

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



*Una Institución Adventista*

**Efectividad de los bioestimuladores de compost, lombricompost  
y abono verde en la biorremediación de suelos contaminados  
con aceite automotriz**

Por:

Nancy Curasi Rafael

Mayra Alessandra Luque Soncco

Asesor:

Ing. Verónica Haydeé Pari Mamani

**Juliaca, febrero de 2019**

**DECLARACION JURADA  
DE AUTORIA DEL INFORME DE TESIS**

Ing. Verónica Haydeé Pari Mamani, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: **"EFECTIVIDAD DE LOS BIOESTIMULADORES DE COMPOST, LOMBRICOMPOST Y ABONO VERDE EN LA BIORREMEDIACION DE SUELOS CONTAMINADOS CON ACEITE AUTOMOTRIZ"**, constituye la memoria que presenta las Bachilleres Nancy Curasi Rafael y Mayra Alessandra Luque Soncco para aspirar el título profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca, al 7 de febrero de 2019.



---

Ing. Verónica Haydeé Pari Mamani

“Efectividad de los bioestimuladores de compost, lombricompost y abono verde en la biorremediación de suelos contaminados con aceite automotriz”

# TESIS

Presentada para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

## JURADO CALIFICADOR



Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera  
Presidente



MSc. Rose Adeline Callata Chura  
Secretario



MSc. Jael Calla Calla  
Vocal



Ing. Verónica Haydeé Pari Mamani  
Asesora

Juliaca, 8 de febrero de 2019

## DEDICATORIA

A mi querido padre, Avercio; por brindarme su apoyo, comprensión para alcanzar mis metas.

A María, mi madre, porque siempre me apoyo durante toda mi formación profesional.

A mis hermanos Noé, Joel y Ana María, por su compañía, comprensión, sus alegrías y apoyo para alcanzar mis metas.

## DEDICATORIA

A mi querido hijo Rodrick Raúl por ser mi mayor inspiración de superación, quien de manera indirecta me impulso a lograr una meta más.

A mis padres Víctor Raúl Luque López y Cecilia Soncco Cruz, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, por los ejemplos de esfuerzo, valentía, perseverancia y constancia que me ha infundado. Por ese apoyo incondicional, su amor infinito y paciencia.

A mi hermana Stephany Nayeli, por incentivar me a lograr mi meta y de tener el afán de formar en ella el espíritu investigador

## AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la vida, cuidarme, protegerme, bendecirme, guiarme por el camino correcto durante toda mi vida.

A la Universidad Peruana Unión, por brindarme los conocimientos en mi formación profesional.

A la Dra. Leonor S. Bustinza Cabala, Decana de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, por haberme iniciado en el camino de la investigación, orientándome, brindando apoyo incondicional y exigencia; así alcanzar con los objetivos, para culminar la investigación.

A mis padres, Avercio y María, por brindarme el apoyo económico para realizar la investigación.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por su amor inmenso, por cuidar de mí en todo momento, por acompañarme y dirigirme en cada etapa de mi vida.

Agradezco a mis padres Víctor y Cecilia, por su gran esfuerzo, al inicio de una nueva etapa.

Agradezco a cada una de las personas, podría nombrar a más de uno; familiares, amigos, docentes.

## INDICE

<b>RESUMEN</b> .....	xii
<b>ABSTRACT</b> .....	xiii
<b>CAPITULO I: EL PROBLEMA</b> .....	1
1. Identificación del problema .....	1
2. Justificación .....	3
3. Presuposición filosófica.....	5
4. Objetivos .....	5
4.1. Objetivo general.....	6
4.2. Objetivos específicos.....	6
<b>CAPITULO II: REVISION DE LITERATURA</b> .....	7
2. Antecedentes de la investigación .....	7
2.1. Antecedentes internacionales.....	7
2.2. Antecedentes nacionales.....	10
2.3. Antecedentes locales .....	12
2.4. Revisión de la literatura.....	12
2.4.1. El aceite residual automotriz (ARA).....	13
2.4.2. Efectos de los aceites en el medio ambiente.....	13
2.4.3. Composición de los aceites usados .....	14
2.4.4. Suelo .....	14
2.4.5. Remediación de suelos .....	15
2.4.6. Compost.....	15
2.4.7. Características del compost .....	16
2.4.8. Lombricompost .....	16
2.4.9. Características del lombricompost.....	17
2.4.10. Composición del lombricompost .....	17
2.4.11. Abono verde.....	17
2.4.12. Ray grass.....	18
2.4.13. Hidrocarburos.....	19
2.4.14. Suelo contaminado con hidrocarburos .....	20
2.5. Marco conceptual .....	21
2.5.1. Residuos sólidos.....	21

2.5.2. Residuos peligrosos.....	21
2.5.3. Bioestimulador.....	21
2.5.4. Biorremediación.....	22
2.5.5. Ray grass.....	22
2.5.6. Biopilas.....	22
2.5.7. Contaminantes.....	23
2.5.8. Parámetro.....	23
2.5.9. Remediación.....	23
2.5.10. Suelo agrícola.....	23
2.5.11. Suelo residencial/parques.....	24
2.5.12. Permeabilidad.....	24
2.6. Parámetros de análisis.....	24
2.6.1. Conductividad eléctrica (C.E.).....	24
2.6.2. Textura.....	24
2.6.3. Temperatura.....	25
2.6.4. Capacidad de campo.....	25
2.6.5. Potencial de hidrógeno pH.....	25
2.6.6. Humedad.....	26
2.7. Marco legal.....	26
<b>CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>29</b>
3.1. Lugar de ejecución.....	29
3.1.1. Ubicación política:.....	29
3.1.2. Ubicación geográfica:.....	29
3.2. Muestreo de suelos para realizar la contaminación:.....	30
3.3. Metodología de elaboración de biopilas.....	30
3.4. Preparación de tratamientos.....	31
3.5. Obtención del aceite lubricante residual.....	32
3.6. Dosis de los tratamientos.....	32
3.7. Acondicionamiento de los tratamientos.....	32
3.8. Materiales y equipos.....	33
3.8.1. Materiales de laboratorio.....	33
3.8.2. Materiales de campo.....	33
3.8.3. Materiales de gabinete.....	33

