la membrana de la célula hasta la muerte, indirectamente le afecta mediante la alteración de las condiciones físicas y la fertilidad del suelo. Por otra parte, también puede afectar en la reproducción y propagación de las plantas, en la destrucción de las fuentes alimenticias y limitar el paso de la luz y reduce la actividad fotosintética de las plantas (43).
- Fauna: se afectada a través de las aves por el contacto directo que mantiene con la vegetación contaminada o por envenenamiento por ingestión, esto debido a los derrames de petróleo que se generan a través de la explotación, extracción, transporte y almacenamiento del mismo.
- Salud: los efectos que puede causar el hidrocarburo en la salud humana ya sea por ingesta, aspiración o por tener contacto directo con el mismo son: en caso de una ingesta puede dañar al aparato



gastrointestinal, generalmente son irritantes de boca, faringe e intestino (vómitos espontáneos, náuseas, malestar intestinal, etc.) y al sistema nervioso, en caso de aspiración produce lesión directa de los capilares y al tejido pulmonar, por último el contacto directo con el hidrocarburo produce irritación a la piel (43) y picores, esto puede facilitar la absorción de los componentes de crudo que provocaría el riesgo de tener cáncer de piel. También produce irritación a los ojos por tener contacto con las gotas del crudo que pueden ser absorbidas por la córnea.

#### 2.2.6. Remediación de suelos

Es un procedimiento donde interviene las actividades antropogénicas que son encaminadas para recuperar las zonas, donde la contaminación ha afectado las características físicas, químicas y biológicas del suelo. La remediación son acciones necesarias para recuperar y reestablecer sus condiciones iniciales del suelo. La tecnología de remediación puede clasificarse en tres grupos: tratamientos biológicos, fisicoquímicos y térmicos, en el primer tratamiento se utiliza las plantas, hongos y bacterias para la degradación de los contaminantes, en el segundo tratamiento se utiliza las propiedades químicas y físicas del suelo contaminado para luego separar la contaminación y por último, el tratamiento tres utiliza el calor para incrementar la volatilización, quemar o inmovilizar los contaminantes del suelo (45).

#### 2.2.7. Biorremediación

La biorremediación se utilizada para la recuperación de áreas contaminadas, para ello se utiliza organismos vivos como las plantas, hongos, bacterias. El lugar de la realización del proceso de remediación puede ser llevadas a cabo en el mismo lugar o fuera del lugar contaminado.

- En el mismo lugar o *in situ*: esto es recomendado cuando existe suelos y aguas subterráneas contaminadas, ya que el traslado implicaría la

extracción de terrenos no contaminado e incrementaría el costo de operación. En esta técnica se utilizan la bioestimulación, bioventeo, difusión de aire, extracción de vapores del suelo, biobarreras (46):

- Bioventeo: estimula la biodegradación natural en condiciones aerobias. El aire se suministra en el sitio por movimiento forzado (47).
  - Bioestimulación: a través de un suelo contaminado implica la circulación de soluciones acuosas para la estimulación de actividades de microorganismos autóctonos, y así mismo mejorar la biodegradación de los contaminantes (47).
  - Biolabranza: en esta técnica, el tratamiento se realiza en la parte superficial del suelo contaminado por medio del arado. El suelo se remueve conjuntamente con el nutriente para así favorecer su aireación (47).
- Fuera del lugar o *ex situ*: en esta técnica se hace la excavación del suelo contaminado y se transporta a otro lugar para poder optimizar los parámetros microbiológicos. En esta técnica las más empleadas son: la recuperación por vía sólida y tratamiento de suspensión (46):
    - Incineración: en esta técnica se realiza en hornos de cemento para la eliminación de los pasivos ambientales, se somete el suelo contaminado en altas temperaturas para que los contaminantes se evaporen y quemarse en condiciones controladas.
    - Landfarming: en esta técnica se realiza la degradación aeróbica, el suelo contaminado se airea periódicamente, se añade agua para mantener la humedad, también se puede agregar nutrientes o incluso moderar el pH del suelo.
    - Compostaje: en esta técnica se usa microorganismos para tratar los contaminantes orgánicos. El suelo se excava y se mezcla con compuestos para aumentar la porosidad, este compuesto al degradarse genera las condiciones termofílicas.

#### 2.2.8. Biodegradación

Es el proceso por el cual actúan sobre el suelo contaminado las bacterias y hongos para metabolizar y transformar los contaminantes orgánicos del suelo, a su vez estos microorganismos lo utilizan para su crecimiento como fuente de carbono y energía. Para que los microorganismos crezcan es necesario la presencia de donadores y aceptadores de electrones, estos electrones son necesarias para reducir los compuestos orgánicos, que son fuente de carbono (45).

- Técnica Landfarming: es un proceso de remediación aerobia que se aplica sobre zonas del suelo contaminados con hidrocarburos, este suelo es removido periódicamente para mejorar la aireación y, también se utilizan nutrientes para degradar los componentes del petróleo produciendo dióxido de carbono (48). Esta técnica es simple y se realiza *ex situ*. Para que sea efectiva la biodegradación se tiene que estimular los microorganismos agregando nutrientes y mezclando el suelo para aumentar la aireación y a la vez aumentando la pérdida de los contaminantes hidrocarburos a través de la volatilización. Esta práctica consiste en excavar el suelo contaminado y extenderlo en lechos poco profundos. Periódicamente se hará oxigenación y se regará el suelo. Existen parámetros óptimos de aplicación. Por otro lado, es una técnica barata y efectiva para un amplio rango de hidrocarburos, este método ha sido exitoso en el tratamiento de los hidrocarburos de petróleo tales como gasoil, queroseno, lodos de hidrocarburos poli cíclicos aromáticos en general (49). Así también, esta técnica es una tecnología de biorremediación que se aplica en la superficie del suelo y se utiliza bacterias nativas para degradar los componentes de petróleo produciendo dióxido de carbono y agua. Esta técnica se recomienda aplicar para productos semivolátiles a pesados (19). El humus de lombriz se obtiene de la crianza de lombrices y éste recicla todo tipo de materia orgánica, para después obtener el producto requerido a través de sus excretas comúnmente llamado humus, éste es un fertilizante orgánico de primer orden y sirve como abono natural, mejorar las características físico-químicas del suelo, enmienda orgánica para producir alimentos sanos de máxima calidad y favoreciendo el crecimiento de las plantas. El humus de lombriz además de ser un fertilizante orgánico, completo y de fácil

obtención, no contamina el medio ambiente, es rico en elementos energéticos y minerales, mejora el drenaje, la aireación y la porosidad; protege al suelo de la erosión (50).

#### 2.2.9. Técnicas e instrumentos complementarios de la investigación

- Revisión bibliográfica: para obtener información sobre el tema de investigación al cual se está tratando y de esta manera enriquecer conocimientos para la elaboración del informe final.
- Observación participante: se da al participar en diversas actividades, reuniones referentes al tema de interés, para fortalecer y ampliar los conocimientos previos. A parte de ellos se observó en los talleres mecánicos que el suelo está siendo afectado por los Hidrocarburos Totales de Petróleo que son utilizados por el personal para realizar sus diferentes actividades diarias.
- Encuestas: esta técnica es importante para identificar a ciencia cierta la cantidad de talleres mecánicos que existen en el distrito de Chilca y a la vez determinar la población de la investigación. A través de estas encuestas, también sabemos cuánto está siendo afectado el ambiente por los HTP que a la vez afecta a los trabajadores.
- Libreta de campo: necesaria para la recolección de datos en campo.
- Cámara fotográfica: es importante para sacar evidencias mediante fotografías del mismo lugar de los hechos durante la encuesta (suelo de la mecánica).

#### 2.3. Definición de términos

- Aireación: es el intercambio de gases entre el suelo y la atmosfera lo cual es una fuente muy importante para la remediación de los hidrocarburos del suelo ya que ayuda a romper los flóculos de tierra además de abastecer oxígeno para un buen desarrollo de los microorganismos (51).
- Biomasa: es un conjunto de materias orgánicas producida por las plantas y los animales, que se originan en un proceso biológico generando energía y se utiliza como fuente de energía renovable (52).

- Concentración: la cantidad de diversas sustancias que se encuentran disueltas en un volumen específico, representado en unidades de partes por millón para el caso de contaminantes de suelo o agua (53).
- Contaminación: es la alteración de las características físicas, químicas y biológicas del suelo, agua o aire, de manera que puede afectar las actividades de los seres humanos, dañar su salud y de otros seres vivos (36).
- Densidad: propiedad física de la materia que relaciona la masa y el volumen de una sustancia de los distintos estados: líquida, gaseosa, sólidos o de un objeto (54).
- Densidad aparente: refleja el contenido total de porosidad en un suelo (refleja compactación y facilidad de circulación de agua y aire) (54).
- Densidad real: de un suelo depende de la cantidad de materia orgánica e inorgánica presente (54).
- Evaporación: este proceso ocurre en relación a la temperatura, a mayor temperatura más rápido es la evaporación, a menor temperatura más lento será la evaporación. Esto ocurre en la superficie del líquido, donde este pasa al estado gaseoso. En relación al producto derramado, los compuestos que son más volátiles se llegan a evaporar y el petróleo se hace más pesado hasta llegar a hundirse. Al llegar las 24 h casi el 40 % se ha evaporado del petróleo (21).
- Humedad: es la cantidad de agua presente en el suelo y, es una de las propiedades físicas del suelo y de gran utilidad para la remediación del suelo contaminado con hidrocarburos.
- Insaturado: un compuesto insaturado contiene por lo menos un enlace doble o triple de carbono-carbono. Su estructura química posee uno o varios enlaces covalentes múltiples (21).
- Laboreo: es la remoción o inversión del perfil del suelo y pudiendo mejorar su estructuración como las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo. Puede aumentar el potencial productivo del suelo (51).
- Materia orgánica: se encuentra en el suelo y está conformada por compuestos heterogéneos como la acumulación de restos de animales y de las plantas en continuo estado de descomposición y su permanencia en el suelo es por muchos años.
- Medio ambiente: todo lo que rodea al ser humano tales como los factores bióticos y abióticos. Entre ellos esta flora, fauna y los seres humanos; también

está el aire, el suelo y el agua que son la subsistencia de los organismos vivos (36).

- Saturado: está compuesto por moléculas orgánicas que no contienen dobles ni triples enlaces carbono-carbono, los enlaces covalentes son de tipo sencillo. Se pueden presentar en los 3 estados del agua según el tamaño de la cadena de carbonos (21).

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### 3.1. Método, tipo y nivel de la investigación

##### 3.1.1. Métodos de la investigación

###### a) Método general de la investigación:

El método de investigación aplicado en la tesis fue hipotético-deductivo, la cual implica que, de una teoría general se deriven ciertas hipótesis, las cuales son probadas contra observaciones del fenómeno en la realidad (55). Este método también llamado contrastación de hipótesis, trata de establecer la verdad o falsedad de las hipótesis que ponemos a prueba (56).

###### b) Método específico de la investigación:

El método específico a utilizar es el análisis, que consiste en analizar la influencia de la aplicación de las prácticas sostenibles y el efecto del humus de lombriz sobre el suelo contaminado con hidrocarburos. Analiza cada punto de muestra especificada tanto de mayor y menor impacto generado por los hidrocarburos. Este método es necesario para la fase de revisión de la literatura para la interpretación de información y el análisis de datos.

### 3.1.2. Tipo de la investigación

El tipo de investigación para la tesis es aplicado, toda vez que se validó las teorías vigentes para la explicación de la influencia de las prácticas sostenibles y el efecto del humus de lombriz sobre el suelo contaminado con hidrocarburos en el taller mecánico Unión. Es el proceso que se traduce en el crecimiento del saber científico y, en la generación de nuevas ideas para aplicarlas y dar soluciones a los problemas. Comparando la veracidad de los conocimientos.

### 3.1.3. Nivel de la investigación

El nivel de investigación es explicativo, centrado en determinar la influencia de las prácticas sostenibles y el efecto del humus de lombriz sobre el suelo contaminado con hidrocarburos en el taller mecánico Unión buscando el porqué de los hechos mediante la relación de causa-efecto. Por consiguiente, los estudios explicativos pueden ocuparse de la determinación de las causas y los efectos (investigación experimental), mediante la prueba de hipótesis (57).

## 3.2. Diseño de la investigación

El tipo de diseño de la investigación es experimental porque se realiza prácticas sostenibles y adición de enmienda orgánica (humus de lombriz) en un suelo contaminado con hidrocarburo de un taller mecánico, Chilca, 2019. Para la investigación se trabajará con 3 tratamientos y tres repeticiones, haciendo un total de 9 unidades experimentales.

El presente proyecto tiene como propósito comprobar la eficiencia del humus de lombriz, para tratar un suelo contaminado con hidrocarburo.

Tabla 02. *Tratamientos en estudio.*

Nº	Tratamientos
----	--------------



1	T1 = suelo contaminado sin enmienda orgánica.
2	T2 = suelo contaminado con 30 % de enmienda orgánica (masa/masa).
3	T3 = suelo contaminado con 50 % de enmienda orgánica (masa/masa).

Fuente: elaboración propia.

- Diseño experimental:

Los suelos serán dispuestos en un Diseño Completamente Aleatorio (DCA), cuyo modelo aditivo lineal es el siguiente:

$$\gamma_{ik} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

- $\gamma_{ik}$  = cualquier observación del experimento.
- $\mu$  = media poblacional.
- $\tau_i$  = efecto del i-ésimo tratamiento.
- $\varepsilon_{ijo}$  = error experimental.

### 3.3. Población y muestra

#### 3.3.1. Población

La población está compuesta por 103 talleres mecánicos existentes y están distribuidos por todo el distrito de Chilca de la provincia de Huancayo, con diferentes años de experiencia cada uno de ellos, identificados mediante coordenadas UTM, principal actividad, y años de funcionamiento. La información complementaria se presenta en la sección de anexos.

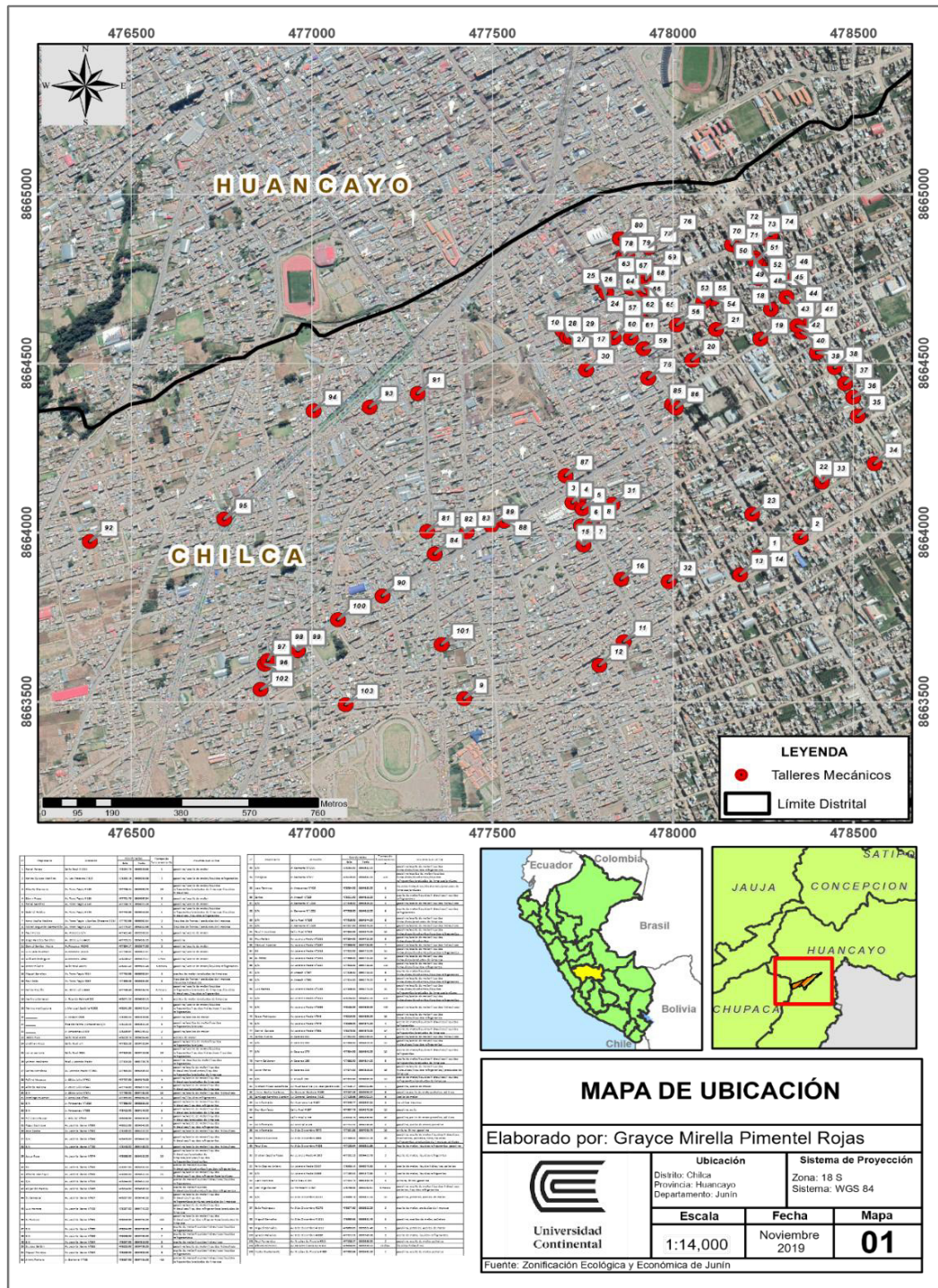


Figura 03. Ubicación de los talleres mecánicos en el distrito de Chilca.