3.8.4. Reactivos.....	34
3.8.5. Equipos .....	34
3.9. Metodologías de análisis.....	35
3.10. Tipo de investigación .....	35
3.11. Diseño de la investigación .....	36
3.11.1. Variables de estudios .....	36
3.11.2. Diseño experimental.....	36
3.11.3. Unidad experimental .....	36
<b>CAPITULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>37</b>
4.1. Resultados:.....	37
4.1.1. Caracterización del suelo .....	37
4.1.2. Hidrocarburos totales de petróleo .....	38
4.2. Supuestos .....	41
4.2.1. Prueba de normalidad .....	41
4.2.2. Prueba de homogeneidad de varianzas .....	42
4.3. Análisis de varianza.....	42
4.4. Comparaciones:.....	45
<b>CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>47</b>
5.1. Conclusiones .....	47
5.2. Recomendaciones.....	48
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>49</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación geográfica de las zonas de investigación .....	30
Figura 2 : Flujograma de metodología de análisis .....	35
Figura 3: Pesado de muestra 4 kg .....	56
Figura 4: Construcción de las biopilas de madera .....	56
Figura 5: Bolsa de 1 kg de humus de lombriz .....	56
Figura 6: Bolsas de 1 kg de compost .....	56
Figura 7: Pesado de las muestras en una balanza comercial.....	57
Figura 8: Muestras de suelo ya pesadas .....	57
Figura 9: Biopilas con los tratamientos .....	57
Figura 10: Biopila con pendiente de 3 % .....	57
Figura 11: Contaminación de suelo con aceite lubricante residual .....	58
Figura 12: Suelo tamizado.....	58
Figura 13: Muestras de los tratamientos para realizar los análisis.....	58
Figura 14: Sedimentación de la concentración para la lectura con el multiparámetro.....	59
Figura 15: Vasos precipitados para análisis con el multiparámetro.....	59
Figura 16: Multiparámetro, análisis de pH.....	59
Figura 17: Peso de las muestras para determinar humedad.....	59
Figura 18: Balanza analítica y desecador .....	60
Figura 19: Crisol más muestras de suelo.....	60
Figura 20: Probetas para determinar capacidad de campo para abono verde .....	60
Figura 21: Desecador con las muestras sacadas de la estufa .....	60
Figura 22: Preparación de muestras .....	61
Figura 23: Probetas para análisis de capacidad de campo.....	61

## INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1:</i> Composición del lombricompost .....	17
<i>Tabla 2:</i> Características de ray grass .....	18
<i>Tabla 3:</i> Características del compost. ....	31
<i>Tabla 4:</i> Características del lombricompost. ....	31
<i>Tabla 5:</i> Resultados de análisis de las muestras suelo- aceite .....	37
<i>Tabla 6:</i> Estándares de calidad ambiental para suelo .....	38
<i>Tabla 7:</i> Resultados de análisis de concentración de hidrocarburos .....	39
<i>Tabla 8:</i> Prueba de normalidad de los tratamientos con respecto a los parámetros de análisis realizados.....	41
<i>Tabla 9:</i> Prueba de homogeneidad de varianzas de los tratamientos con respecto a los parámetros de análisis realizados.....	42
<i>Tabla 10:</i> Significancia de tratamientos con respecto al pH .....	42
<i>Tabla 11:</i> Significancia de tratamientos con respecto a CE. ....	43
<i>Tabla 12:</i> Significancia de tratamientos con respecto a CC.....	43
<i>Tabla 13:</i> Significancia de tratamientos con respecto humedad .....	44
<i>Tabla 14:</i> Significancia de tratamientos con respecto temperatura .....	44
<i>Tabla 15:</i> Comparación por tratamientos .....	45
<i>Tabla 16:</i> Comparaciones de temperatura.....	46
<i>Tabla 17:</i> Resultados de análisis del tratamiento con compost .....	62
<i>Tabla 18:</i> Resultados de análisis del tratamiento lombricompost.....	62
<i>Tabla 19:</i> Resultados de análisis del tratamiento abono verde.....	62
<i>Tabla 20:</i> Resultados de caracterización de suelo .....	63

## SIMBOLOS USADOS

<b>ARA</b>	: Aceite residual automotriz
<b>AV</b>	: Abono verde
<b>BS</b>	: Bioestimular
<b>BPCV</b>	: Bacterias promotoras de crecimiento vegetal
<b>CC</b>	: Capacidad de Campo
<b>CE</b>	: Conductividad eléctrica
<b>CO<sub>2</sub></b>	: Dióxido de carbono
<b>DCA</b>	: Diseño experimental completamente al azar
<b>EC</b>	: Electric conductivity
<b>EFC</b>	: Extracto fúngico crudo
<b>ECA</b>	: Estándar de Calidad Ambiental.
<b>FC</b>	: Field capacity
<b>FR</b>	: Fitorremediación
<b>H</b>	: Humedad
<b>HC</b>	: Hidrocarburos
<b>HCL</b>	: Ácido clorhídrico
<b>HTP</b>	: Hidrocarburos totales de petróleo
<b>LC</b>	: Lombricompost
<b>MINAM</b>	: Ministerio del Ambiente
<b>PAH</b>	: Hidrocarburos aromáticos policíclicos
<b>pH</b>	: Potencial de hidrogeno %
<b>UTM</b>	: Universal Transverse Mercator