Fuente: elaboración propia empleando ArcGis.

### 3.3.2. Muestra

La muestra utilizada para la presente investigación es probabilística, ya que se seleccionó aleatoriamente el taller de mecánica Unión que tenía mayor año de experiencia (> 20 años) con una extensión de 99.10 m<sup>2</sup>.

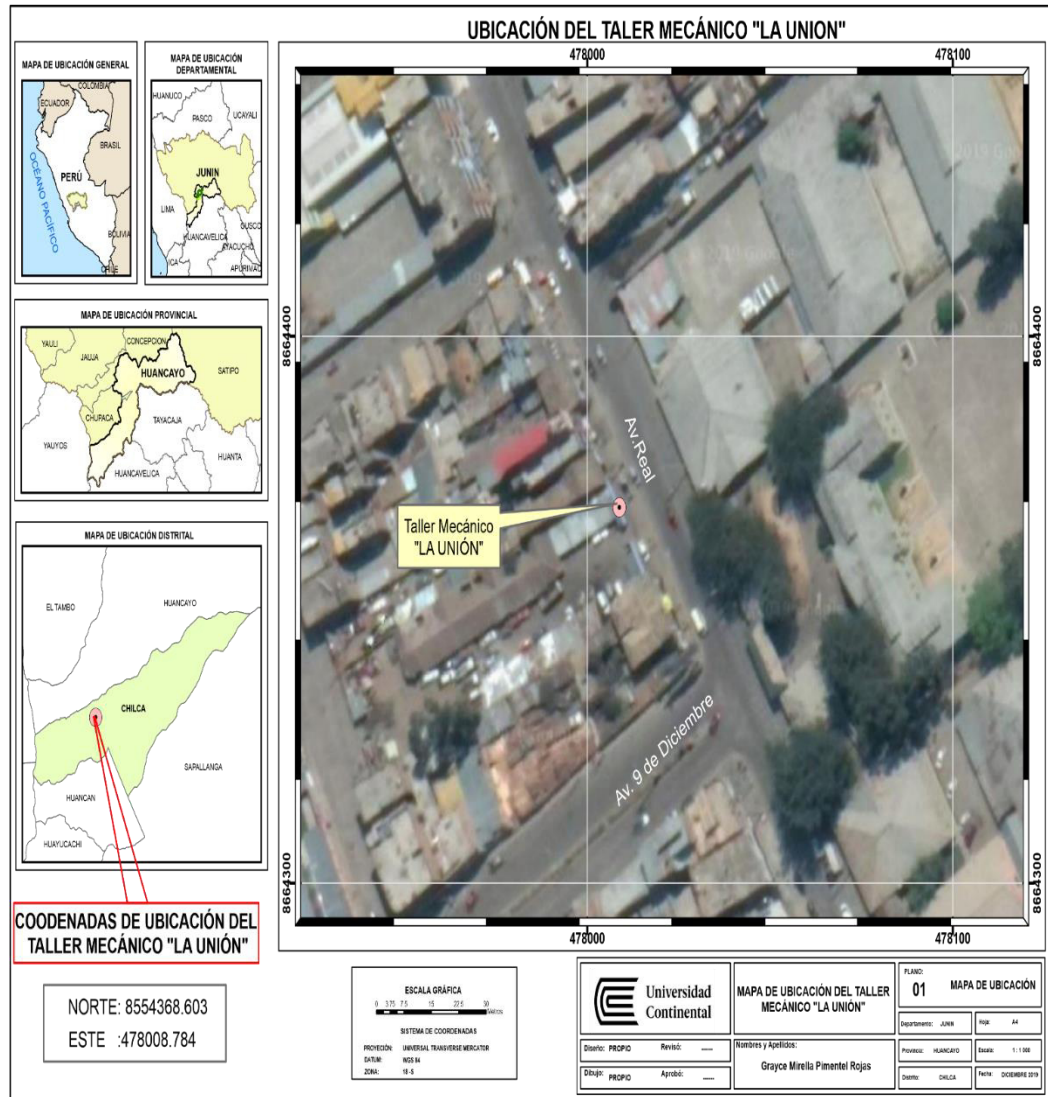


Figura 04. En la imagen se observa el punto de ubicación del taller mecánico "Unión" del cual retiramos la muestra para el experimento.

Fuente: elaboración propia empleando ArcGis.

### 3.4. Procedimiento experimental

Se realizó una encuesta para determinar básicamente el número de la población de las mecánicas existentes en el distrito de Chilca.

Un experimento en condiciones naturales se realiza en mayor tiempo, sin embargo, el proyecto fue en condiciones de invernadero es por ello que se realizó en un menor tiempo:

- Primero se analizó el suelo para saber en qué lugar hay mayor concentración de hidrocarburos y posteriormente se prosiguió a la excavación y retiro de muestra de cada punto para después ser homogenizado.
- Posteriormente se realizó el triturado de la muestra hasta obtener una homogenización completa para luego ser llenados en las bolsas herméticas (caracterización: 1 kg, concentración HTP: 300 g) con sus respectivos rótulos para luego ser llevados y analizados en los laboratorios respectivos (Universidad Nacional de Ingeniería y J. Ramón del Perú S.A.C.).
- Se adquirió el humus de lombriz, se tomó una muestra de ella (1/2 kg) y fue colocado en una bolsa hermética con su respectiva rotulación para ser analizado en el laboratorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina.
- El experimento se inició el 3 de septiembre de 2019, habiendo previamente muestreado el suelo de la capa superior de suelo, del taller de mecánica "Unión". Para dar inicio al experimento se dispuso de 9 envases de 2 kg, una pala pequeña, jarra medidora y, una balanza. El trabajo se realizó dentro de un invernadero.
- Preparado el suelo a utilizar, se realizó el pesado respectivo de la muestra de suelo (2 kg - 100 %, 1.4 kg - 70 % y 1 kg - 50 %) por triplicado, a cada tratamiento se agregó el humus de lombriz completando a los 2 kg seguidamente siendo mezcladas; según los estudios, el suelo se debe mantener con humedad a una capacidad de campo.
- Se vertió en la T1, 2 kg de suelo contaminados con hidrocarburos, las tres muestras tienen 100 % suelo.
- En el T2 se vertió 1.4 kg de suelo contaminado con hidrocarburo con 0.6 kg de humus de lombriz (70 % suelo con HTP y 30 % humus de lombriz).
- En el T3 se vertió 1 kg de suelo contaminado con hidrocarburo con 1 kg de humus de lombriz (50 % suelo con HTP y 50 % humus de lombriz).
- Se realizó un monitoreo cada tres días al experimento humectando a capacidad de campo, la aireación y laboreo se realizó con una pala, se registró la temperatura con un termómetro de cobre semanalmente de cada unidad experimental. La capacidad de campo se determinó por gravimetría, se colmó

el suelo con agua y eliminar el exceso por gravedad. Finalmente obteniendo la cantidad de humedad del suelo cuando ya no esté liberando agua. Se procedió a pesar cada una de las muestras para saber cuánto es su capacidad de campo teniendo una referencia que el peso inicial fue de 2 kg.

- Finalizado el experimento, el 6 de diciembre, se procedió a revisar el suelo de cada unidad experimental para ser llevados a analizar el contenido de HTP y las propiedades del suelo a los laboratorios respectivos. Para ellos se realizó lo siguiente:
  - Primero se extendió el suelo sobre un papel kraft se procedió al secado de las muestras de cada tratamiento durante 4 días.
  - De cada una de las nueve muestras de suelo se pesó 1 kg de suelo para ser colocado en las bolsas herméticas con su respectivo rótulo y ser enviados al laboratorio de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) para el análisis de Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP), aparte de ello se procedió a pesar 300 g de suelo para ser colocados en las bolsas herméticas con su respectivo rótulo cada una y ser enviados al laboratorio de J. Ramón del Perú S.A.C. para el análisis de caracterización de suelo.

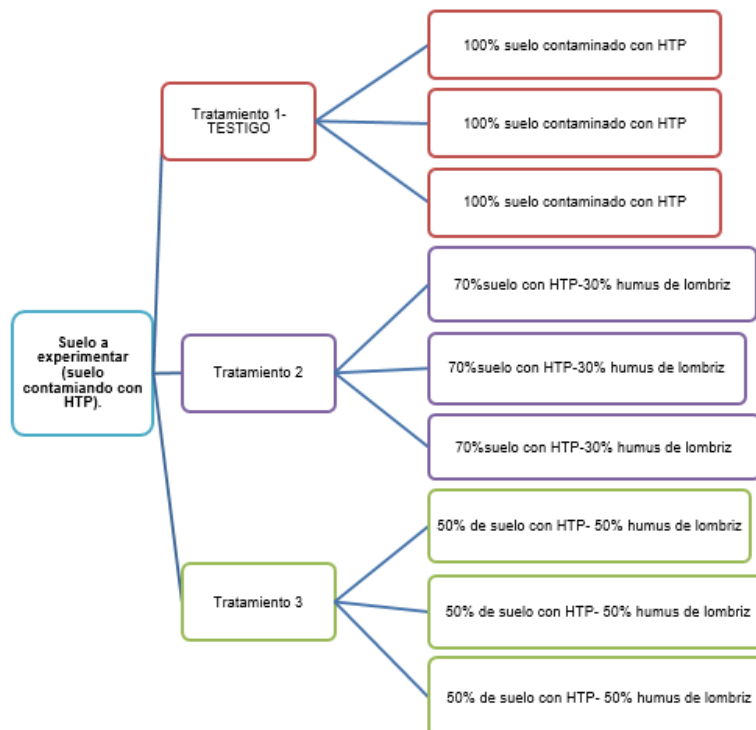


Figura 05. Diagrama de los tratamientos de la fase experimental.

Fuente: elaboración propia.

### 3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### 3.5.1. Técnicas de recolección de datos

- Encuestas.
- Observación.
- Registro instrumental.
- Revisión de imágenes satelitales.
- Aireación.
- Humectación.
- Laboreo.
- Termómetro.

#### 3.5.2. Instrumentos de recolección de datos

- Libreta de apuntes.
- Cámara fotográfica.
- Termómetro.
- Jarra medidora.
- Balanza.

### 3.6. Técnicas de análisis y procesamiento de datos

Los datos, resultado de los análisis realizados después del experimento, fueron sistematizados según los tratamientos y se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para determinar la normalidad de los datos; si los datos se asociaron a una distribución normal se procedió a realizar el análisis de varianza y la prueba de Duncan para tratamientos; en cambio, si los datos no presentaron distribución normal, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para determinar la variación de los tratamientos.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### 4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

##### 4.1.1. Resultados iniciales

- Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP):

Se analizó un suelo franco arenosa de la capa superficial contaminado con Hidrocarburos Totales de Petróleo del taller mecánico Unión del distrito de Chilca para saber cuánto es la concentración de este contaminante y se obtuvo como resultado inicial de 43 386.7 ppm.

Tabla 03. *Resultados del análisis de HTP en el suelo.*

ANÁLISIS	RESULTADO	MÉTODO DE REFERENCIA
HTP	43 386.7 ppm	EPA 3550C

Fuente: elaboración propia.

- Propiedades físico-químicas del suelo:

Se analizaron las características físicas y químicas del suelo contaminado con hidrocarburo antes de realizar la aplicación del método de Landfarming y se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 04. *Resultados del análisis físico-químico del suelo antes del experimento.*

Parámetros	Unidades	Resultados
Carbonatos	%	< 0.10
Densidad	Mg/m <sup>3</sup>	1.20
Materia orgánica	%	12.48
Nitrógeno total	g/kg <sup>1</sup>	0.2424
pH	unidad	7.67
Porosidad	%	1.00
Fósforo disponible	mg/kg	21.74
Potasio disponible	Mg/kg	75.21
Calcio intercambiable	cmol/kg	21.01
Magnesio intercambiable	cmol/kg	4.61
Potasio intercambiable	cmol/kg	0.62
Sodio intercambiable	cmol/kg	0.55
Capacidad de Intercambio Catiónica Efectiva (CICE)	cmol/kg	26.79
Arcilla	%	5.44
Arena	%	86.56
Limo	%	8.00
Clase textural	Triángulo textural	Arena Francosa

Fuente: elaboración propia.

- **Materia orgánica:**

Se analizó el humus de lombriz que fue aplicado en el suelo contaminado con hidrocarburo y se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 05. *Resultados del análisis de humus de lombriz.*

Parámetros	Resultados
pH	7.76
C.E. (dS/m)	19.40
M.O. (%)	23.40
N (%)	1.56



P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	2.77
K <sub>2</sub> O (%)	0.29
CaO (%)	7.23
MgO (%)	1.37
Hd (%)	48.81
Na (%)	0.77

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.2. Resultados finales

- Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP):

Tabla 06. *Resultado del análisis de HTP (µg/g) después del experimento.*

Tratamiento	Repetición	HTP (µg/g)	Promedio
T1: (suelo + 0 % humus de lombriz).	Muestra 1	9 970.65	6 447.39
	Muestra 2	8 855.88	
	Muestra 3	515. 65	
T2: (suelo + 30 % humus de lombriz).	Muestra 1	438.14	4 359.52
	Muestra 2	8 291.74	
	Muestra 3	4 348.69	
T3: (suelo + 50 % humus de lombriz).	Muestra 1	11 248.95	5 269.40
	Muestra 2	2 403.65	
	Muestra 3	2 155.60	

Fuente: elaboración propia.

- Prueba de normalidad de los datos: Shapiro-Wilk:

Se planteó la siguiente hipótesis:

H<sub>0</sub>: La distribución de los datos es normal.

H<sub>a</sub>: La distribución de los datos no es normal.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 07. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para el contenido de HTP del suelo.

Variable	n	Media	D.E.	W	p
HTP ( $\mu\text{g/g}$ )	9	5 358.772	4 249.668	0.849	0.1131

Fuente: elaboración propia.

Decisión:

Según la tabla 07, se acepta la  $H_0$  porque el valor de p es mayor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ), es decir, los datos analizados tienen una distribución normal, por esta razón, para esta variable se realizó el análisis de varianza (ANOVA).

Análisis de varianza (ANOVA):

Prueba de hipótesis:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_a: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$  (al menos una  $\mu_i$  es diferente a los demás).

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 08. Análisis de varianza del contenido de HTP total del suelo.

F.V.	gl	SC	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	2	6 574 744.979	3 287 372.489	0.143	0.8696
Error	6	137 902 708.762	22 983 784.794		
Total	8	144 477 453.741			

Fuente: elaboración propia.

Decisión:

La prueba de análisis de varianza tiene un p-valor mayor de 0.05, lo cual indica que entre los tratamientos no existen diferencias significativas, por lo cual se acepta la hipótesis nula.

Tabla 09. Prueba de comparación múltiple de Duncan para el contenido de HTP del suelo.

OM	Tratamiento (dosis de humus de lombriz, %)	HTP ( $\mu\text{g/g}$ )	Significación
1	0	6 447.393	A
2	50	5 269.400	A
3	30	4 359.523	A

Fuente: elaboración propia.

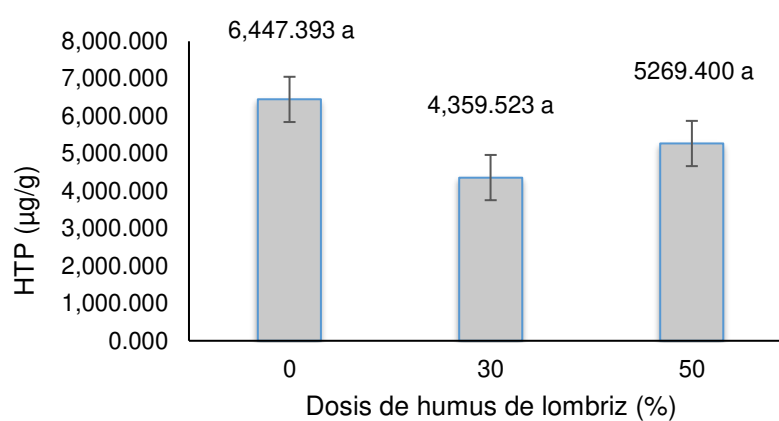


Figura 06. Contenido de HTP en el suelo, según la dosis de humus de lombriz\*.

\*Nota: Las barras al extremo superior de los rectángulos, representan el error típico.

Fuente: elaboración propia.

La figura muestra el efecto que presentó el humus de lombriz juntamente con las practicas sostenibles (laboreo, humectación, aireación) sobre el suelo contaminado con Hidrocarburos Totales de Petróleo en los distintos tratamientos obteniendo una mayor efectividad en la dosis 30 % de humus de lombriz llegando a una reducción de 4 359.523  $\mu\text{g/g}$ .

- Contenido de materia orgánica en el suelo:

Tabla 10. *Resultado del contenido de materia orgánica del suelo.*

Tratamiento	Repetición	MO (%)
T1: (suelo + 0 % humus de lombriz).	Muestra 1	19.76
	Muestra 2	6.72
	Muestra 3	6.56
T2: (suelo + 30 % humus de lombriz).	Muestra 1	19.04
	Muestra 2	19.28
	Muestra 3	21.20
T3: (suelo + 50 % humus de lombriz).	Muestra 1	7.12
	Muestra 2	19.04
	Muestra 3	19.02

Fuente: elaboración propia.

- Prueba de normalidad de los datos: Shapiro-Wilk:

Se planteó la siguiente hipótesis:

$H_0$ : La distribución de los datos es normal.

$H_a$ : La distribución de los datos no es normal.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 11. *Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para el contenido de materia orgánica del suelo.*

Variable	n	Media	D.E.	W	p
Materia orgánica	9	15.304	6.416	0.678	0.001

Fuente: elaboración propia.

Decisión:

Según la tabla 11, se rechaza el  $H_0$  porque el valor de p es menor que el nivel de significancia: 0.05, por tanto, demuestra que los datos analizados no son normales, por esta razón, para la presente variable se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis

Tabla 12. Prueba de rangos de Kruskal-Wallis para el contenido de materia orgánica del suelo.

Tratamiento (% de humus de lombriz)	Medias	DE	H	P	Significación
0	11.103	7.575	2.867	0.2821	A
30	19.840	19.840			a
50	15.060	15.060			A

Fuente: elaboración propia.

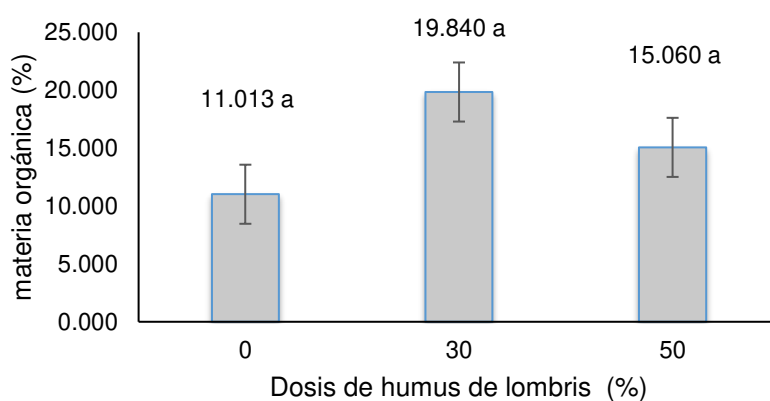


Figura 07. Contenido de materia orgánica del suelo, según la dosis de humus de lombriz\*.

\*Nota: Las barras al extremo superior de los rectángulos, representan el error típico.

Fuente: elaboración propia.

La figura muestra el efecto que tuvo el humus de lombriz juntamente con las prácticas sostenibles (aireación, humectación y laboreo) en los tratamientos es el aumento de materia orgánica y el que tuvo mayor concentración es el tratamiento 2 con la dosis de 30 % de humus de lombriz obteniendo 19.840 % de materia orgánica.

- Nitrógeno total del suelo (g/kg):

Tabla 13. *Resultados del análisis del contenido de nitrógeno total en el suelo (g/kg).*

Tratamiento	Repetición	Nitrógeno total (g/kg)
T1: (suelo + 0 % humus de lombriz).	Muestra 1	0.5074
	Muestra 2	0.3439
	Muestra 3	0.3213
T2: (suelo + 30 % humus de lombriz).	Muestra 1	0.4989
	Muestra 2	0.4961
	Muestra 3	0.5198
T3: (suelo + 50 % humus de lombriz).	Muestra 1	0.3557
	Muestra 2	0.4972
	Muestra 3	0.5006

Fuente: elaboración propia.

- Prueba de normalidad de los datos: Shapiro-Wilk:

Se planteó la siguiente hipótesis:

H<sub>0</sub>: La distribución de los datos es normal.

H<sub>a</sub>: La distribución de los datos no es normal.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 14. *Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para el contenido de nitrógeno total del suelo.*

Variable	n	Media	D.E.	W	p
Nitrógeno total (g/kg)	9	0.449	0.082	0.705	0.001

Fuente: elaboración propia.

Decisión:

Según la tabla 14, se rechaza el H<sub>0</sub> porque el valor de p es menor que el nivel de significancia: 0.05, quiere decir que los datos analizados no son normales, por esta razón, para dicha variable se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

Tabla 15. Prueba de rangos de Kruskal-Wallis para el contenido de nitrógeno total del suelo.

Tratamiento (% de humus de lombriz)	Medias	DE	H	P	Significación
0	0.391	0.102	1.422	0.5429	a
50	0.451	0.013			a
30	0.505	0.083			a

Fuente: elaboración propia.

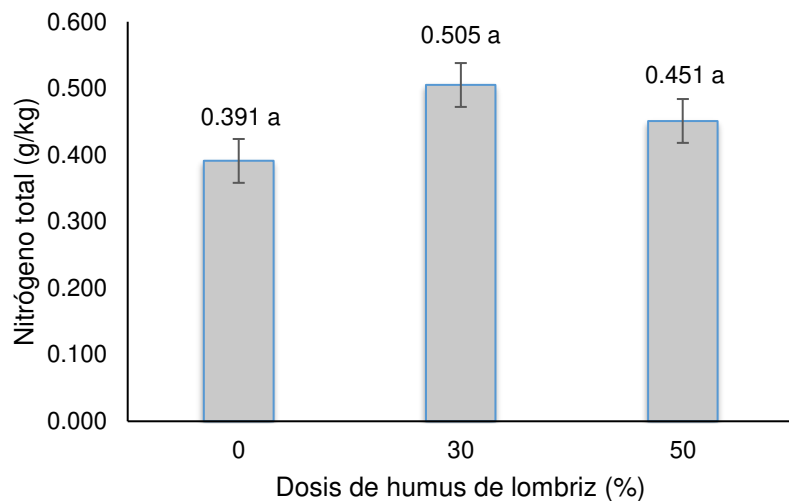


Figura 08. Nitrógeno total del suelo, según la dosis de humus de lombriz\*.

\*Nota: Las barras al extremo superior de los rectángulos, representan el error típico.

Fuente: elaboración propia.

La figura nos muestra la influencia que tuvieron las prácticas sostenibles (laboreo, aireación y humectación) con la adición del humus de lombriz sobre los suelos contaminados con Hidrocarburos Totales de Petróleo es el aumento de contenido de nitrógeno total, siendo el tratamiento 2 con la dosis de 30 % de humus de lombriz quien obtuvo mayor concentración con 0.50 g/kg.

- Contenido de fósforo disponible:

Tabla 16. *Resultado del análisis de fósforo disponible del suelo (mg/kg).*

Tratamiento	Repetición	Fósforo disponible (mg/kg)
T1: (suelo + 0 % humus de lombriz).	Muestra 1	2.52
	Muestra 2	1.08
	Muestra 3	1.18
T2: (suelo + 30 % humus de lombriz).	Muestra 1	11.75
	Muestra 2	28.66
	Muestra 3	11.66
T3: (suelo + 50 % humus de lombriz).	Muestra 1	51.91
	Muestra 2	42.68
	Muestra 3	45.86

Fuente: elaboración propia.

- Prueba de normalidad de los datos: Shapiro-Wilk:

Se planteó la siguiente hipótesis:

H<sub>0</sub>: La distribución de los datos es normal.

H<sub>a</sub>: La distribución de los datos no es normal.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 17. *Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para el contenido de fósforo disponible del suelo.*

Variable	n	Media	D.E.	W	p
Fósforo disponible (mg/kg)	9	21.922	20.611	0.819	0.0501

Fuente: elaboración propia.

Decisión:

Según la tabla 17, se acepta la H<sub>0</sub> porque el valor de p es mayor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ), es decir, los datos analizados presentan distribución normal, por esta razón, para esta variable se aplicó el análisis de varianza (ANOVA).



Análisis de varianza (ANOVA):

Prueba de hipótesis:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_a: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$  (al menos una  $\mu_i$  es diferente a los demás).

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 18. *Análisis de varianza del contenido de fósforo disponible del suelo.*

F.V.	gl	SC	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	2	3 161.524	1 580.762	40.034	0.0003
Error	6	236.914	39.486		
Total	8	3 398.439			

Fuente: elaboración propia.

Decisión:

La prueba de análisis de varianza tiene un p-valor menor que 0.05, lo cual indica que los tratamientos no son iguales estadísticamente.

Tabla 19. *Prueba de comparación múltiple de Duncan para el contenido de fósforo disponible del suelo.*

OM	Tratamiento (dosis de humus de lombriz, %)	P (mg/kg)	Significación
1	50	46.817	a
2	30	17.357	b
3	0	1.593	c

Fuente: elaboración propia.

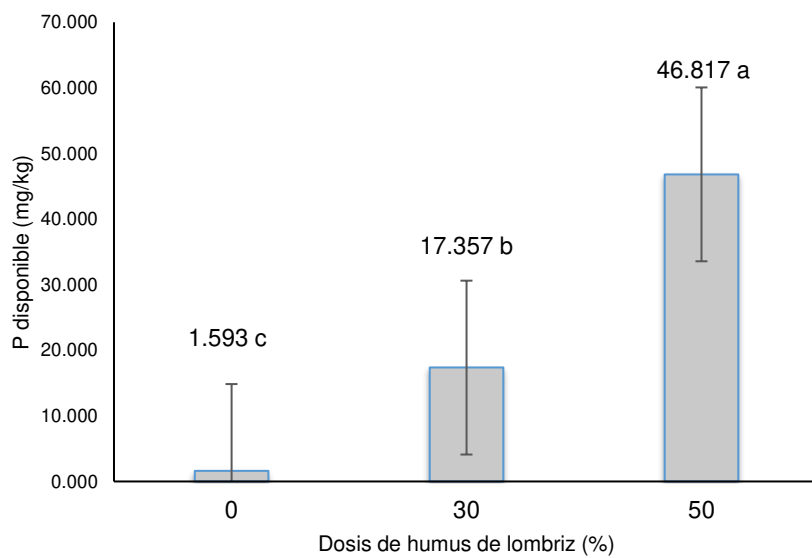


Figura 09. Contenido de fósforo disponible en el suelo, según la dosis de humus de lombriz\*.

\*Nota: Las barras al extremo superior de los rectángulos, representan el error típico.

Fuente: elaboración propia.

La figura muestra la influencia que tuvieron las prácticas sostenibles (laboreo, aireación y humectación) con el efecto del humus de lombriz sobre el suelo contaminado con Hidrocarburos Totales de Petróleo, ya que hubo un aumento en el contenido de fósforo disponible, siendo así que, el tratamiento 3 con dosis de 50 % de humus de lombriz generó mayor contenido de fósforo disponible con 46.817 mg/kg.

- Potasio disponible del suelo (mg/kg):

Tabla 20. Resultados del análisis del contenido de potasio disponible del suelo (mg/kg).

Tratamiento	Repetición	Potasio disponible (mg/kg)
T1: (suelo + 0 % humus de lombriz).	Muestra 1	10.24
	Muestra 2	14.36
	Muestra 3	10.35

	Muestra 1	60.26
T2: (suelo + 30 % humus de lombriz).	Muestra 2	86.59
	Muestra 3	41.24
	Muestra 1	14.66
T3: (suelo + 50 % humus de lombriz).	Muestra 2	95.66
	Muestra 3	83.15

Fuente: elaboración propia.

- Prueba de normalidad de los datos: Shapiro-Wilk:

Se planteó la siguiente hipótesis:

$H_0$ : La distribución de los datos es normal.

$H_a$ : La distribución de los datos no es normal.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 21. *Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para el contenido de potasio disponible del suelo.*

Variable	n	Media	D.E.	W	p
Potasio disponible (mg/kg)	9	46.279	35.798	0.802	0.0301

Fuente: elaboración propia.

Decisión:

Según la tabla 21, se rechaza la  $H_0$  puesto que el valor de p es menor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ), quiere decir que los datos analizados no presentan una distribución normal, por esta razón, para esta variable se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

Tabla 22. *Prueba de rangos de Kruskal-Wallis para el contenido de potasio disponible del suelo.*

Tratamiento (% de humus de lombriz)	Medias	DE	H	P	Significación
0	11.650	2.348	5.422	0.0679	a

30	62.697	22.773	a b
50	64.490	43.605	b

Fuente: elaboración propia.

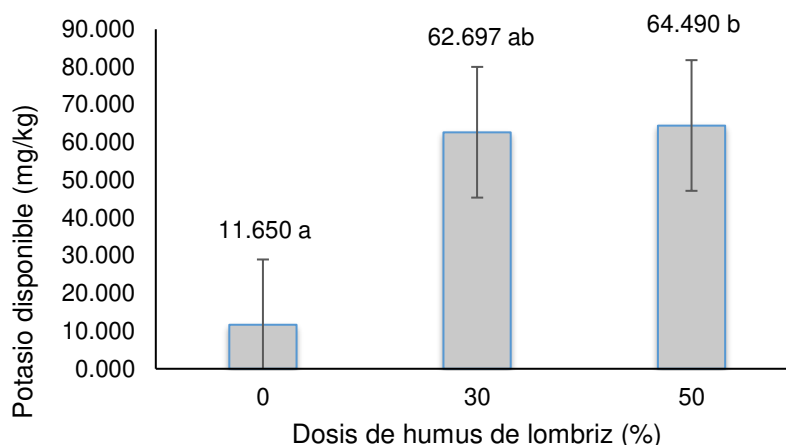


Figura 10. Potasio disponible del suelo, según la dosis de humus de lombriz\*.

\*Nota: Las barras al extremo superior de los rectángulos, representan el error típico.

Fuente: elaboración propia.

La figura muestra la influencia que tuvieron las prácticas sostenibles (laboreo, aireación y humectación) con el efecto del humus de lombriz sobre el suelo contaminado con Hidrocarburos Totales de Petróleo siendo en el tratamiento 3 con dosis de 50 % de humus de lombriz la que presentó mayor contenido de potasio disponible con 64.490 mg/kg.

- Densidad aparente del suelo ( $Mg/m^3$ ):

Tabla 23. Resultado de la densidad aparente del suelo.

Tratamiento	Repetición	Densidad aparente ( $Mg/m^3$ )
T1: (suelo + 0 % humus de lombriz).	Muestra 1	1.05
	Muestra 2	1.07
	Muestra 3	1.10

T2: (suelo + 30 % humus de lombriz).	Muestra 1	1.08
	Muestra 2	1.14
	Muestra 3	1.15
T3: (suelo + 50 % humus de lombriz).	Muestra 1	1.14
	Muestra 2	1.05
	Muestra 3	1.05

Fuente: elaboración propia.

- Prueba de normalidad de los datos: Shapiro-Wilk:

Se planteó la siguiente hipótesis:

$H_0$ : La distribución de los datos es normal.

$H_a$ : La distribución de los datos no es normal.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 24. *Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para la densidad aparente del suelo.*

Variable	n	Media	D.E.	W	p
Densidad aparente (Mg/m <sup>3</sup> )	9	1.092	0.042	0.806	0.0348

Fuente: elaboración propia.

Decisión:

Según la tabla 24, se rechaza la  $H_0$  porque el valor de p es menor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ), quiere decir que los datos analizados no presentan una distribución normal, por esta razón, para esta variable se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

Tabla 25. *Prueba de rangos de Kruskal-Wallis para la densidad aparente del suelo.*

Tratamiento (% de humus de lombriz)	Medias	DE	H	P	Significación
50	1.080	0.052	2.822	0.275	a

0	1.073	0.025	a b
30	1.123	0.038	b

Fuente: elaboración propia.

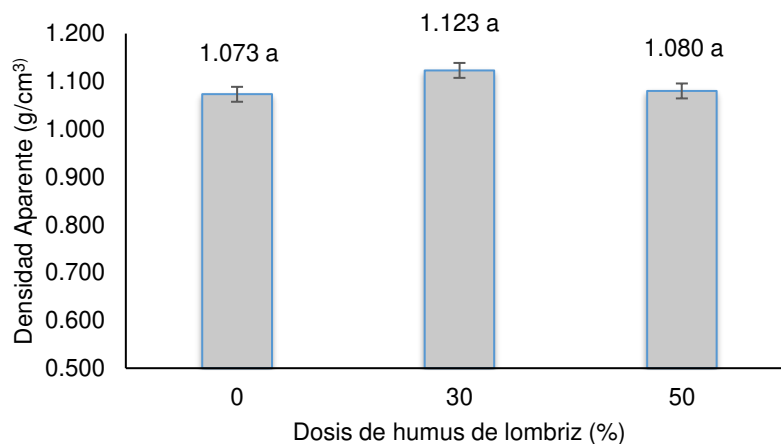


Figura 11. Densidad aparente del suelo, según la dosis de humus de lombriz\*.

\*Nota: Las barras al extremo superior de los rectángulos, representan el error típico.

Fuente: elaboración propia.

La figura muestra la influencia que tuvieron las prácticas sostenibles (laboreo, aireación y humectación) con el efecto del humus de lombriz sobre el suelo contaminado con Hidrocarburos Totales de Petróleo, evidenciando que el tratamiento 2 con dosis de 30 % de humus de lombriz tiene una mayor densidad aparente con 1.123 mg/m<sup>3</sup> siendo a la vez un indicador muy importante para el desarrollo de las raíces de las plantas.

- Contenido de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>):

Tabla 26. Resultado del análisis de carbonato de calcio del suelo (%).

Tratamiento	Repetición	CaCO <sub>3</sub> (%)
T1: (suelo + 0 % humus de lombriz).	Muestra 1	5.69
	Muestra 2	5.05
	Muestra 3	4.95

T2: (suelo + 30 % humus de lombriz).	Muestra 1	4.95
	Muestra 2	5.79
	Muestra 3	4.46
T3: (suelo + 50 % humus de lombriz).	Muestra 1	4.70
	Muestra 2	4.85
	Muestra 3	4.46

Fuente: elaboración propia.