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue comparar la efectividad de tres bioestimuladores (compost, lombricompost y abono verde) en suelos contaminados con aceite de automotriz usado. Se construyeron por separado biopilas de (30x25x15 cm) que contienen 80% del suelo y 20% de bioestimulador. Además, en cada bio-pila se añadió 1 L de aceite de automotriz. Se midieron antes y después del tratamiento Los parámetros físicos (pH, conductividad eléctrica (CE), capacidad de campo (CC), humedad y temperatura). Además, se analizó la fracción de hidrocarburos por el Método EPA METODO 8015-C Rev. 3.2007. Los resultados del pH mostraron un incremento en 13.7%, 20.2% y 8.5%, para abono verde, lombricompost y compost, respectivamente. Así mismo, se observó un aumento de 19.3% (abono verde), 15.68% (lombricompost) y 8.2% (compost) para CE. En contraste, la capacidad de campo presentó reducción del abono verde (9.14%), lombricompost (8.92%) y compost (7.4%). En humedad, también se observaron disminución para todos los bioestimuladores. En la eliminación de hidrocarburos, el abono verde presentó mayor eficiencia con (27%) que el lombricompost en (20%) y compost (20%), concluyendo que el abono verde es el método más efectivo para la eliminación de hidrocarburos.

*Palabras clave:* Biorremediación de suelo, bioestimuladores, hidrocarburos y suelo contaminado.

## ABSTRACT

The aim of this investigation was to compare the effectiveness of three bio stimulators (compost, vermicomposting, and green manure) in soils contaminated with automotive oil used. Bio-piles (30x25x15 cm) containing 80% from soil and 20% of stimulator were constructed separately. Additional, at every bio-pile was added 1 L of automotive oil. Physics parameters (pH, electric conductivity (EC), field capacity (FC), humidity, and temperature) were measured before and after the treatment. Besides, hydrocarbon fraction was analyzed EPA method, METHOD 8015-C Rev. 3.2007. The results of pH showed increasing in 13.7%, 20.2%, and 8.5%, for green manure, vermicomposting, and compost, respectively. Likewise, increasing of 19.3% (green manure), 15.68% (vermicomposting), and 8.2% (compost) for EC were observed. In contrast, field capacity presented decreasing green manure (9.14%), vermicomposting (8.92%) and compost (7.4%). In humidity were observed also decreasing for all stimulators. Based in the hydrocarbon removal, green manure (27%) presented greater efficiency vermicomposting (20%), and compost (20%), concluding that green manure is the more effective method for hydrocarbon removal.

Keywords: Soil bioremediation, bi-stimulators, hydrocarbons and soil contaminated.

## **CAPÍTULO I EL PROBLEMA**

### **1. Identificación del problema**

El consumo de aceites lubricantes en el Perú posee un alto nivel de demanda en el mercado, sin embargo, existen diversos problemas ambientales en cuanto a su disposición final de estos aceites lubricantes usados (MEM, 2013); del mismo modo menciona Briceño J. (2015), el Perú es el segundo país donde viene creciendo más la venta de lubricantes sintéticos.

Según Álvarez P. (2014), menciona que, al producir bases lubricantes de calidad, reduce la demanda de importación de lubricantes al Perú; ya que en el mercado peruano de lubricantes es altamente prometedor, porque supera los US\$300 000 000 al año.

Por otro lado, Ibarra M. (2012), afirma que la cantidad de plomo presente en el aceite usado oscila del 1 al 1,5% en peso; esto proveniencia de las gasolinas y de los aditivos. Además, indica que se realizaron estudios en los países bajos y estos estimaron que, si se llegara a quemar 70000 toneladas de aceite usado, cantidad que se recolecta en un año, la atmosfera se recargaría con 350 toneladas adicionales de plomo, lo cual representa una tercera parte más de lo que actualmente emiten los escapes de vehículos.

Los hidrocarburos que contiene los aceites no son degradables biológicamente; al ser vertidos en el suelo o al mezclarse con agua, crea un impacto negativo ya que por ser insoluble se mantiene en la superficie e impide el intercambio gaseoso con la atmosfera,

además que inhibe los ciclos biogeoquímicos que están relacionados con la mineralización de la materia orgánica del suelo; es decir, impide la regeneración del humus y al infiltrarse en las aguas subterráneas causa contaminación, (Manzanarez , L 2012).

Para Garufi A. (2014), en el Perú la mayor parte de los aceites lubricantes usados son dispuestos de forma inadecuada, es decir una parte es usada en la refinería, también se utilizan como combustible para calderas y hornos, otras raciones de los aceites usados son desechados en la alcantarilla, por lo tanto, va directo hacia los cuerpos de aguas superficiales o subterráneas, y gran parte de estos aceites son vertidos directamente sobre el suelo causando impacto negativo (Speight J., 2014).

Esta problemática se agudiza aún más, debido a que los talleres de mecánica automotriz prefieren usar productos nuevos, sin considerar la demanda de producción de residuos peligrosos, esto genera una mayor contaminación ambiental, ya que el 70% de los residuos de estos son desechados de manera inadecuada, afirma Días & Ramos, (2012).

En la actualidad en los talleres de mecánica automotriz en la ciudad de Juliaca, extraen los lubricantes de los vehículos u otro tipo de movilidad y estos son vertidos directamente al suelo, botaderos a cielo abierto, tachos comunes o al sistema de alcantarillado. Situación que no resulta la mejor opción para su disposición, ya que estos contaminan los suelos y por infiltración las aguas subterráneas y/o superficiales.

La biorremediación es más barata y ecológicamente amigable, dentro de las tecnologías de biorremediación recomendadas para nuestro país está el compostaje en biopilas, el cual se basa en la mezcla de suelo contaminado con materiales que mejoran

las características físicas y la adición de nutrimentos para favorecer la acción degradadora de los microorganismos nativos (Ma et al., 2015) o introducidos (Fan et al., 2014).

El presente trabajo de investigación tiene como propósito dar una alternativa de biorremediación a suelos contaminados con aceites cíclicos usando enmiendas orgánicas como el lombricompost, compost y abono verde.

## **2. Justificación**

El presente trabajo de investigación pretende dar una alternativa de solución al vertimiento de aceites lubricantes por parte de talleres de mecánica automotriz, que en su mayoría son informales; un método de solución a los suelos contaminados de este tipo, es la biorremediación de suelos con el uso de enmiendas orgánicas como el compost, lombricompost y abono verde; ya que este tipo de biorremediación de suelos es de bajo costo y sostenible por su fácil elaboración.

Existen técnicas de biorremediación de suelos contaminados con compuestos orgánicos (incluidos PAH): bioestimulación y bioaumentación. La bioestimulación es la adición de sustratos, oxígeno, nutrientes al suelo; con la finalidad de favorecer la microbiología autóctona de suelo y su capacidad de degradar contaminantes orgánicos. La bioaumentación es el proceso que involucra la inoculación y colonización de microorganismos en el suelo, los cuales son capaces de degradar los contaminantes presentes en el suelo (García C. 2015).

La biorremediación de suelos puede realizarse in situ o ex situ, básicamente en esta técnica de tratamiento se basa en la utilización de organismos vivos para eliminar o inmovilizar los contaminantes del suelo. Para la eliminación de contaminantes orgánicos

se realiza por medio de la metabolización de los organismos como bacterias, hongos, algas, plantas (Haritash & Kaushik, 2009).

Para la biorremediación de PAH, la técnica in situ como la fitorremediación, compostaje y biopilas han sido las más utilizadas con el objetivo de aumentar la eficiencia (Gan et al., 2009). Una de las ventajas de la biorremediación de suelos contaminados con compuestos orgánicos PAH, es la ausencia de generación de residuos al final del proceso; aunque puedan producirse tóxicos durante el proceso (Andersson et al., 2003).

Por otro lado, una de las líneas de investigación es sobre la capacidad de regeneración de suelos frente a las actividades económicas; por lo que en la agenda de investigación ambiental para el 2021 busca el desarrollo y promover la investigación ambiental, con el propósito de que las investigaciones puedan alimentar el conocimiento ambiental que el Perú necesita, de tal modo coadyuvar en la prevención y resolución de problemas ambientales (MINAM, 2013).

En este trabajo se elaboró enmiendas orgánicas utilizando el compost hecho por residuos orgánicos, en el lombricompost se utilizó lombrices rojas californianas de tierra y como abono verde se usó el ray-grass.

Según Labrador (2001), afirma que una de las ventajas del compostaje de estiércol permite la reutilización de residuos con la disminución de olores desagradables, mejora las condiciones ambientales, tiene un muy buen aporte de nutrientes al suelo. En cuanto al vermicompostaje éste logra transformar los desechos orgánicos en compuestos estables, en este compostaje la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) tiene las mejores características de adaptación y producción (Santamaria R. et al. 2001).

Finalmente, se verá la efectividad de cada uno de los tratamientos, y se determinará el mejor tratamiento, a su vez los resultados que se obtendrán reafirmará su efectividad con los trabajos ya realizados. Todo el trabajo realizado será de beneficio para la población, para su información sobre una alternativa de solución hacia un problema ambiental, además servirá de antecedente para futuras investigaciones a realizar sobre este tema.

### **3. Presuposición filosófica**

El presente estudio pretende recuperar uno de los recursos fundamentales para la existencia del hombre, el suelo siendo la fuente principal de alimento y de diversas actividades; esto con la finalidad de disfrutar de una mejor calidad de vida para las personas y por ello tenemos la responsabilidad de preservar este recurso renovable.

Por otro lado, desde el punto de vista cristiano; Dios en su infinita sabiduría nos dejó alternativas de solución para poder recuperar lo que se está alterando y deteriorando.

Génesis 3:23 Entonces Dios el Señor expulsó al ser humano del jardín del Edén, para que trabajara la tierra de la cual había sido hecho. Después de que el hombre fuera expulsado del Edén, este tuvo que aprender a labrar la tierra y probablemente hayan desarrollado tecnologías para su recuperación.

Génesis 4:12 Cuando cultives la tierra, no te dará sus frutos, y en el mundo serás un fugitivo errante.

Apocalipsis 11:18 predice que “causará la ruina de los que están arruinando la tierra”. Por lo tanto, no debemos ser indiferentes a la precaria situación del planeta.

### **4. Objetivos**

#### **4.1. Objetivo general**

1. Evaluar la efectividad de los bioestimuladores compost, lombricompost y abono verde en la biorremediación de suelo contaminado con aceite automotriz de talleres de mantenimiento

#### **4.2. Objetivos específicos**

1. Caracterizar el suelo contaminado con aceite automotriz
2. Determinar las propiedades físicas (pH, CE, CC, H° y T°) del suelo contaminado con aceite residual de los tratamientos con compost, lombricompost y abono verde.
3. Determinar la remoción de hidrocarburos existente en el suelo contaminado con aceite automotriz de talleres de mantenimiento.