- Prueba de normalidad de los datos: Shapiro-Wilk:

Se planteó la siguiente hipótesis:

$H_0$ : La distribución de los datos es normal.

$H_a$ : La distribución de los datos no es normal.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 27. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para el contenido de  $\text{CaCO}_3$  del suelo.

Variable	n	Media	D.E.	W	p
$\text{CaCO}_3$ (%)	9	4.989	0.475	0.861	0.154

Fuente: elaboración propia.

Decisión:

Según la tabla 27, se acepta la  $H_0$  puesto que el valor de p es mayor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ), es decir, los datos analizados tienen una distribución normal, por esta razón, para esta variable se realizó el análisis de varianza (ANOVA).

Análisis de varianza (ANOVA):

Prueba de hipótesis:

$H_0$ :  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_a$ :  $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$  (al menos una  $\mu_i$  es diferente a los demás).

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 28. *Análisis de varianza del contenido de carbonato de calcio del suelo.*

F.V.	gl	SC	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	2	0.498	0.249	1.144	0.379
Error	6	1.305	0.217		
Total	8	1.802			

Fuente: elaboración propia.

Decisión:

La prueba de análisis de varianza tiene un p-valor mayor que 0.05, lo cual indica que entre los tratamientos no existen diferencias significativas.

Tabla 29. *Prueba de comparación múltiple de Duncan para el contenido de carbonato de calcio del suelo.*

OM	Tratamiento (dosis de humus de lombriz, %)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Significación
1	0	5.230	a
2	30	5.067	a
3	50	4.670	a

Fuente: elaboración propia.

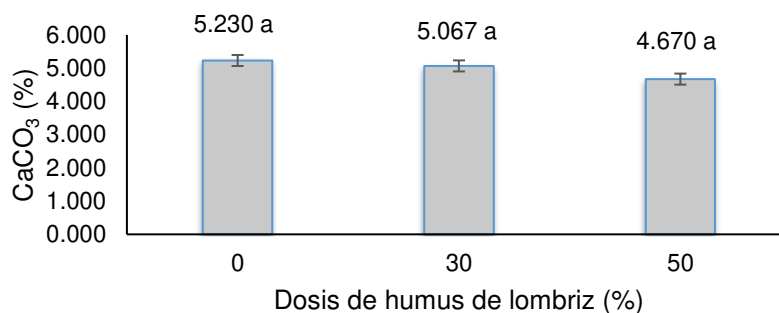


Figura 12. Contenido de carbonato de calcio en el suelo, según la dosis de humus de lombriz\*.

\*Nota: Las barras al extremo superior de los rectángulos, representan el error típico.

Fuente: elaboración propia.



La influencia que tuvieron las prácticas sostenibles (laboreo, aireación y humectación) juntamente con el efecto del humus de lombriz sobre el suelo contaminado con Hidrocarburos Totales de Petróleo se evidencian en los 3 tratamientos, los cuales tienen un porcentaje adecuado de carbonato de calcio para un suelo ya mejora las condiciones físicas del suelo y la acidez.

- pH del suelo:

Tabla 30. *Resultado del análisis de pH del suelo.*

Tratamiento	Repetición	pH
T1: (suelo + 0 % humus de lombriz).	Muestra 1	7.50
	Muestra 2	7.51
	Muestra 3	7.46
T2: (suelo + 30 % humus de lombriz).	Muestra 1	7.36
	Muestra 2	7.42
	Muestra 3	7.39
T3: (suelo + 50 % humus de lombriz).	Muestra 1	7.52
	Muestra 2	7.40
	Muestra 3	7.37

Fuente: elaboración propia.

- Prueba de normalidad de los datos: Shapiro-Wilk:

Se planteó la siguiente hipótesis:

H<sub>0</sub>: La distribución de los datos es normal.

H<sub>a</sub>: La distribución de los datos no es normal.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 31. *Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para el pH del suelo.*

Variable	n	Media	D.E.	W	p
pH	9	7.437	0.062	0.863	0.162

Fuente: elaboración propia.

Decisión:

Según la tabla 31, se acepta la  $H_0$  puesto que el valor de  $p$  es mayor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ), es decir, los datos analizados tienen una distribución normal, por esta razón, para esta variable se realizó el análisis de varianza (ANOVA).

Análisis de varianza (ANOVA):

Prueba de hipótesis:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_a: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$  (al menos una  $\mu_i$  es diferente a los demás).

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 32. *Análisis de varianza del pH del suelo.*

F.V.	gl	SC	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	2	0.015	0.008	2.886	0.132
Error	6	0.016	0.003		
Total	8	0.031			

Fuente: elaboración propia.

Decisión:

La prueba de análisis de varianza tiene un  $p$ -valor mayor que 0.05, lo cual indica que entre los tratamientos no existen diferencias significativas.

Tabla 33. *Prueba de comparación múltiple de Duncan para el pH del suelo.*

OM	Tratamiento (dosis de humus de lombriz, %)	pH	Significación
1	0	7.490	A
2	50	7.430	A
3	30	7.390	A

Fuente: elaboración propia.

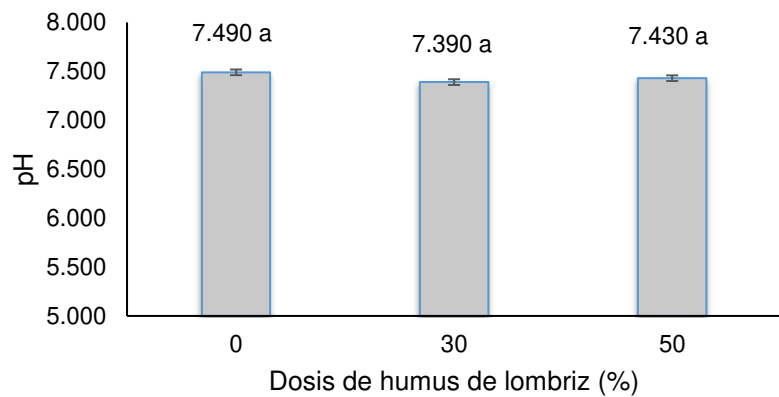


Figura 13. pH del suelo, según la dosis de humus de lombriz\*.

\*Nota: Las barras al extremo superior de los rectángulos, representan el error típico.

Fuente: elaboración propia.

La figura muestra que el pH del suelo contaminado con Hidrocarburos Totales de Petróleo se ha reducido en los tres tratamientos en un promedio total de 7.43 siendo así un pH adecuado para el suelo para así poder obtener mejores rendimientos y mayor productividad.

- Porosidad total del suelo:

Tabla 34. Resultado del análisis de porosidad total del suelo (%).

Tratamiento	Repetición	Porosidad total (%)
T1: (suelo + 0 % humus de lombriz).	Muestra 1	39.32
	Muestra 2	36.72
	Muestra 3	40.55
T2: (suelo + 30 % humus de lombriz).	Muestra 1	37.28
	Muestra 2	35.04
	Muestra 3	37.66
T3: (suelo + 50 % humus de lombriz).	Muestra 1	35.69
	Muestra 2	34.74
	Muestra 3	41.76

Fuente: elaboración propia.

- Prueba de normalidad de los datos: Shapiro-Wilk:

Se planteó la siguiente hipótesis:

$H_0$ : La distribución de los datos es normal.

$H_a$ : La distribución de los datos no es normal.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 35. *Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para la porosidad total del suelo.*

Variable	n	Media	D.E.	W	p
Porosidad total (%)	9	37.640	2.455	0.914	0.4669

Fuente: elaboración propia.

Decisión:

Según la tabla 35, se acepta la  $H_0$  puesto que el valor de p es mayor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ), es decir, los datos analizados tienen una distribución normal, por esta razón, para esta variable se realizó el análisis de varianza (ANOVA).

Análisis de varianza (ANOVA):

Prueba de hipótesis:

$H_0$ :  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_a$ :  $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$  (al menos una  $\mu_i$  es diferente a los demás).

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 36. *Análisis de varianza de la porosidad total del suelo.*

F.V.	gl	SC	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	2	7.548	3.774	0.557	0.600
Error	6	40.665	6.778		
Total	8	48.214			

Fuente: elaboración propia.

Decisión:

La prueba de análisis de varianza tiene un p-valor mayor que 0.05, lo cual indica que entre los tratamientos no existen diferencias significativas.

Tabla 37. Prueba de comparación múltiple de Duncan para la porosidad total del suelo.

OM	Tratamiento (dosis de humus de lombriz, %)	Porosidad total (%)	Significación
1	0	38.863	A
2	50	37.397	A
3	30	36.660	A

Fuente: elaboración propia.

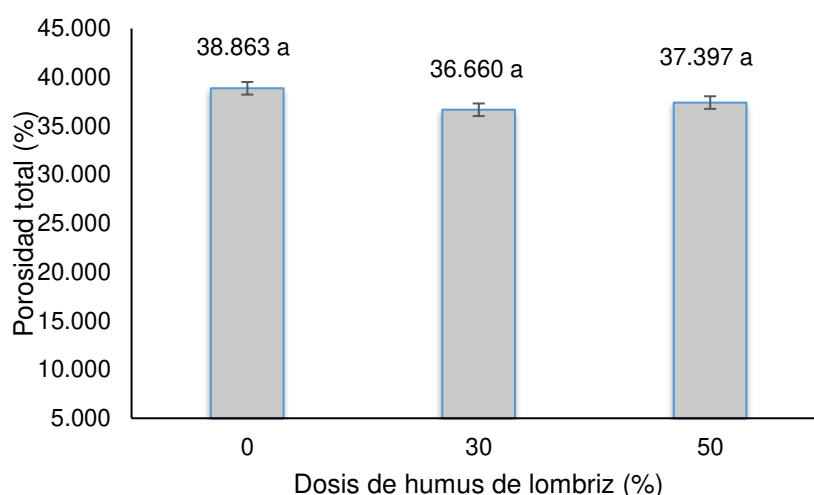


Figura 14. Porosidad total del suelo, según la dosis de humus de lombriz\*.

\*Nota: Las barras al extremo superior de los rectángulos, representan el error típico.

Fuente: elaboración propia.

La figura muestra la influencia que tuvieron las prácticas sostenibles (laboreo, aireación y humectación) con el efecto del humus de lombriz sobre los suelos contaminados con Hidrocarburos Totales de Petróleo, evidenciando que se ha generado en un mayor porcentaje de porosidad en el tratamiento 1 siendo este 38.863 %.

- Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE):

Tabla 38. *Resultado del análisis de CICE del suelo (cmol/kg).*

Tratamiento	Repetición	CICE (cmol/kg)
T1: (suelo + 0 % humus de lombriz).	Muestra 1	28.32
	Muestra 2	31.94
	Muestra 3	29.86
T2: (suelo + 30 % humus de lombriz).	Muestra 1	37.90
	Muestra 2	48.37
	Muestra 3	36.94
T3: (suelo + 50 % humus de lombriz).	Muestra 1	30.24
	Muestra 2	57.61
	Muestra 3	61.16

Fuente: elaboración propia.

- Prueba de normalidad de los datos: Shapiro-Wilk:

Se planteó la siguiente hipótesis:

$H_0$ : La distribución de los datos es normal.

$H_a$ : La distribución de los datos no es normal.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 39. *Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para la CICE del suelo.*

Variable	n	Media	D.E.	W	p
CICE (cmol/kg)	9	40.271	12.443	0.824	0.056

Fuente: elaboración propia.

Decisión:

Según la tabla 39, se acepta la  $H_0$  puesto que el valor de p es mayor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ), es decir, los datos analizados tienen una distribución normal, por esta razón, para esta variable se realizó el análisis de varianza (ANOVA).

Análisis de varianza (ANOVA):

Prueba de hipótesis:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_a: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$  (al menos una  $\mu_i$  es diferente a los demás).

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 40. *Análisis de varianza de la CICE del suelo.*

F.V.	gl	SC	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	2	582.842	291.421	2.667	0.1484
Error	6	655.706	109.284		
Total	8	1 238.548			

Fuente: elaboración propia.

Decisión:

La prueba de análisis de varianza tiene un p-valor mayor que 0.05, lo cual indica que entre los tratamientos no existen diferencias significativas.

Tabla 41. *Prueba de comparación múltiple de Duncan para la CICE del suelo.*

OM	Tratamiento (dosis de humus de lombriz, %)	CICE (cmol/kg)	Significación
1	50	49.703	a
2	30	41.070	a
3	0	30.040	a

Fuente: elaboración propia.

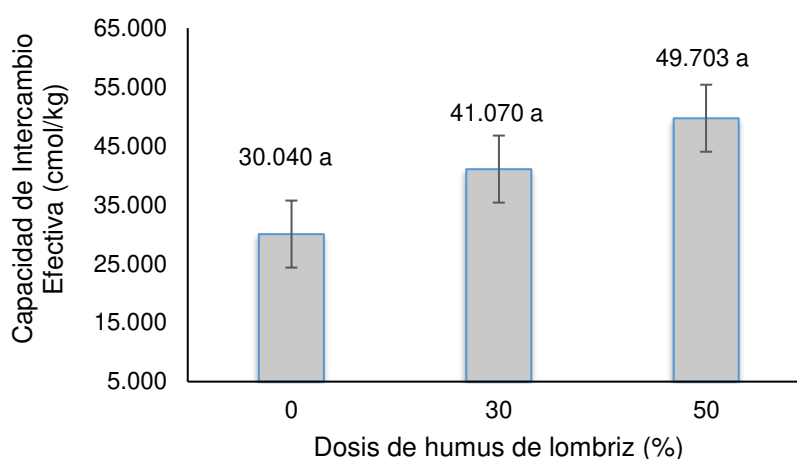


Figura 15. Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva del suelo, según la dosis de humus de lombriz\*.

\*Nota: Las barras al extremo superior de los rectángulos, representan el error típico.

Fuente: elaboración propia.

La figura muestra la influencia que tuvieron las prácticas sostenibles (laboreo, aireación y humectación) con el efecto del humus de lombriz sobre los suelos contaminados con Hidrocarburos Totales de Petróleo en el tratamiento 3, donde generó mayor contenido de Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva con 49.703 cmol/kg debido al alto contenido de enmienda orgánica.

- Temperatura:

Tabla 42. Temperatura de suelo.

n° Muest.	11/09/2019 T° = 27.7°	18/09/2019 T° = 25°	25/09/2019 T° = 29°	2/10/2019 T° = 23°	9/10/2019 T° = 25.5°	16/10/2019 T° = 21°	23/10/2019 T° = 22°	30/10/2019 T° = 26.4	6/11/2019 T° = 22.5	13/11/2019 T° = 19.5	20/11/2019 T° = 20°	27/11/2019 T° = 19	
1	30	29	33.5	27.9	29.5	28	29	29.5	25	22	23	21.7	
2	29	29	33.5	27.9	25.5	27.5	28	28.9	24.9	22	23	21.6	
3	30	30	33.5	27.7	25	26	29	29	24.9	22	22.5	21	
4	27	26	32.5	26	24	25	29	28	24.7	21	22	21	
5	26	25	32	26	24	24.5	29	27.6	23	21	21	20.6	
6	26.5	25	33	25	23.5	24	29	27.6	23	21	21	20.6	
7	25.5	24.5	31.5	24.5	22	23	28.5	26	23	21	20.5	20	
8	25	23	31	24	21.7	23	28	26	22	20	20	20	PROMEDIO
9	24.5	23	29.5	24	21	22	28	26	22	20	20	20	FINAL
PROM.	27.06	26.06	32.22	25.89	24.02	24.78	28.61	27.62	23.61	21.11	21.44	20.72	25.26

Fuente: elaboración propia.



## TEMPERATURAS DEL SUELO

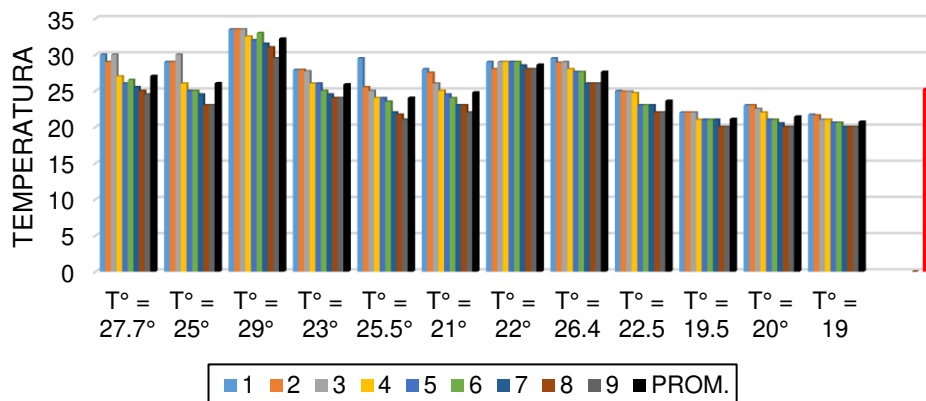


Figura 16. Temperaturas tomadas por fechas a cada muestra de suelo.

Fuente: elaboración propia.

La temperatura es un factor muy importante en el proceso de degradación de los Hidrocarburos Totales de Petróleo y en la humedad presente en el suelo. A mayor calor, menor porcentaje de agua, a menor calor, mayor porcentaje de agua.

### 4.2. Discusión de resultados

#### - Resultados finales:

- Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP):

El análisis del contenido de Hidrocarburos Totales de Petróleo, después del experimento, comparado al suelo inicial, se redujo, alcanzando un valor promedio de 5 358.772  $\mu\text{g/g}$ , lo que significa una reducción del 87.65 % respecto al valor inicial del suelo (HTP = 43 386,7  $\mu\text{g/g}$ ) y dejando al suelo con tenores debajo del Límite Máximo Permissible, que está establecido en 10 000  $\mu\text{g/g}$  (58). Según el Decreto Supremo N°011-2017-MINAM, que presenta los Estándares de Calidad Ambiental para suelo, en el parámetro de hidrocarburos de petróleo indica las fracciones para un suelo de uso comercial (ligera, mediana y pesada) siendo un total de 11 500 mg/kg lo cual indica que el suelo está por debajo del valor del Estándar de Calidad

Ambiental (59); según la norma oficial mexicana se presenta el Límite Máximo Permisible de hidrocarburos en el suelo por fracciones de uso comercial: ligera (500 mg/kg), mediana (5 000 mg/kg), pesada (6 000 mg/kg) siendo un total de 11 500.00, evidenciando que el resultado mencionado también se encuentra dentro del parámetro (60).

El análisis de varianza no presenta una significación estadística, indicando que los tratamientos no presentan diferencias significativas. La prueba de comparación múltiple de Duncan, muestra al tratamiento sin enmienda orgánica en primer lugar, con un promedio de 6 447.39 µg/g, seguido del tratamiento con 50 % de humus de lombriz, con un promedio de 5 269.40 µg/g y en tercer lugar el tratamiento con 30 % de humus de lombriz, con un promedio de 4 359.52 µg/g, sin diferencias significativas entre los tres tratamientos; aparentemente se encontraron resultados favorables en el T2 con la aplicación de 30 % de humus de lombriz, reduciendo la concentración de 43 386.7 µg/g a 4 359.52 µg/g.

Buendía realizó un trabajo de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante el compost de aserrín y estiércol teniendo como resultados en primer lugar en la mezcla del aserrín con estiércol se obtuvo una reducción promedio de 22.5 %, mientras que empleando solo estiércol disminuyó 16.5 % y usando solo aserrín disminuyó en 9.6 %, lo cual indica que el estiércol es más eficaz (61).

Estos resultados muestran la influencia de las prácticas sostenibles con el efecto del humus de lombriz en el suelo contaminado por HTP, como son el laboreo, aireación y humectación; técnica denominada Landfarming, que favoreció en la degradación de estos compuestos orgánicos, debido a la estimulación de la actividad microbial del suelo, además siendo similares al trabajo de tesis titulado: "Efecto del humus de lombriz en la remediación de suelos contaminado con crudo de petróleo", enfatizando el autor, que la técnica consigue resultados satisfactorios dependiendo del tipo de suelo, contaminante y características climáticas del lugar (19).

Asimismo, comparando los resultados de la disminución de HTP, que alcanzaron una recuperación del 87.65 % en promedio, éstos son similares al trabajo de tesis titulado: “Aplicación de la técnica de Landfarming para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos”, donde se logró niveles de recuperación del suelo hasta porcentajes por debajo del 2 % de HTP; todo como resultado de la combinación de Landfarming y biodegradación, es decir la activación de la flora y fauna nativa del suelo para reducir la concentración de hidrocarburos, siendo considerada esta técnica como una alternativa ambiental y económicamente viable para recuperar suelos contaminados (20).

- Contenido de materia orgánica del suelo:

El contenido de materia orgánica del suelo, después del experimento, presenta un promedio de 15.304 %, superior al contenido inicial del suelo contaminado por hidrocarburos, que fue de 12.48 %, esto se atribuye a la aplicación de la enmienda orgánica.

La prueba de Kruskal-Wallis, presenta con mayor contenido de materia orgánica al tratamiento con 30 % de humus de lombriz, con un valor promedio de 19.840 % de materia orgánica, seguido del tratamiento con 50 % de humus de lombriz, con un valor promedio de 15.060 % de materia orgánica y, en tercer lugar, el tratamiento sin enmienda orgánica, con un promedio de 11.013 % de materia orgánica; todos los tratamientos no presentan diferencias estadísticas significativas entre sí.

Se observa que el Landfarming en el tratamiento sin enmienda orgánica, hace disminuir la materia orgánica del suelo después del experimento, respecto al contenido de materia orgánica antes del experimento, lo cual se explica por la acción de la biorremediación intrínseca del suelo en oxidar el carbono orgánico del suelo, principal componente de la materia orgánica del suelo (31).

En los tratamientos con 30 % y 50 % de enmienda orgánica (humus de lombriz), se incrementó el contenido de materia orgánica al final del

experimento, lo cual tiene correspondencia con el trabajo de investigación titulado: "Utilization of biosolids during the phytoremediation of hydrocarbon-contaminated soil", donde la adición de biosólidos incrementó el contenido de carbono total del suelo con dosis bajas de enmienda antes que con una dosis alta, además de favorecer la degradación de hidrocarburos (62).

- Nitrógeno total del suelo (g/kg):

El contenido de nitrógeno total en el suelo, después del experimento y aplicación de prácticas sostenibles, presentó un promedio mayor (Nt = 0.449 g/kg) respecto al suelo antes del experimento (Nt = 0.2424 g/kg).

La prueba de Kruskal-Wallis presenta el tratamiento con 30 % de estiércol de lombriz en primer lugar con un contenido promedio de 0.505 g Nt/kg de suelo, seguido del tratamiento con 50 % de humus de lombriz, con un promedio de 0.451 g Nt/kg de suelo y en último lugar el tratamiento sin enmienda, con un promedio de 0.391 g Nt/kg de suelo; todos los tratamientos no presentan diferencias estadísticas significativas entre sí.

Estos resultados están relacionados a lo obtenido en el trabajo de investigación titulado: "Utilization of biosolid during the phytoremediation of hydrocarbons - contaminated soil", donde la adición de biosólidos incrementó el contenido de nitrógeno total, con una dosis de enmienda más baja comparada a la dosis más alta, debido a que tuvo mayor tasa de descomposición (62).

- Contenido de fósforo disponible (mg/kg):

El contenido promedio de fósforo disponible al final del tratamiento del suelo del experimento, tuvo un valor superior al contenido inicial de fósforo disponible del suelo, alcanzando valores de 21.922 mg/kg y 21.74 mg/kg respectivamente.

El análisis de varianza del contenido de fósforo disponible presenta significación estadística, indicando que los tratamientos son diferentes estadísticamente, debido a los tratamientos aplicados.

La prueba de comparación múltiple de Duncan presenta en primer lugar en orden de mérito al tratamiento con 50 % de humus de lombriz, con un promedio de 46.817 mg/kg, superior estadísticamente al tratamiento con 30 % de humus de lombriz, con un promedio de 17.357 mg/kg; ambos tratamientos superiores estadísticamente al tratamiento sin enmienda orgánica que obtuvo un promedio de 1.593 mg/kg.

Estos resultados se relacionan con lo encontrado en el trabajo de investigación titulado: "Assessing changes in physical and biological properties in a soil contaminated by oil sludges under semiarid Mediterranean conditions", donde se observó el incremento de P y N, atribuible a la actividad de las enzimas deshidrogenasa e hidrolasas involucradas en los ciclos de N y P, que fueron estimuladas por la contaminación con hidrocarburos (31).

- Potasio disponible del suelo (mg/kg):

El contenido promedio de potasio disponible del suelo después del tratamiento del suelo experimental, con enmienda y prácticas sostenibles de aireación, humectación y laboreo, disminuyó con respecto al contenido del potasio disponible en el suelo antes del experimento; habiendo obtenido valores de 46.279 mg/kg y 75.21 mg/kg respectivamente.

La prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis presenta al tratamiento con 50 % de humus de lombriz en primer lugar con un promedio de 64.490 mg/kg, seguido del tratamiento con 30 % de humus de lombriz con un promedio de 62.697 mg/kg sin diferencias estadísticas entre sí, pero diferentes estadísticamente del tratamiento sin enmienda que tuvo un promedio de 11.650 mg/kg.

- Densidad aparente del suelo:

La densidad aparente promedio del suelo, después del experimento, disminuyó respecto al valor inicial del suelo antes del experimento, habiéndose alcanzado valores de 1.092 Mg/m<sup>3</sup> y 1.20 Mg/m<sup>3</sup>, respectivamente.

La prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis presenta al tratamiento con 30 % de humus de lombriz con un promedio de 1.123 Mg/m<sup>3</sup>, seguido del tratamiento con 50 % de humus de lombriz con un promedio de 1.080 Mg/m<sup>3</sup> y en último lugar al tratamiento sin enmienda orgánica, con un promedio de 1.073 Mg/m<sup>3</sup>. Todos los tres tratamientos no presentan diferencias estadísticas significativas entre sí.

- Contenido de carbonato de calcio (%):

El contenido promedio de carbonato de calcio en el suelo después del experimento, aumentó significativamente respecto al contenido inicial del suelo, alcanzando valores de 4.989 % y < 0.10 % respectivamente.

La prueba de Kruskal-Wallis presenta al tratamiento sin enmienda orgánica en primer lugar con un promedio de 5.230 %, seguido del tratamiento con 50 % de estiércol de lombriz con un promedio de 5.067 % y en último lugar el tratamiento con 50 % de estiércol de lombriz con un promedio de 4.670 %. Los tres tratamientos no presentan diferencias significativas entre sí.

- pH del suelo:

El pH promedio del suelo después del experimento, disminuyó respecto al pH del suelo inicial, habiéndose tenido valores de 7.437 y 7.67 respectivamente.

La prueba de comparación múltiple de Duncan, no muestra diferencias estadísticas significativas entre los tres tratamientos en estudio, mostrando que no hubo efecto del humus de lombriz en el pH del suelo contaminado con hidrocarburos.

Estos datos son diferentes a los obtenidos en el trabajo de investigación titulado: "Utilization of biosolids during the phytoremediation of hydrocarbon-contaminated soil", donde se observó que la adición de biosólidos incrementó el pH del suelo, entre otras propiedades (33).

- Porosidad total del suelo (%):

La porosidad total promedio del suelo se incrementó significativamente después del experimento del suelo contaminado con hidrocarburos, respecto al suelo inicial, obteniéndose un promedio de 37.640 % y 1 % respectivamente.

La prueba de comparación múltiple de Duncan presentó al tratamiento sin enmienda orgánica en primer lugar en orden de mérito con un promedio de 38.863 %, seguido del tratamiento con 50 % de humus de lombriz con un promedio de 37.397% y en tercer lugar en orden de mérito al tratamiento con 30 % de humus de lombriz con un promedio de 36.660 %. Todos los tratamientos no presentaron diferencias significativas entre sí.

- Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE) del suelo (cmol/kg):

La capacidad de intercambio catiónica efectiva del suelo después de la aplicación de Landfarming y enmiendas orgánicas, fue superior al suelo inicial, demostrando el efecto favorable de los tratamientos aplicados.

Este dato fue considerado como la suma de cationes cambiables, debido a que el resultado de la Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE) del suelo, por parte del laboratorio, es contradictorio (la suma de cationes cambiables es mucho mayor que la CIC). La prueba de comparación múltiple de Duncan presentó el primer lugar en orden de mérito al tratamiento con 50 % de humus de lombriz con un promedio de 49.703 cmol/kg, seguido del tratamiento con 30 % de humus de lombriz con un promedio de 41.070 cmol/kg y en tercer lugar el tratamiento sin enmienda orgánica con un promedio de 30.040 cmol/kg.

Los datos se relacionan con los resultados del trabajo de investigación titulado: "Utilization of biosolids during the phytoremediation of hydrocarbon - contaminated soil", donde la adición de biosólidos, incrementó la capacidad de intercambio catiónico, entre otras propiedades (33).

La temperatura promedio que presentan los tratamientos es de 25.26°C, considerándose una temperatura adecuada para la degradación de los HTP ya que se encuentra dentro del rango de entre (10°C y 45°C) (61) que son temperaturas adecuadas para una mayor velocidad en la degradación de los microorganismos.



## CONCLUSIONES

1. El suelo contaminado con Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP), después de la aplicación del laboreo, aireación y humectación, con adición de enmienda orgánica, disminuyó su concentración, alcanzando un valor promedio de 5 358.772  $\mu\text{g/g}$ , inferior al valor inicial de 43 386.7  $\mu\text{g/g}$ , significando una reducción del 87.65 %.
2. La influencia que tuvo la adición de enmienda orgánica sobre el suelo contaminado es que, el contenido promedio de materia orgánica después del experimento, fue de 15.304 %, superior al valor inicial de 12.48 %, no presentando diferencias significativas entre los tres tratamientos.
3. La influencia de las prácticas sostenibles sobre el suelo contaminado se asocia respecto del nitrógeno total con su incrementado en comparación con el suelo inicial, con promedios de 0.449 g/kg y 0.2424 g/kg respectivamente, sin diferencias significativas entre los tratamientos en estudio.
4. La aplicación de las prácticas sostenibles y la adición de enmienda orgánica incrementaron el contenido de fósforo disponible en el suelo contaminado con HTP, siendo superior estadísticamente el tratamiento con 50 % de humus de lombriz con un promedio de 46.817 mg/kg, respecto a los demás tratamientos.
5. El potasio disponible del suelo contaminado, después de haber aplicado la técnica de Landfarming, disminuyó respecto al suelo inicial, siendo los valores promedio de 46.279 mg/kg y 75.21 mg/kg respectivamente. No se observaron diferencias significativas entre los tres tratamientos.
6. La densidad aparente del suelo contaminado, disminuyó con la aplicación de la técnica de Landfarming y enmienda orgánica, alcanzando un valor promedio de 1.092  $\text{Mg/m}^3$ , inferior al valor inicial que fue de 1.20  $\text{Mg/m}^3$ .
7. El contenido de carbonato de calcio del suelo, aumentó significativamente después del tratamiento de Landfarming y enmienda orgánica, alcanzando un promedio de 4.989 %. No se observaron diferencias significativas entre tratamientos.
8. El pH promedio del suelo contaminado, después de la aplicación de Landfarming, disminuyó respecto al suelo inicial, teniendo un valor promedio de 7.437. No se observaron diferencias significativas entre tratamientos.
9. La porosidad total del suelo contaminado por HTP, aumentó significativamente debido a los tratamientos aplicados, sin presentar diferencias significativas entre tratamientos.

10. La Capacidad de Intercambio Catiónica Efectiva (CICE) del suelo contaminado, después del experimento, se incrementó, respecto al suelo inicial, demostrando el efecto favorable del Landfarming y enmienda orgánica, sin diferencias significativas entre tratamientos.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar otras investigaciones con diferentes tipos de suelos afectados por exceso de Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP) para cuantificar la efectividad de la remediación y prácticas sostenibles.
2. Analizar las fracciones de hidrocarburos presentes en suelos contaminados, para diferenciar los tipos de compuestos degradados.
3. Utilizar diferentes enmiendas orgánicas para remediar suelos contaminados con hidrocarburos y validar su efecto en la mejora de propiedades del suelo, por períodos relativamente largos.
4. Ensayar tratamientos de remediación de suelos contaminados con hidrocarburos, agregando dosis de nutrientes para favorecer la actividad microbial y el crecimiento de plantas indicadoras.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PINCHAS, E. y GRABER, B. Soil interactions with petroleum hydrocarbons: Abiotic processes. 1997, **10**, 2.
2. PHILIP, R. Hydrocarbon degradation in soil and methods for soil biotreatment. 1989, **8**, 4
3. KIRK, T. y otros. Impact of composting strategies on the treatment of soils contaminated with organic pollutants. 2001, **112**, 2.
4. PASCUCCI, S. Soil contamination. 2011.
5. ARIAS, J. Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. 2017, **8**, 151-167.
6. FLORES, C. y MENDOZA, J. *Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos por derrames de la estación de servicio en el Campamento de Guarumales - CELEC*. Ecuador: s.n., 2017.
7. OLGUÍN, E., HERNÁNDEZ, M. y SÁNCHEZ, G. Contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de biorremediación, fitorremediación y restauración. 2007, **23**, 3.
8. BERMÚDEZ, J. y otros. Estudio de la contaminación con hidrocarburos de un ecosistema de manglar en Cayo Santa María, Jardines del Rey, Cuba. 2014, **34**, 1.
9. VILLARREAL, P. "Un constante derrame de crudo": Así luce el lago Maracaibo en Venezuela. *Rpp Noticias*. Maracaibo - Venezuela, 03 de octubre de 2019.
10. GARCÍA, C. *"Recuperación del suelo contaminado con petróleo utilizando micronanoburbujas de aire - ozono a nivel de laboratorio"*. Lima: s.n., 2017.
11. CURRARINO, A. teleSUR. *teleSUR*. [En línea] 12 de julio de 2019. <https://www.telesurtv.net/news/peru-derrame-petrolero-amazonia-comunidades-indigenas-afectadas-20190712-0011.html>.
12. RIESCO, R. *Proyecto de recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos*. Gerdanyola del Vallès: s.n., 2012.
13. SACHÚN, R. *Tratamiento ex situ de suelo contaminado por hidrocarburo a través del método volatilización natural*. Trujillo: s.n., 2015.