## **CAPITULO II REVISION DE LITERATURA**

### **2. Antecedentes de la investigación**

#### **2.1. Antecedentes internacionales**

Se han realizado trabajos de investigación en biorremediación de suelos contaminados por aceite residual automotriz por bioestimulación de lombricompost, en el cual usando un 3% redujo el ARA mejor que los otros tratamientos. En otra investigación con el tema “Biorremediación de suelo contaminado con aceite residual automotriz por bioestimulación con un extracto fúngico y abono verde”, donde los tratamientos en el suelo con ARA la combinación de EFC y AV mineralizaron el suelo y aceleró su depuración; trabajos realizados en la universidad de Michoacana de San Nicolás de Hidalgo – México. Por otro lado, en la investigación titulada “Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos aromáticos aplicaciones, policíclicos, petróleo, pesticidas, clorofenoles y metales pesados mediante compostaje: microbios y necesidades futuras de investigación”, determinaron que la mejor opción para recuperación de suelos es el uso de compost, esta investigación fue realizada en College of Environmental Science and Engineering, Hunan University, Changsha. China.

Juares-Cisneros G. & Sanchez-Yañez J. (2014) realizaron el estudio “Biorremediación de suelo contaminado con aceite residual automotriz por

bioestimulación con lombricompost y fitorremediación con *Sorghum vulgare* inoculado con *Bacillus cereus* y *Rhizobium etli*” teniendo como objetivos: Bioestimular (BS) un suelo contaminado con 10000 ppm de ARA, con lombricomposta (LC) al 3 % y 6 %; y la fitorremediación (FR) de ese suelo para eliminar el ARA remanente con *Sorghum vulgare* inoculado con *Bacillus cereus* y/o *Rhizobium etli*, durante 60 días. Los resultados mostraron que en suelo solo bioestimulado con LC al 3 % el ARA se redujo a 8630 ppm. Acorde con el ANOVA Tukey ( $p > 0.05$ ), apoya a la integración de la biorremediación del suelo contaminado con ARA por bioestimulación y su fitorremediación con *S. vulgre* y BPCV como forma rápida y mejor que la acción individual.

Juárez-Cisneros G., Dasgupta N. Marquez-Benavidesy L. & Sánchez-Yáñez J. (2014), realizaron la investigación “Biorremediación de suelo contaminado con aceite residual automotriz por bioestimulación con un extracto fúngico y abono verde” aplicó bioestimulación (BS con un extracto fúngico crudo (EFC) y BS con *Cicer arietinum* como abono verde (AV). Teniendo como objetivo analizar la biorremediación de suelo contaminado con 34500,65418 y 89930 ppm de ARA en 60 días. Las variables respuesta en el suelo fueron: cuantificación inicial y final de ARA y producción de  $CO_2$ . Los resultados mostraron que el suelo con 34500 de ARA su BS con el EFC solo con AV generaron la mayor producción de  $CO_2$ . En el suelo con 65418 ppm de ARA también se observó que el bioestimulador con AV-EFC alcanzó 1.73 mg de  $CO_2$ , y en el suelo contaminado con 89830 ppm de ARA al bioestimularlo se obtuvo 3,144mg de  $CO_2$ , en ambos casos con diferencia estadística significativa al suelo sin biorremediar. En el suelo con ARA la combinación de EFC y AV mineralizaron el suelo y aceleró su depuración.

Chen M. Xu P., Yang Ch., Huang D. & Zhang J. (2015), realizaron la investigación “Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos aromáticos policíclicos, petróleo, pesticidas, clorofenoles y metales pesados mediante compostaje: aplicaciones, microbios y necesidades futuras de investigación”, mencionan que la adición de compost puede aumentar simultáneamente el contenido de materia orgánica y fertilidad del suelo, además de la biorremediación, y se cree que es uno de los métodos más rentables para la remediación del suelo; así proporciona una visión crítica de los efectos de esta tecnología en aspectos microbianos en suelos contaminados.

Por otro lado, Barrera L., Velecela F. (2015) realizaron un “Diagnóstico de la contaminación ambiental causada por aceites usados provenientes del sector automotor y planeamiento de soluciones viables para el gobierno autónomo descentralizado del Cartón Azogues”, teniendo como objetivo lograr una reducción considerable de la contaminación causada por residuos peligrosos. Se realizaron encuestas a los talleres automotrices del Cárton Azogues, con el objetivo de actualizar los datos y conocer de cerca el manejo, almacenamiento y transporte que se le está dando a los aceites usados; propusieron un plan de gestión integral sustentable, que se le debería dar a los establecimientos automotrices en la ciudad de Azogues y a la Municipalidad, realizando seguimiento utilizando la guía, llevando un registro mensual de los aceites usados provenientes de los talleres y lubricadoras y así reducir a 23 % de la contaminación causada por estos residuos.

Barrios-Ziolo L., Robayo-Gómez J., Prieto-Cadavid S., & Cardona-Gallo S. (2015), realizaron el trabajo de investigación “Biorremediación de suelos contaminados con aceite usados de motor”, (40000mg/kg). Utilizaron la bioestimulación adicionando

nutrientes derivados de fertilizantes inorgánicos (Urea y Tripolifosfato de sodio). Utilizaron como tratamiento control una muestra de suelo previamente esterilizada adicionaron HCL y Benzoato de sodio como inhibidores de crecimiento microbiano. Se obtuvo la mayor eficiencia de remoción con 26.5 % en 12 semanas; seguido del tratamiento de atenuación natural y bioestimulación. El análisis de varianza indica que no existe diferencia significativa en el proceso de atenuación natural y bioestimulación considerando la eficiencia de remoción del aceite usado.