14. GUERRERO, R. SlideShare. *SlideShare*. [En línea] 4 de marzo de 2014. <https://es.slideshare.net/Raul4239690/contaminacion-por-hidrocarburos&ved>.
15. VÁSQUEZ, E. *Producción de inóculo de Pleurotus ostreatus para uso en biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo*. Lima: s.n., 2014.
16. ÑUSTEZ, D. y otros. Biorremediación para la degradación de hidrocarburos totales presentes en los sedimentos de una estación de servicio de combustible. 2014, **37**, 1.
17. SERRANO, M. y otros. Impacto de los derrames de crudo en las propiedades mecánicas de suelos arenosos. 2013, **11**, 12.
18. PEÑA, M. *Comparativa de métodos de descontaminación de suelos afectados por hidrocarburos. Aplicación a la obra del ave de Málaga*. Madrid - España: s.n., 2016.
19. ARBOLEDA, V. y BRAVO, V. *Biorremediación del suelo contaminado con hidrocarburos de la central hidroeléctrica del campamento secoya mediante Landfarming*. Ecuador: s.n., 2008.
20. ROJAS, P. *Aplicación de la técnica de Landfarming para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos*. Piura: s.n., 2009. s.n..
21. BERNA, P. *Efecto del humus de lombriz en la remediación de suelos contaminado con crudo de petróleo Ucayali, Perú*. Pucallpa: s.n., 2018.
22. DUEÑAS, A. *Biorremediación de suelos y sedimentos contaminados por el derrame de la línea de flujo del pozo Shushuqui 13 mediante la técnica de Landfarming, Campo Libertador, Sucumbios - Ecuador*. Ecuador: s.n., 2010.
23. UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS. *Biodegradación de crudo de petróleo en terrarios*. Lima - Perú: s.n., 2002.
24. SILVANA, C., MARTÍNEZ, M. y AROCENA, L. Estudio comparativo del agregado de enmiendas orgánicas e inorgánicas en procesos de biorremediación de suelos norpatagónicos contaminados con petróleo. 2014, 251.
25. ACUÑA A. y otros. Optimización de un sistema de biorremediación de hidrocarburos a escala de laboratorio. Febrero, 2011, **XIII**, 106.
26. BARRAL, M. y otros. Biocorrección de suelos contaminados con isómeros de hexaclorociclohexano mediante técnicas de Landfarming y biopilas. 2008, XV.

27. CORONA, L. e ITURBE, R. Atenuación natural en suelos contaminados con hidrocarburos. 2004, 6, 2.
28. VELASCO, J. y VOLKE, T. El composteo: una alternativa tecnológica para la biorremediación de suelos en México. 2003, 66.
29. ARRIETA, O. y otros. Biorremediación de un suelo con diésel. 2012, **15**, 1.
30. ZETINA, M. Tabasco hoy. *Sin freno desecho de talleres mecanicos*. [En línea] 11 de abril de 2013. <https://www.tabascohoy.com/nota/121684/sin-freno-desecho-de-talleres-mecanicos>.
31. CARVACA, F. y ROLDÁN, A. *Assessing changes in physical and biological properties in a soil contaminated by oil sludges under semiarid Mediterranean conditions*. s.l.: GEODERMA, 2003.
32. CONTRERAS-RAMOS, S., ÁLVAREZ-BERNAL, D. y DENDOOVEN, L. *Removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from soil amended with biosolid or vermicompost in the presence of earthworms (Eisenia fetida)*. México: s.n., 2008.
33. RUTHERFORD, S., DICKINSON, y P, M. *Utilization of biosolids during the phytoremediation of hydrocarbon - contaminated soil*. 2006.
34. GONZÁLES, J. *Estudio de la contaminación de suelos por residuos de hidrocarburos y propuesta de manejo ambiental de los talleres de mecánica automotriz del distrito de San Jerónimo - Cusco*. Arequipa: s.n., 2018.
35. INIA-TACUAREMBÓ. *Semana de la Ciencia y Tecnología - jornada de puertas abiertas*. s.l.: Santillana, 2015.
36. MENA, M. *Estándares de gestión medio ambiental en talleres de mecánica automotriz*. Lima: s.n., 2009.
37. PROYECTO VERDE. Blogger. *Proyecto Verde "Contaminacion del suelo por hidrocarburos en talleres de servicio automotriz"*. [En línea] 21 de noviembre de 2018. <http://proyectoverdeequipo3h.blogspot.com/>.
38. VIÑAS, M. *Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos: Caracterización microbiológica, química y ecotoxicológica*. Barcelona: s.n., 2005. 846893979X.

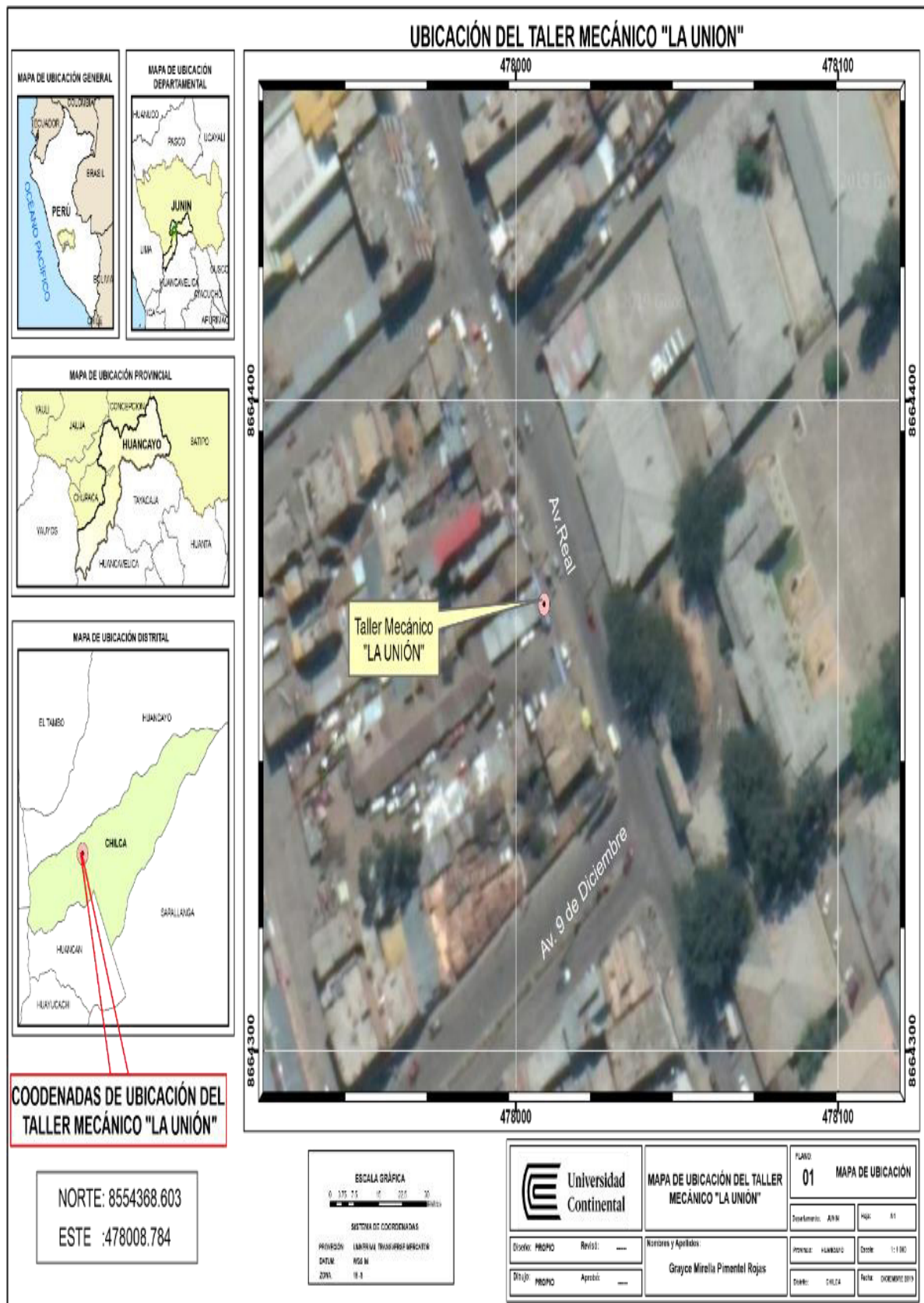
39. MÉNDEZ, Á. La guía de química. *La guía de química*. [En línea] 28 de junio de 2010. <https://quimica.laguia2000.com/conceptos-basicos/hidrocarburos-alifaticos>.
40. ABREGO, E. *Repositorio IPN*. [Documento] México: s.n., 2013.
41. MIRANDA, C. y otros. *Química orgánica*. Madrid: s.n., 2011. ISBN electrónico: 978-84-362-6305-3.
42. INTERNACIONAL, ORGANIZACIÓN MARÍTIMA. *Manual sobre la contaminación ocasionada por hidrocarburos*. Londres: s.n., 2005. ISBN 92-801-0082-3.
43. CHÁVEZ, K., YOPLAC, E. y TUESTA, O. *Prospección de especies arbóreas para la fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos en el distrito de Imaza, Bagua, Amazonas*. Chachapoyas - Perú: s.n., 2018.
44. INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO. *Fuentes de contaminación en México*. México: s.n., 2007.
45. BUENDÍA, H. *Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante compost de aserrín y estiércoles*. Lima - Perú: s.n., 2012.
46. CABRERA, M. *Contienen enlaces dobles carbono - carbono, y los alquinos son hidrocarburos que contienen un triple enlace*. Quito: s.n., 2013.
47. EXSASOLUCIONES. *Biorremediación de suelos*. 2018.
48. SÁNCHEZ, J. y FARIAS, R. *Avances en las ciencias químico biológicas*. México: FONTAMARA, 2016.
49. GONZÁLEZ, R. Google Académico. *Google Académico*. [En línea] 26 de mayo de 2011. <file:///C:/Users/Mirella/Documents/trabajo%20de%20tesis%202019/conceptos.pdf>.
50. TENECELA, X. *Producción de humus de lombriz mediante el aprovechamiento y manejo de los residuos orgánicos*. Cuenca - Ecuador : s.n., 2012.
51. HARO, J. *"Efecto del laboreo sobre la calidad del suelo y la producción de quinua (Chenopodium quinoa Wild), bajo dos sistemas de siembra en la parroquia Santiago de Quito, en la provincia de Chimborazo"*. Ecuador: s.n., 2014.

52. CUTIMBO, M. *Estudio exploratorio del proceso de cocombustión de carbón y biomasa mediante análisis termogravimétrico para su aprovechamiento en la generación de calor*. Bogotá - Colombia: s.n., 2017.
53. BUSTAMANTE, J. *Remediación de suelos y aguas subterráneas por contaminación de hidrocarburos en los terminales de Mollendo y Salaverry*. Lima - Perú: s.n., 2007.
54. GARCÍA, L. *Evaluación de la eficiencia de remediación de sitios contaminados por hidrocarburos*. México: s.n., 2013.
55. [En línea] <http://ri.ufg.edu.sv/jspui/bitstream/11592/6405/5/372.651-F578m-CAPITULO%20IV.pdf>.
56. BEHAR, D. *Metodología de la investigación*. s.l.: Shalom, 2008.
57. VILLEGAS, J. SCRIBD. *Diseño de la investigación capítulo III*. [En línea] <https://es.scribd.com/doc/211724950/Diseno-de-la-investigacion-capitulo-III>.
58. LARA, W., PUCHI, L., SAER, G., CONTRERAS, E. y VILLEGAS, V. Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos. 2001, 5554.
59. EL PERUANO. *Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM*. Perú: El Peruano, 2017.
60. DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN. *Norma oficial mexicana NOM-138-SEMARNAT/SS-2003, Límites Máximos Permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación*. Mexico: s.n., 2003.
61. BUENDÍA, R. Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante el compost de aserrín y estiércol. 2013, **15**, 123-130.
62. DICKINSON, S., y RUTHERFORD, P. Utilization of biosolid during the Phytoremediation of Hydrocarbons-Contaminated Soil. 2006, **35**, 982-91.



## **ANEXOS**

**Anexo 01.** Ubicación geográfica de la muestra de estudio: mecánica Unión.



**Anexo 02.** Distribución del taller.



**Anexo 03.** Encuesta aplicada a los talleres mecánicos en el distrito de Chilca.

Nº	Coordenadas de ubicación(N/E)		Tiempo de funcionamiento	Nº de carros al día	Insumos que utiliza
1	8663928.65	478234.78	1	3	gasolina/aceite de motor
2	8663985.85	478353.16	2	20	gasolina/ aceite de motor/líquidos refrigerantes
3	8664090.7	477738.41	10	15	gasolina/ aceite de motor/líquidos refrigerantes/productos de limpieza /líquidos hidráulicos
4	8664087.94	477721.7	2	4	gasolina/ aceite de motor
5	8664071.09	477748.73	1	4	gasolina/ aceite de motor
6	8664019.84	477745.86	1	6	gasolina/ aceite de motor/líquidos refrigerantes/productos de limpieza /líquidos hidráulicos /líquidos refrigerantes
7	8663962.34	477752.96	2	10	líquidos de frenos / productos de limpieza
8	8664022.86	477775.87	3	15	líquidos de frenos / productos de limpieza
9	8663508.52	477422.4	1	5	gasolina/ aceite de motor
10	8664581.03	477705.51	3	10	gasolina
11	8663677.6	477864.17	3	10	gasolina/ aceite de motor
12	8663607.57	477796.82	3	3	gasolina/ aceite de motor
13	8663875.17	478186.47	1 mes	2	gasolina/ aceite de motor
14	8663921.48	478241.42	3 meses	5	gasolina/ aceite de motor/líquidos refrigerantes
15	8663962.34	477752.96	2	10	aceites de motor /productos de limpieza

1 6	8663861.8	477856.36	3	10	líquidos de frenos / productos de limpieza /líquidos hidráulicos
1 7	8664584.74	477748.48	6 meses	15	gasolina/ aceite de motor/líquidos refrigerantes/productos de limpieza /líquidos hidráulicos /líquidos refrigerantes
1 8	8664660.13	478271.52	3	5	aceites de motor /productos de limpieza
1 9	8664572.14	478241.99	5	5	gasolina/ aceite de motor/líquidos refrigerantes/líquidos hidráulicos /líquidos refrigerantes
2 0	8664508.88	478053.34	4	15	gasolina/aceites de motor
2 1	8664600.23	478120.43	5	10	gasolina/aceites de motor/líquidos refrigerantes/pinturas
2 2	8664153.42	478409.67	2	10	gasolina/aceites de motor
2 3	8664054.4	478219.79	1	5	aceites de motor
2 4	8664726.94	477803.36	3	10	gasolina/aceites de motor/líquidos refrigerantes/pinturas
2 5	8664719.36	477810.85	10	20	gasolina/ aceite de motor/líquidos refrigerantes/líquidos hidráulicos /líquidos refrigerantes
2 6	8664708.78	477815.83	7	10	gasolina /aceites de motor/líquidos refrigerantes
2 7	8664598	477693	3	4	gasolina/aceite de motor/líquidos hidráulicos/disolventes/líquidos refrigerantes/productos de limpieza
2 8	8664578	477707	4	3	gasolina/aceite de motor/líquidos

					hidráulicos/productos de limpieza
2 9	8664577	477718	9	5	gasolina/aceite de motor/líquidos hidráulicos/productos de limpieza
3 0	8664481	477760	15	3	gasolina/aceite de motor/líquidos hidráulicos
3 1	8664084	477833	4	2	gasolina/ líquidos refrigerantes
3 2	8663855	477988	7	4	gasolina/aceite de motor/líquidos hidráulicos/líquidos refrigerantes
3 3	8664149	478413	5	3	gasolina/aceite de motor/líquidos hidráulicos/productos de limpieza
3 4	8664204	478558	7	5	gasolina/aceite de motor/líquidos hidráulicos/productos de limpieza
3 5	8664345	478512	8	6	gasolina/aceite de motor/líquidos hidráulicos/líquidos refrigerantes
3 6	8664400	478499	6	4	gasolina/aceite de motor/líquidos hidráulicos
3 7	8664440	478476	2	2	gasolina/aceite de motor/líquidos hidráulicos/líquidos refrigerantes
3 8	8664488	478448	8	4	gasolina/aceite de motor/líquidos hidráulicos
3 9	8664532	478398	10	6	gasolina/aceite de motor/líquidos hidráulicos/productos de limpieza/pinturas/líquidos refrigerantes/disolventes

4 0	8664592	478357	12	7	aceite de motor/líquidos hidráulicos/disolventes/líquidos refrigerantes
4 1	8664621	478380	13	4	gasolina/aceite de motor/líquidos hidráulicos/líquidos refrigerantes/pinturas
4 2	8664611	478344		0	aceite de motor/líquidos hidráulicos/líquidos refrigerantes
4 3	8664696	478314	3	5	aceite de motor/líquidos hidráulicos/disolventes/líquidos refrigerantes
4 4	8664746	478337	15	3	gasolina/aceite de motor/líquidos hidráulicos/líquidos refrigerantes/pinturas/productos de limpieza
4 5	8664740	478297			gasolina/aceite de motor/líquidos hidráulicos/líquidos refrigerantes/productos de limpieza
4 6	8664761	478310	+10	4	gasolina/aceite de motor/líquidos hidráulicos/líquidos refrigerantes/productos de limpieza
4 7	8664782	478244	9		aceite de motor/líquidos hidráulicos/líquidos refrigerantes
4 8	8664792	478238	7	7	aceite de motor/líquidos hidráulicos/líquidos refrigerantes
4 9	8664813	478227	3	3	aceite de motor/líquidos hidráulicos
5 0	8664796	478235	8	8	gasolina/aceite de motor/líquidos hidráulicos
5 1	8664802	478229	8	3	aceite de motor/líquidos hidráulicos/líquidos refrigerantes