Anza H. G., Orantes P. D., González R., Ruíz A., Espinoza E., Martínez R I., García C. M., & Vera P., (2016) realizaron el trabajo “Biorremediación de suelos contaminados con aceite automotriz usados mediante sistema de biopilas”, emplearon cuatro muestras de suelo cada uno se caracterizó humedad, materia orgánica, textura, pH, temperatura, nitrógeno total y fósforo disponible. Se contaminaron en concentraciones: testigo 30,000 ppm, primer tratamiento 10,000 ppm, segundo tratamiento 30.000 ppm y tercer tratamiento 50,000 ppm de hidrocarburos totales de petróleo (HTP). Se logró la remoción de las fracciones alifáticas de 93.7 a 87.1 % y en la fracción aromática de 0 a 94.8 en 90 días de tratamiento, con aplicación de bacterias biorremediadoras e identificación de cepas bacterianas nativas del suelo que lograron resistir el cambio en su ambiente.

## **2.2. Antecedentes nacionales**

En el año 2012 en la pampilla, Lima se realizó un trabajo de sobre “Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante compost de aserrín y estiércoles” en el cual el compost de aserrín obtuvo un buen resultado disminuyendo un 9.6 % de hidrocarburos totales de petróleo esto en dos meses. En otra

investigación del año 2015 la “Biorremediación de suelos contaminados con aceite lubricante residual utilizando excretas de vacunos y porcinos”, el suelo fue contaminado tres veces más de lo permitido en el cual se determinó la excelente eficacia de las excretas porcinos por la actividad microbiana.

Buendía H. (2012), realizó el trabajo de “Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante compost de aserrín y estiércoles” se investigó para confirmar o rescatar la disminución de Hidrocarburos totales de petróleo de un suelo de la refinería La Pampilla, Callao; se aplicó el diseño experimental completamente al azar (DCA), con tres repeticiones y doce tratamientos total 36 macetas experimentales; como sustrato se empleó estiércol y aserrines; aplicados a la planta indicadora de maíz *Zea mays L.*; sembrados y controlados por dos meses. Los resultados del suelo contaminado por hidrocarburos, estiércol y aserrín disminuyeron 22.5 % el contenido de hidrocarburos; en el suelo empleado solo estiércol disminuyó 16.5 % y usando solamente aserrines disminuyó 9.6 %. El suelo mejor remediado fue el (T3) suelo contaminado más vacaza mas aserrín de bolaina, con una concentración inicial de hidrocarburos de 21.8 gr de TPH/kg, disminuyó en 16.28 gr de TPH/kg, que representa el 25 %. Siendo este tratamiento el más recomendable.

Cadillo J., Olascoaga J. & Juscamaita J. (2015) realizaron la investigación “Biorremediación de suelos contaminados con aceite lubricante residual utilizando excretas de vacunos y porcinos” teniendo como objetivo evaluar la acción degradante bacteriana y fúngica en un suelo contaminado con aceite lubricante residual adaptados y cultivados en laboratorio y se evaluó la capacidad degradante bacteriana en el mismo sustrato utilizando excretas de vacuno y porcino. Se realizaron ocho tratamientos con tres repeticiones por un tiempo de once meses. Se obtuvo la mayor biodegradación en el

tratamiento B, suelo contaminado con 15% + 5 % de excreta de porcino +5 % de inoculante microbiano. Considerando que se contaminó el suelo con el triple del nivel permisible, se demostró la eficacia del uso de excretas de vacuno y porcino en la biorremediación de suelos contaminados con aceite residual.

### **2.3. Antecedentes locales**

Se han realizado muy pocas investigaciones en nuestra provincia de San Román; una de ellas se realizó el 2014 en Puno, donde determinaron que a mayor contenido de aceite residual en el suelo reducen las características físicas del suelo (Huaquisto S. 2014).

Huaquisto S. (2014), realizó la investigación “Efecto del aceite residual de la maquinaria pesada en los factores físico mecánicos del suelo” teniendo como objetivo determinar el efecto que ocasiona el aceite residual de la maquinaria pesada en los factores físico mecánicos del suelo. Se procedió al mezclado de muestras de suelo con aceite residual, en proporciones de 0 %, 2 %, 4 %, 6 %, 8 % y 10 % en peso seco y sometido a ensayos de laboratorio; estableciendo primero las características iniciales que presenta los suelos; luego el efecto que produce el incremento del aceite residual en los factores físicos mecánicos del suelo. Se realizó la estadística correlacional usando el coeficiente de Pearson. Los resultados indican que hay una disminución desde el 0 % al 10 % de aceite, significa que a mayor contenido de aceite residual se reducen los valores de las características físico mecánicas del suelo; considerando adecuado su utilización en rango de 2 % al 4 % para estabilizaciones de suelos.

### **2.4. Revisión de la literatura**

#### **2.4.1. El aceite residual automotriz (ARA)**

Es una mezcla de moléculas insolubles de hidrocarburos (HC) alifáticas, aromáticas, policíclicas, halogenados y metales pesados que cuando contamina el suelo afecta negativamente su estructura, impide el intercambio gaseoso con la atmósfera, e inhibe la actividad de las poblaciones microbianas nativas, reduce su fertilidad y la cobertura vegetal (Benavides et al. 2006 & Delgadillo-López et al. 2011)

En consecuencia, el ARA se clasifica como un residuo peligroso de difícil mineralización (Osadolor & Seghosime (2003)). En suelo una alternativa para eliminar el ARA es aplicar la biorremediación integral por bioestimulación (BS) y en sucesión para el ARA remanente la fitorremediación (FR) con bacterias promotoras de crecimiento vegetal (BPCV) para finalizar su depuración. En suelo impactado con ARA su BS con lombricomposta (LC) incorpora minerales esenciales para inducir a su microbiota aerobia heterotrófica nativa a mineralizar la parte alifática, y simultáneamente enmendar el desequilibrio nutricional para un crecimiento vegetal sano (Maldonado-Chávez et al. 2010).

#### **2.4.2. Efectos de los aceites en el medio ambiente**

Las principales consecuencias ambientales que se presentan después del derrame de hidrocarburos son: la reducción o desaparición del desarrollo de la cobertura vegetal, cambios en la dinámica de la fauna y la biota microbiana; además del impacto ambiental negativo hacia los cuerpos de agua subterráneos por infiltración de hidrocarburos (Pardo, 2004).

Cuando un suelo es contaminado por hidrocarburos este depende según al volumen del derrame, la viscosidad del petróleo derramado, la temperatura prevaleciente

en el ambiente y por ende la composición del suelo. Los compuestos de alta viscosidad como el crudo pesado suelen desplazarse de forma horizontal una vez derramado en el suelo, en cambio los compuestos de baja viscosidad como la gasolina y los aceites penetran directamente y fácilmente en el suelo (Escalante, 2000).

Según Martínez (2001), la penetración de hidrocarburos al suelo produce un efecto de hidrofobicidad, es decir, cuando el hidrocarburo ingresa al suelo disminuye la tasa de infiltración. Estos se almacenan en los poros que se forman entre las partículas del suelo de tal modo que se produce la reducción en la disponibilidad de oxígeno y la permeabilidad. El mismo puede reportar cambios radicales en la textura del suelo, es decir, de un suelo arcilloso a un migajón arcilloso; esto se debe principalmente a la presencia de material patogénico recalcitrante, el cual representa un riesgo ecotóxico.

#### **2.4.3. Composición de los aceites usados**

El aceite usado que procede de vehículos y maquinarias es considerado un residuo peligroso por ende más contaminante para el medio ambiente y la salud de los seres humanos. Según Pariona, Pichuca & Masías, (2017) durante la utilización de los lubricantes, estos se degradan originando sustancias tóxicas y metales pesados que se producen por la exposición a altas temperaturas y presión en los motores. Así mismo cuando el aceite es usado emite gases tóxicos como plomo, cloro, fosforo, azufre.

#### **2.4.4. Suelo**

En los ecosistemas terrestres, el medio físico que sustenta la vida de flora y fauna es el suelo. Un elemento primordial en suelo es la materia orgánica e inorgánica los cuales permiten la coexistencia de una gran cantidad de microorganismos de tal modo que estos se adaptan a sus condiciones y/o características físicas y químicas incluyendo su

variabilidad. Los microorganismos tienen una función importante en el suelo por que tienen la finalidad de descomponer sustancias orgánicas, así metabolizan junto con los nutrientes propios del suelo (Benavides, 2004).

#### **2.4.5. Remediación de suelos**

Existen diversas tecnologías de remediación de suelos contaminados y de acuerdo a Volke & Velasco (2002) se pueden dividir en tres categorías: 1) fisicoquímicos (lavado de suelos, electroremediación, etc.), 2) térmicos (vitrificación, incineración, etc.) y 3) biológicos (fitorremediación, bioestimulación, biorremediación, biolabranza, etc.). La biorremediación una tecnología sostenible en la que organismos y/o especies autóctonos del sitio pueden emplearse para realizar in situ o ex situ, en diferentes condiciones.

#### **2.4.6. Compost**

El compost es el resultado de la degradación de residuos orgánicos por la acción de los microorganismos, los cuales alteran la estructura molecular de los compuestos orgánicos. Un criterio importante es el tiempo de descomposición, esto indicaría el grado de madurez al realizar la biotransformación o degradación parcial (Puerta, 2004).

Por otro lado, Averdeño, (2003) menciona que, durante el proceso de biodegradación la materia orgánica es transformada en un producto homogéneo conocido como "compost"; además el afirma que la calidad dependerá de la técnica de compostaje, tipo de materia orgánica usada y el tiempo de duración del proceso.

Moreno, (2008) indica que el compostaje es un ecosistema en el que diversas poblaciones microbianas como bacterias, hongos y actinomicetos degradan la materia orgánica y para esto es muy importante mantener una adecuada aireación y temperatura en la compostera.

#### **2.4.7. Características del compost**

Según Uribe, (2003) la calidad del compost final depende de varios parámetros que interactúan durante los procesos de biotransformación. Estos parámetros son: temperatura, humedad, relación Carbono Nitrógeno, presencia de oxígeno, pH, etc.

La University of Wisconsin, afirma que los parámetros de calidad del compost son: pH, sales solubles, nutrientes totales (N, P, K, Mg, Ca), humedad, materia orgánica, metales pesados, tamaño de partículas (Cooperband, 2001).

#### **2.4.8. Lombricompost**

A su vez López, (2006) afirma que existen más de 8000 especies de lombrices, la más conocida es la lombriz de tierra; estas lombrices se alimentan de materia orgánica semi descompuesta, respiran a través de la piel, tienen 3 pares de riñones, además de 5 corazones y una boca sin dientes, no resisten a la luz solar o rayos ultravioletas, son hermafroditas, generan entre 1 a 21 lombrices nuevas después de 14 a 21 días de incubación.

Barquero, (2001) menciona que el vermicompost es una actividad únicamente centrada en la crianza de lombrices con diferentes objetivos, como la producción de abono orgánico; de tal manera que las lombrices transforman desechos indeseables en el mejor fertilizante.

Según López, (2006) la producción del lombricompost es el tratamiento de los desechos orgánicos utilizando la lombriz de tierra, de tal forma que es capaz de transformar elementos orgánicos, ya que mejoran la aireación del suelo y aumentan cantidad de bacterias benéficas y por ende permite que los suelos se tornen más productivos.