5 2	8664751	478237	+12	3	aceite de motor/líquidos hidráulicos/líquidos refrigerantes/productos de limpieza
5 3	8664682	478084			gasolina/aceite de motor/líquidos hidráulicos/líquidos refrigerantes
5 4	8664691	478109	+10	7	gasolina/aceites de motor/líquidos hidráulicos/disolventes/líquid os refrigerantes/productos de limpieza/pinturas
5 5	8664682	478084	5	2	líquidos hidráulicos/disolventes/produ ctos de limpieza/pinturas
5 6	8664613	478011	3	2	aceite de motor/líquidos hidráulicos/líquidos refrigerantes
5 7	8664625	477916	4	2	gasolina/aceite de motor/líquidos hidráulicos
5 8	8664618	477928	6	1	aceite de motor/líquidos hidráulicos/líquidos refrigerantes
5 9	8664544	477919	8	3	gasolina/aceite de motor/líquidos hidráulicos/productos de limpieza
6 0	8664576	477837	7	5	gasolina/aceite de motor/líquidos hidráulicos
6 1	8664574	477883	10	6	gasolina/aceite de motor/líquidos hidráulicos/disolventes/líquid os refrigerantes
6 2	8664722	477884	6	5	gasolina/aceite de motor/líquidos hidráulicos/disolventes
6 3	8664753	477898	7	6	gasolina/aceite de motor/líquidos hidráulicos
6 4	8664710	477922	11	4	gasolina/aceite de motor/líquidos



					hidráulicos/disolventes/líquidos refrigerantes
6 5	8664721	477939	10	2	gasolina/aceite de motor/líquidos hidráulicos/productos de limpieza
6 6	8664729	477903	+10	2	gasolina/aceite de motor/líquidos hidráulicos/líquidos refrigerantes
6 7	8664749	477926	6	3	aceite de motor/líquidos hidráulicos/disolventes/líquidos refrigerantes
6 9 8	8664775	477914	9	3	gasolina/aceite de motor/líquidos hidráulicos/disolventes/líquidos refrigerantes
6 9	8664774	477946	10	2	gasolina/aceite de motor/líquidos hidráulicos/disolventes/líquidos refrigerantes/productos de limpieza/pinturas
7 0	8664851	478164	+10	6	gasolina/aceite de motor/líquidos hidráulicos/disolventes/líquidos refrigerantes
7 1	8664839	478185	+10	7	gasolina/aceite de motor/líquidos hidráulicos/
7 2	8664893	478210	15	4	gasolina/aceite de motor/líquidos hidráulicos/líquidos refrigerantes
7 3	8664871	478256	4	2	aceite de motor/líquidos hidráulicos/líquidos refrigerantes
7 4	8664879	478270	14	4	aceite de motor/líquidos hidráulicos/líquidos refrigerantes/productos de limpieza
7 5	8664456	477932	8	5	gasolina/aceite de motor/líquidos hidráulicos

7 6	8664879	477988	12	3	gasolina/aceite de motor/líquidos hidráulicos/líquidos refrigerantes
7 7	8664842	477934	12	2	aceite de motor/líquidos hidráulicos/líquidos refrigerantes
7 8	8664814	477863	9	3	aceite de motor/líquidos hidráulicos/líquidos refrigerantes/productos de limpieza
7 9	8664816	477874	16	4	gasolina/aceite de motor/líquidos hidráulicos/líquidos refrigerantes//productos de limpieza
8 0	8664868	477853	12	3	aceite de motor/líquidos hidráulicos/líquidos refrigerantes//productos de limpieza
8 1	8664002.63	477319.17	1	4	gasolina, aceite de motor
8 2	8664000.47	477427.29	8	6	gasolina, aceite de motor, petróleo, aditivos
8 3	8664002.04	477429.66	6	6	Aceite de motor
8 4	8663937.32	477340.77	3	3	no utiliza Insumos
8 5	8664378.56	477997.79	15	4	gasolina, aceite
8 6	8664368.6	478008.78	20	15	gasolina, aceite de motor, petróleo, aditivos
8 7	8664168.45	477703.32	5	5	gasolina, aceite de motor, petróleo
8 8	8664033.79	477531.85	15	7	pintura, thinner, gasolina
8 9	8664021.29	477496.54	25	20	gasolina, aceite de motor, líquidos hidráulicos, disolventes, petróleo, thinner, líquidos refrigerantes,

					productos de limpieza, pinturas
9 0	8663811 .86	4771 95.64	5	6	Aceite de motor, líquidos refrigerantes, gasolina
9 1	8664410 .78	4772 92.23	2	5	Aceite de motor, líquidos refrigerantes
9 2	8663973 .88	4763 85.44	5	20	aceite de motor, líquido hidráulico, petróleo
9 3	8664370 .85	4771 60.54	2	6	Aceite de motor, líquidos refrigerantes
9 4	8664359 .79	4770 04.72	3	5	pintura, thinner, gasolina
9 5	8664039 .51	4767 56.95	5 meses	3	gasolina, aceite de motor, líquidos hidráulicos, petróleo, líquidos refrigerantes
9 6	8663611 .18	4768 69.79	10	10	gasolina, petróleo, aceites de motor
9 7	8663622 .09	4768 77.6	3	5	aceite de motor, productos de limpieza
9 8	8663651 .49	4769 60.65	5	3	gasolina, aceites de motor, petróleo
9 9	8663651 .49	4769 60.65	5	7	gasolina, petróleo, aceites de motor
1 0 0	8663743 .08	4770 72.53	3	4	aceite de motor, líquidos refrigerantes
1 0 1	8663669 .3	4773 58.57	2	3	gasolina, aceite de motor, petróleo
1 0 2	8663536 .13	4768 58.05	15 días	2	líquidos hidráulicos
1 0 3	8663491 .16	4770 93.84	1	5	gasolina, aceite de motor, petróleo

**Anexo 04.** Procedimiento del proyecto de tesis.



**Anexo 05.** Escalas de interpretación de análisis de suelos.

1. Textura<sup>1</sup>:

Términos generales		Clase textural	Símbolo
Suelos	Textura		
Arenosos	Gruesa	Arena	A.
		Arena franca	A.Fr.
Francos	Moderadamente gruesa	Franco arenoso	Fr.A.
		Franco	Fr.
	Media	Franco limoso	Fr.L.
		Limoso	L.
		Franco arcilloso	Fr.Ar.
	Moderadamente fina	Franco arcillo limoso	Fr.Ar.L.
Franco arcillo arenoso		Fr.Ar.A.	
Arcillosos	Fina	Arcillo arenoso	Ar.A.
		Arcillo limoso	Ar.L.
		Arcilloso	Ar.

2. pH<sup>1</sup>:

Rangos	Clases
< 3.5	Ultra ácido
3.6 - 4.4	Extremadamente ácido
4.5 - 5.0	Muy fuertemente ácido
5.1 - 5.5	Fuertemente ácido
5.6 - 6.0	Moderadamente ácido
6.1 - 6.5	Ligeramente ácido
6.6 - 7.3	Neutro
7.4 - 7.8	Ligeramente alcalino
7.9 - 8.4	Moderadamente alcalino
8.5 - 9.0	Fuertemente alcalino
> 9.0	Muy fuertemente alcalino

3. Conductividad eléctrica<sup>1</sup>:

<b>Clase</b>	<b>Calificación</b>	<b>Conductividad eléctrica dS/m</b>
0	No salino	0 - 2
1	Muy ligeramente salino	2 - 4
2	Ligeramente salino	4 - 8
3	Moderadamente salino	8 - 16
4	Fuertemente salino	≥ 16

4. Materia orgánica<sup>2</sup>:

<b>Nivel</b>	<b>%</b>
Bajo	< 2
Medio	2 - 4
Alto	> 4

5. Fósforo disponible<sup>2</sup>:

<b>Nivel</b>	<b>P (mg/kg)</b>
Bajo	< 7
Medio	7 - 14
Alto	> 14

6. Potasio disponible<sup>2</sup>:

<b>Nivel</b>	<b>K (mg/kg)</b>
Bajo	< 100
Medio	100 - 240
Alto	> 240

7. Capacidad de Intercambio Catiónico<sup>3</sup>:

<b>Nivel</b>	<b>CIC (cmol/kg)</b>
Muy Baja	< 4
Moderadamente Baja	4 - 8
Baja	8 - 12
Moderadamente Alta	12 - 20
Alta	> 20

8. Saturación de bases<sup>3</sup>:

<b>Nivel</b>	<b>Suma de Cationes (%)</b>	<b>Acetato de Amonio (%)</b>
Bajo	< 35	< 50
Alto	> 35	> 50

9. Calcáreo:

<b>Nivel</b>	<b>% CaCO<sub>3</sub></b>
Bajo	< 1
Medio	1 - 5
Alto	5 - 15
Muy alto	>15

10. Saturación de aluminio<sup>3</sup>:

<b>Nivel</b>	<b>Para cultivos</b>		
	<b>Susceptibles</b>	<b>Tolerantes</b>	<b>Muy tolerantes</b>
Bajo	< 30	< 40	< 60
Alto	> 30	> 40	> 60

(1) Soil Survey Division Staff. 1993. Soil Survey Manual. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18.

(2) Reglamento de Clasificación de Tierras según su Capacidad de Uso Mayor, Lima, Perú.

(3) Departamento de Suelos y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria, La Molina 2002.

**Anexo 06.** Composición de nutrientes del vermicompost y compost tradicional.

Nutrientes	Vermicompost	Compost convencional
N %	1.9	1.4
C/N	13.6	20.6
P (%)	2.0	1.8
K (%)	0.8	0.7
Zn (%)	100	80
Cu (ppm)	48	40
Mn (ppm)	500	260

Fuente: Practical on Vermicompost, Shahi, S.K.

**Anexo 07.** Resultados del análisis inicial.





**INFORME TÉCNICO N° 1431 – 19 – LABICER**

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
  - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : ELIZABETH GUISELLA MACHUCA MANRIQUE
  - 1.2 DNI : 19856626
  
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
  - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 13 / 08 / 2019
  - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 20 / 08 / 2019
  
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANÁLISIS QUÍMICO
  
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN EL CLIENTE**
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE SUELO DE TALLER MECÁNICO
  - 4.2 PROCEDENCIA : TALLER MECÁNICO UNIÓN, CHILCA - HUANCAYO
  - 4.3 FECHA DE MUESTREO : 02 / 08 / 2019
  
5. **LUGAR DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
  
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 20°C; Humedad relativa: 60 %
  
7. **EQUIPO UTILIZADO** : Equipo de Ultrasonido. DAIHAN Scientific, WUC-D10H.
  
8. **RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADO	MÉTODO DE REFERENCIA
Hidrocarburos totales de petróleo (HTP)	43386.7 ppm (ug de HTP/g de muestra) <= 4.34 %	EPA 3550C

9. **VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**

El Informe técnico es válido solo para la muestra y las condiciones indicadas en los ítems del uno (1) al cuatro (4) del presente informe técnico.

Bach. Natalia Chávez  
Analista Químico  
LABICER – UNI

MSc. Otilia Acha de la Cruz  
Responsable de Análisis  
Jefa de Laboratorio  
CQP 202

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE - 028



## INFORME DE ENSAYO N° SA19090330 CON VALOR OFICIAL

Nombre del Cliente : ELIZABETH GUISELLA MACHUCA MARIQUE  
Domicilio Legal :  
Solicitado Por : ELIZABETH GUISELLA MACHUCA MARIQUE  
Referencia : MUESTRA COMPUESTA SUPERFICIAL

### DATOS DE LA MUESTRA

Procedencia : HUANCAYO JUNIN  
Plan de Muestreo : Realizado por el Cliente  
Cantidad de Muestras : 1  
Condición de la Muestra : Frascos de plástico y/o vidrio, preservados y refrigerados

Fecha de Muestreo : 02/08/2019  
Fecha de Recepción : 05/09/2019  
Fecha Inicio Ensayo : 05/09/2019

### MÉTODOS DE ENSAYO

Parámetros	Normas
Capacidad Intercambio Catiónica (*)	NOM-021-RECNAT-2000 AS-12
Carbonato de calcio (*)	NOM-021-RECNAT-2000
Clase Textural (*)	NOM-021-RECNAT-2000 AS-09
Densidad (*)	NOM-021-RECNAT-2000 AS-05
Porosidad disponible (*)	NOM-021-RECNAT-2000 AS-10
Materia orgánica (*)	NOM-021-RECNAT-2000 AS-07
Nitrógeno total - kjeldahl (nitrato) (*)	NOM-021-RECNAT-2000, ISO 7211:2013 y ISO 7171:AS-04 Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y clasificación de suelo (validado-Modificado)
pH - Suelos	EPA 8045-D, Rev4, 2004
Porosidad (*)	NOM-021-RECNAT-2000 AS-05
Potasio disponible (*)	NOM-021-RECNAT-2000 AS-19
Salinidad (*)	NOM-021-RECNAT, 2000

©EOLAB "EPA" U.S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes.

### USO DEL INFORME

- El presente informe solo es válido para el lote de muestras de la referencia.
- El lote de muestras que incluye al presente informe y/o muestras almacenadas en el caso que sean solicitadas por el cliente o entidad italiana serán depositadas a los 30 días naturales de la fecha de emisión de este documento, salvo que su parafinidad sea un período mayor, en este caso el período de custodia será definido por los registros del método empleado.
- El presente informe de ensayo es un documento oficial de intención pública; no debe ser usado o reproducido sin el consentimiento escrito de la entidad y en sujeta a las leyes vigentes tanto en relación al mismo país, data prohibida la reproducción parcial o total del presente informe, salvo autorización escrita de J. Ramón del Perú S.A.C.
- Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificación del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

45 años al servicio de la Minería y el Medio Ambiente. Visítanos en : [www.jramoncorp.com](http://www.jramoncorp.com)



Laboratorio Av. Los Escalantes, Sector Santa Mercedes, Píscos 5 Lúcio  
Cercal +51 1 8322090  
Email [jramon@jramoncorp.com](mailto:jramon@jramoncorp.com)



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE - 028



### INFORME DE ENSAYO N° SA19090330 CON VALOR OFICIAL

Cod. Cliente	M1		
Cod. Lab.	MA19090078.01		
Tipo de Producto	Suelo; suelo		
Fecha de Muestreo	02/08/2019		
Hora de Muestreo	10:00		
Cadena de Custodia	53910		
Parámetros	Unidad	L.D.	Resultados
Capacidad Intercambio Cationico (*)			5,84
Calcio Intercambiable	meq/100g	N.A.	21,01
Magnesio Intercambiable	meq/100g	N.A.	4,61
Potasio Intercambiable	meq/100g	N.A.	0,62
Sodio Intercambiable	meq/100g	N.A.	0,55

Cod. Cliente	M1		
Cod. Lab.	MA19090078.01		
Tipo de Producto	Suelo; suelo		
Fecha de Muestreo	02/08/2019		
Hora de Muestreo	10:00		
Cadena de Custodia	53910		
Parámetros	Unidad	L.D.	Resultados
Carbonatos (*)	%	0,10	<0,10
Densidad aparente (*)	g/cm3	N.A.	1,20
Fosforo disponible (*)	ppm	0,1	21,74
Potasio disponible (*)	mg/kg	0,3	75,21
Materia orgánica (*)	%	0,01	12,48
Nitrógeno total - kjeldahl (suelos) (*)	mg/kg	0,5	242,4
pH - Suelos	Und. pH	r	7,67
Porosidad (*)	%	1	1
Porcentaje de Arena (*)	%	0,50	86,56
Porcentaje de Arcilla (*)	%	0,50	5,44
Porcentaje de Limo (*)	%	0,50	8,00
Clase Textural (*)	NA	-	Areno Fr.
Salinidad (*)	ppt	1	1,18

Legenda: LD = Límite de detección PS= Peso Seco r = Resolución N.A. = No aplica

Tempo de Percibilidad de Muestras
Salinidad : 90 días

Lurin, 18 de Septiembre del 2019

*Zaida Contreras*  
Zaida Contreras Pachterre  
Supervisora de Laboratorio Químico  
CQP 1162

#### USO DEL INFORME

- 1.- El presente informe solo es válido para el lote de muestras de la referencia.
- 2.- El lote de muestras que incluye el presente informe y/o muestras derivadas en el caso que sean solicitadas por el cliente o entidad solicitante serán descartadas a los 30 días calendario de la fecha de emisión de este documento, salvo que su perecibilidad sea un periodo menor, en este caso el periodo de custodia será definido por los requisitos del método empleado.
- 3.- El presente informe de ensayo es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y es regulada de acuerdo a las leyes vigentes tanto en materia civil como penal. Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente informe, salvo autorización escrita de J. Ramon del Perú S.A.C.
- 4.- Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

45 años al servicio de la Minería y el Medio Ambiente. Visitenos en : [www.jramoncorp.com](http://www.jramoncorp.com)



Laboratorio: Av. Los Eucaliptos, Sector Santa Genoveva, Parcela 5 Lurin  
Central: +51 1 5133399  
E-mail: [jramon@jramoncorp.com](mailto:jramon@jramoncorp.com)



## INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : ELIZABETH GUISELLA MACHUCA MANRIQUE  
PROCEDENCIA : JUNIN/ HUANCAYO  
MUESTRA DE : HUMUS DE LOMBRIZ  
REFERENCIA : H.R. 69777  
BOLETA : 3448  
FECHA : 10/09/19

N° LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %
861	-	7.78	19.40	23.40	1.56	2.77	0.29

N° LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
861	-	7.23	1.37	48.81	0.77

  
Ing. Braulio La Torre Martínez  
Jefe de Laboratorio

**Anexo 08.** Resultados del análisis final de HTP:



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
LABICER (Laboratorio N° 12)  
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



**INFORME TÉCNICO N° 2233 – 19 – LABICER**

1. DATOS DEL SOLICITANTE
  - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : MIRELLA PIMENTEL ROJAS
  - 1.2 DNI : 70040719
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
  - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 09 / 12 / 2019
  - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 12 / 12 / 2019
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANÁLISIS DE HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN EL SOLICITANTE
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE SUELO
  - 4.2 PROCEDENCIA : HUANCAYO
  - 4.3 MUESTRA : 1
  - 4.3 FECHA : 07 / 12 / 2019
5. LUGAR DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 23.9°C; Humedad relativa: 63 %
7. EQUIPO UTILIZADO : Equipo de Ultrasonido. DAIHAN SCIENTIFIC, WUC-D10H.
8. RESULTADO

ANÁLISIS	RESULTADO	MÉTODO DE REFERENCIA
Hidrocarburos totales de petróleo (HTP)	9970.65 ppm (ug de HTP/g de muestra) <> 1.00 %	EPA 3550C

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO  
El Informe técnico es válido solo para la muestra y las condiciones indicadas en los ítems del uno (1) al cuatro (4) del presente informe técnico.

Bach. Jesús Blancas C.  
Analista Químico  
LABICER – UNI

MSc Otilia Acha de la Cruz  
Responsable de Análisis  
Jefa de Laboratorio  
CQP 202

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
LABICER (Laboratorio N° 12)  
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



**INFORME TÉCNICO N° 2234 – 19 – LABICER**

1. DATOS DEL SOLICITANTE
  - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : MIRELLA PIMENTEL ROJAS
  - 1.2 DNI : 70040719
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
  - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 09 / 12 / 2019
  - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 12 / 12 / 2019
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANÁLISIS DE HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN EL SOLICITANTE
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE SUELO
  - 4.2 PROCEDENCIA : HUANCAYO
  - 4.3 MUESTRA : 2
  - 4.3 FECHA : 07 / 12 / 2019
5. LUGAR DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 23.9°C; Humedad relativa: 63 %
7. EQUIPO UTILIZADO : Equipo de Ultrasonido. DAIHAN SCIENTIFIC, WUC-D10H.
8. RESULTADO

ANÁLISIS	RESULTADO	MÉTODO DE REFERENCIA
Hydrocarburos totales de petróleo (HTP)	8855.88 ppm (ug de HTP/g de muestra) <> 0.89 %	EPA 3550C

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO  
El Informe técnico es válido solo para la muestra y las condiciones indicadas en los ítems del uno (1) al cuatro (4) del presente informe técnico.

Bach. Jesús Blancas C.  
Analista Químico  
LABICER – UNI

MSc Otilia Acha de la Cruz  
Responsable de Análisis  
Jefa de Laboratorio  
CQP 202

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS

LABICER (Laboratorio N° 12)

ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



**INFORME TÉCNICO N° 2235 – 19 – LABICER**

1. DATOS DEL SOLICITANTE
  - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : MIRELLA PIMENTEL ROJAS
  - 1.2 DNI : 70040719
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
  - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 09 / 12 / 2019
  - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 12 / 12 / 2019
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANÁLISIS DE HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN EL SOLICITANTE
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE SUELO
  - 4.2 PROCEDENCIA : HUANCAYO
  - 4.3 MUESTRA : 3
  - 4.3 FECHA : 07 / 12 / 2019
5. LUGAR DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 23.9°C; Humedad relativa: 63 %
7. EQUIPO UTILIZADO : Equipo de Ultrasonido. DAIHAN SCIENTIFIC, WUC-D10H.
8. RESULTADO

ANÁLISIS	RESULTADO	MÉTODO DE REFERENCIA
Hidrocarburos totales de petróleo (HTP)	515.65 ppm (ug de HTP/g de muestra) <> 0.05 %	EPA 3550C

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO  
El Informe técnico es válido solo para la muestra y las condiciones indicadas en los ítems del uno (1) al cuatro (4) del presente informe técnico.

Bach. Jesús Blancas C.  
Analista Químico  
LABICER – UNI

MSc Otília Acha de la Cruz  
Responsable de Análisis  
Jefa de Laboratorio  
CQP 202

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.



**INFORME TÉCNICO N° 2236 – 19 – LABICER**

1. DATOS DEL SOLICITANTE
  - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : MIRELLA PIMENTEL ROJAS
  - 1.2 DNI : 70040719
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
  - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 09 / 12 / 2019
  - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 12 / 12 / 2019
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANÁLISIS DE HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN EL SOLICITANTE
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE SUELO
  - 4.2 PROCEDENCIA : HUANCAYO
  - 4.3 MUESTRA : 4
  - 4.3 FECHA : 07 / 12 / 2019
5. LUGAR DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 23.9°C; Humedad relativa: 63 %
7. EQUIPO UTILIZADO : Equipo de Ultrasonido. DAIHAN SCIENTIFIC, WUC-D10H.
8. RESULTADO

ANÁLISIS	RESULTADO	MÉTODO DE REFERENCIA
Hidrocarburos totales de petróleo (HTP)	438.14 ppm (ug de HTP/g de muestra) <> 0.04 %	EPA 3550C

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO  
El Informe técnico es válido solo para la muestra y las condiciones indicadas en los ítems del uno (1) al cuatro (4) del presente informe técnico.

Bach. Jesús Blancas C.  
Analista Químico  
LABICER – UNI

MSc Otilia Acha de la Cruz  
Responsable de Análisis  
Jefa de Laboratorio  
CQP 202

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS

LABICER (Laboratorio N° 12)

ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



**INFORME TÉCNICO N° 2237 – 19 – LABICER**

1. DATOS DEL SOLICITANTE
  - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : MIRELLA PIMENTEL ROJAS
  - 1.2 DNI : 70040719
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
  - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 09 / 12 / 2019
  - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 12 / 12 / 2019
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANÁLISIS DE HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN EL SOLICITANTE
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE SUELO
  - 4.2 PROCEDENCIA : HUANCAYO
  - 4.3 MUESTRA : 5
  - 4.3 FECHA : 07 / 12 / 2019
5. LUGAR DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 23.9°C; Humedad relativa: 63 %
7. EQUIPO UTILIZADO : Equipo de Ultrasonido. DAIHAN SCIENTIFIC, WUC-D10H.
8. RESULTADO

ANÁLISIS	RESULTADO	MÉTODO DE REFERENCIA
Hidrocarburos totales de petróleo (HTP)	8291.74 ppm (ug de HTP/g de muestra) < 0.83 %	EPA 3550C

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO  
El Informe técnico es válido solo para la muestra y las condiciones indicadas en los ítems del uno (1) al cuatro (4) del presente informe técnico.

Bach. Jesús Blancas C.  
Analista Químico  
LABICER – IINI

MSc Otilia Acha de la Cruz  
Responsable de Análisis  
Laboratorio



**INFORME TÉCNICO N° 2238 – 19 – LABICER**

1. DATOS DEL SOLICITANTE
  - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : MIRELLA PIMENTEL ROJAS
  - 1.2 DNI : 70040719
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
  - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 09 / 12 / 2019
  - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 12 / 12 / 2019
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANÁLISIS DE HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN EL SOLICITANTE
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE SUELO
  - 4.2 PROCEDENCIA : HUANCAYO
  - 4.3 MUESTRA : 6
  - 4.3 FECHA : 07 / 12 / 2019
5. LUGAR DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 23.9°C; Humedad relativa: 63 %
7. EQUIPO UTILIZADO : Equipo de Ultrasonido. DAIHAN SCIENTIFIC, WUC-D10H.
8. RESULTADO

ANÁLISIS	RESULTADO	MÉTODO DE REFERENCIA
Hidrocarburos totales de petróleo (HTP)	4348.69 ppm (ug de HTP/g de muestra) <> 0.43 %	EPA 3550C

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO  
El Informe técnico es válido solo para la muestra y las condiciones indicadas en los ítems del uno (1) al cuatro (4) del presente informe técnico.

Bach. Jesús Blancas C.  
Analista Químico  
LABICER – UNI

MSc Otilia Acha de la Cruz  
Responsable de Análisis  
Jefa de Laboratorio  
CQP 202

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.



**INFORME TÉCNICO N° 2239 – 19 – LABICER**

1. DATOS DEL SOLICITANTE
  - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : MIRELLA PIMENTEL ROJAS
  - 1.2 DNI : 70040719
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
  - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 09 / 12 / 2019
  - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 12 / 12 / 2019
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANÁLISIS DE HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN EL SOLICITANTE
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE SUELO
  - 4.2 PROCEDENCIA : HUANCAYO
  - 4.3 MUESTRA : 7
  - 4.3 FECHA : 07 / 12 / 2019
5. LUGAR DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 23.9°C; Humedad relativa: 63 %
7. EQUIPO UTILIZADO : Equipo de Ultrasonido. DAIHAN SCIENTIFIC, WUC-D10H.
8. RESULTADO

ANÁLISIS	RESULTADO	MÉTODO DE REFERENCIA
Hidrocarburos totales de petróleo (HTP)	11248.95 ppm (ug de HTP/g de muestra) < 1.12 %	EPA 3550C

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO  
El Informe técnico es válido solo para la muestra y las condiciones indicadas en los ítems del uno (1) al cuatro (4) del presente informe técnico.

Bach. Jesús Blancas C.  
Analista Químico  
LABICER – UNI

MSc Otilia Acha de la Cruz  
Responsable de Análisis  
Jefa de Laboratorio  
CQP 202

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.



**INFORME TÉCNICO N° 2240 – 19 – LABICER**

1. DATOS DEL SOLICITANTE
  - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : MIRELLA PIMENTEL ROJAS
  - 1.2 DNI : 70040719
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
  - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 09 / 12 / 2019
  - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 12 / 12 / 2019
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANÁLISIS DE HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN EL SOLICITANTE
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE SUELO
  - 4.2 PROCEDENCIA : HUANCAYO
  - 4.3 MUESTRA : 8
  - 4.3 FECHA : 07 / 12 / 2019
5. LUGAR DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 23.9°C; Humedad relativa: 63 %
7. EQUIPO UTILIZADO : Equipo de Ultrasonido. DAIHAN SCIENTIFIC, WUC-D10H.
8. RESULTADO

ANÁLISIS	RESULTADO	MÉTODO DE REFERENCIA
Hidrocarburos totales de petróleo (HTP)	2403.65 ppm (ug de HTP/g de muestra) <> 0.24 %	EPA 3550C

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO  
 El Informe técnico es válido solo para la muestra y las condiciones indicadas en los ítems del uno (1) al cuatro (4) del presente informe técnico.

Bach. Jesús Blancas C.  
 Analista Químico  
 LABICER – UNI

MSc Otilia Acha de la Cruz  
 Responsable de Análisis  
 Jefa de Laboratorio  
 CQP 202

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.



**INFORME TÉCNICO N° 2241 – 19 – LABICER**

1. DATOS DEL SOLICITANTE
  - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : MIRELLA PIMENTEL ROJAS
  - 1.2 DNI : 70040719
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
  - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 09 / 12 / 2019
  - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 12 / 12 / 2019
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANÁLISIS DE HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN EL SOLICITANTE
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE SUELO
  - 4.2 PROCEDENCIA : HUANCAYO
  - 4.3 MUESTRA : 9
  - 4.3 FECHA : 07 / 12 / 2019
5. LUGAR DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 23.9°C; Humedad relativa: 63 %
7. EQUIPO UTILIZADO : Equipo de Ultrasonido. DAIHAN SCIENTIFIC, WUC-D10H.
8. RESULTADO

ANÁLISIS	RESULTADO	MÉTODO DE REFERENCIA
Hidrocarburos totales de petróleo (HTP)	2155.60 ppm (ug de HTP/g de muestra) < 0.22 %	EPA 3550C

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO  
El Informe técnico es válido solo para la muestra y las condiciones indicadas en los ítems del uno (1) al cuatro (4) del presente informe técnico.

Bach. Jesús Blancas C.  
Analista Químico  
LABICER – UNI

MSc Otilia Acha de la Cruz  
Responsable de Análisis  
Jefa de Laboratorio  
CQP 202

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

**INFORME DE ENSAYO N° MA19120104  
CON VALOR OFICIAL**

Cod. Cliente	MUESTRA S1	MUESTRA S2	MUESTRA S3	MUESTRA S4	MUESTRA S5		
Cod. Lab.	MA19120104.0	MA19120104.02	MA19120104.03	MA19120104.04	MA19120104.05		
Tipo de Producto	Suelo; suelo	Suelo; suelo	Suelo; suelo	Suelo; suelo	Suelo; suelo		
Fecha de Muestreo	07/12/2019	07/12/2019	07/12/2019	07/12/2019	07/12/2019		
Hora de Muestreo	15:30	15:30	15:30	15:30	15:30		
Cadena de Custodia	54623	54623	54623	54623	54623		
Parámetros	Unidad	L.D.	Resultados				
Calcio Intercambiable	meq/100g	N.A.	25,97	27,89	26,80	23,83	31,23
Carbonatos (*)	%	0,1	5,69	5,05	4,95	4,95	5,79
Densidad (*)	g/cm3	N.A.	1,05	1,07	1,10	1,08	1,14
Fosforo disponible (*)	ppm	0,10	2,52	1,08	1,18	11,75	28,66
Magnesio Intercambiable	meq/100g	N.A.	1,83	2,24	2,04	9,50	11,65
Materia orgánica (*)	%	0,01	19,76	6,72	6,56	19,04	19,28
Nitrogeno total - kjeldahl (suelos) (*)	mg/kg	0,5	507,4	343,9	321,3	498,9	496,1
pH - Suelos	Und. pH	0,01	7,50	7,51	7,46	7,36	7,42
Porosidad (*)	%	1	39,92	36,72	40,55	37,28	35,04
Potasio disponible (*)	mg/kg	0,3	10,24	14,36	10,35	60,26	86,59
Potasio Intercambiable	meq/100g	N.A.	0,04	0,02	0,05	0,05	0,02
Salinidad (*)	ppt	1	<1,00	<1,00	<1,00	2,88	3,93
Sodio Intercambiable	meq/100g	N.A.	0,48	1,79	0,97	4,52	5,47
Clase Textural (*)							
Porcentaje de arcilla	%	0,5	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44
Porcentaje de arena	%	0,5	98,56	98,56	98,56	98,56	98,56
Porcentaje de limo	%	0,5	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Clase Textural (*)	NA	-	Arenosa	Arenosa	Arenosa	Arenosa	Arenosa

INFORME DE ENSAYO N° MA19120104  
CON VALOR OFICIAL

Cod. Cliente	MUESTRA S6	MUESTRA S7	MUESTRA S8	MUESTRA S9		
Cod. Lab.	MA19120104.0	MA19120104.0	MA19120104.0	MA19120104.0		
Tipo de Producto	Suelo; suelo	Suelo; suelo	Suelo; suelo	Suelo; suelo		
Fecha de Muestreo	07/12/2019	07/12/2019	07/12/2019	07/12/2019		
Hora de Muestreo	15:30	15:30	15:30	15:30		
Cadena de Custodia	54823	54823	54823	54823		
Parámetros	Unidad	L.D.	Resultados			
Calcio intercambiable	meq/100g	N.A.	24,28	27,19	34,58	35,98
Carbonatos (*)	%	0,1	4,48	4,70	4,85	4,48
Densidad (*)	g/cm3	N.A.	1,15	1,14	1,05	1,05
Fosforo disponible (*)	ppm	0,10	11,88	51,01	42,88	45,88
Magnesio intercambiable	meq/100g	N.A.	10,09	2,02	12,09	14,18
Materia orgánica (*)	%	0,01	21,20	7,12	19,04	19,02
Nitrógeno total - Kjeldahl (suelos) (*)	mg/kg	0,5	519,8	355,7	497,2	500,8
pH - Suelos	Und. pH	0,01	7,39	7,52	7,40	7,37
Porosidad (*)	%	1	37,88	35,89	34,74	41,78
Potasio disponible (*)	mg/kg	0,3	41,24	14,88	95,88	83,15
Potasio intercambiable	meq/100g	N.A.	0,07	0,08	0,01	0,01
Salinidad (*)	ppt	1	2,20	8,07	8,58	5,18
Sodio intercambiable	meq/100g	N.A.	2,50	1,05	10,93	10,99
<b>Clase Textural (*)</b>						
Porcentaje de arcilla	%	1	1,44	1,44	1,44	1,44
Porcentaje de arena	%	1	98,56	94,56	98,56	98,56
Porcentaje de limo	%	1	2,00	4,00	2,00	2,00
Clase Textural (*)	NA	-	Arenosa	Arenosa	Arenosa	Arenosa

Leyenda: L.D = Límite de detección PD = Peso Seco r = Resolución N.A. = No aplica

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

Tiempo de Pericubidad de Muestras	
Carbonatos y Bicarbonatos : 140 días	Salinidad : 90 días

Lurin, 27 de Diciembre del 2019

*Zaida Contreras Pacheco*  
Zaida Contreras Pacheco  
Supervisora de Laboratorio Químico  
CQP 1112