#### 2.4.9. Características del lombricompost

Lombriz *Eisenia foetida* llamada también lombriz californiana, es la especie más utilizada para la producción de lombricompost. Esta especie puede criarse en cautiverio, una sola lombriz puede generar hasta 1500 lombrices al año lo cual indica que tiene una alta capacidad de reproducción, viven en altas densidades de población como 60000 lombrices por m<sup>2</sup>. Mide entre 6 a 8 cm, una lombriz adulta come 1gr. de materia orgánica por día, de tal modo que 40% es asimilado y el 60% es excretado en humus, por lo que podría deducir que en un m<sup>2</sup> es capaz de producir más de dos toneladas de humus al año (Aguilar, 2002).

#### 2.4.10. Composición del lombricompost

Tabla 1: Composición del lombricompost

ELEMENTO	COMPOSICIÓN
Nitrógeno total %	2.86
Humedad %	5.19
P (%)	0.14
K (%)	0.76
Ca (%)	1.62
Na (%)	0.15
Mg (%)	0.281

Fuente: López, 2006 composición química del abono producido por las lombrices

#### 2.4.11. Abono verde

Abono verde es el uso de determinadas plantas, generalmente endémicas, de rápido crecimiento y adecuación fácil; estas con el fin de mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo. Estos abonos verdes se usan para sustituir un abono mineral. Sobre los beneficios físicos los abonos verdes mejoran la estructura de los suelos dejando un suelo aireado, ligero, menos compactado, pobres y otros, de tal modo que

mejoran la circulación del aire y el agua además de proteger al suelo de la erosión y la desecación (Guanche, 2012).

Por otro lado, en beneficios químicos, los abonos verdes se descomponen y se inicia el proceso de humificación de tal modo que llegan a las dos formas de humus activo que es absorbido por las plantas o estable que son la reserva nutriente del suelo. En cuanto a los beneficios biológicos la materia orgánica del suelo junto con los factores de temperatura y humedad condicionan la actividad de macro y micro nutrientes en el suelo. Además, que los microorganismos producen sustancias químicas como: auxinas, aminoácidos, enzimas, vitaminas, etc.; los cuales estimulan el crecimiento de las plantas (Guanche, 2012).

#### **2.4.12. Ray-grass**

El ray-grass es una gramínea de crecimiento erecto e inflorescencia en espiga solitaria. No es pubescente y puede ser utilizado para pastoreo o como pasto de corte. Sus requerimientos son altos pero su calidad es muy buena. Es un cultivo anual que requiere fertilización y riego, el ray-grass perdura tres o cuatro años a pesar de requerir frecuentes siegas que debilitan las plantas, por lo que caracteriza por su rápida germinación, es decir, a los 5-7 días después de sembrar ya está la hierba fuera y se ve todo verde; tiene una alta resistencia al pisoteo, crece en todo tipo de suelos, mejor en terrenos húmedos y fértiles, pero tolera los suelos pesados (Gélvez L. 2019).

*Tabla 2: Características de ray-grass*

Nombre común	Ray-grass
Nombre científico	<i>Lolium multiflorum - Lolium perenne</i>
Otros nombres	Ballico, raigrás, perenne, centeno italiano.
Consumo	Pastoreo principalmente pero también como pasto de corte.
Clima favorable	Frío.

Tipo de suelo	Suelos de mediana a alta fertilidad, francos o francoarcillosos. Entre 2.000 y 3.000 m.s.n.m.
Tipo de siembra	Por semilla, 20 kg de semilla por hectárea aproximadamente.
Plagas y enfermedades	Cuando se encuentra por debajo de 1.500 m.s.n.m. es atacado por la roya ( <i>Puccinia graminis</i> ). En algunos casos presencia de áfidos y gusanos.
Toxicidad	Puede producir hematuria por exceso de proteína en el ganado y alargamiento del intervalo entre partos.
Tolera	Heladas,
No tolera	Sobrepastoreo, suelos ácidos.
Asociaciones	Por sus altos requerimientos de nitrógeno es muy difícil de asociar con leguminosas, ya que la fertilización puede ocasionar ruptura de los nódulos nitrificantes de las mismas.

Fuente: Ray Grass - *Lolium multiflorum* - *Lolium perenne*. Gélvez L. 2019

#### 2.4.13. Hidrocarburos

Los hidrocarburos son compuestos orgánicos los cuales están formados por átomos de carbono e hidrógeno, también son compuestos básicos de la química orgánica por lo que sus cadenas de átomos de carbono pueden ser lineales, ramificadas, abiertas y cerradas así lo afirma Espinoza, (2011).

Por otro lado, Escalante (2000); menciona que el petróleo crudo siendo un hidrocarburo se puede dividir en cuatro grupos según sus productos refinados: a) hidrocarburos alifáticos, b) hidrocarburos cíclicos, c) hidrocarburos aromáticos y d) compuestos orgánicos polares.

Para la biodegradación de hidrocarburos en los suelos existen diversos criterios a considerar, uno de ellos es la temperatura; esta tiene una gran influencia en la biodegradación por su efecto sobre la interacción suelo y contaminante; es decir, cuando la temperatura es baja, la viscosidad del petróleo aumenta lo cual varía la solubilidad en

agua y disminuye la volatilización. En cambio, con temperaturas muy altas, se incrementa la toxicidad de los hidrocarburos inhibiendo la actividad microbiana (Wentz, 1995).

#### **2.4.14. Suelo contaminado con hidrocarburos**

Las principales consecuencias ambientales que se presentan después del derrame de hidrocarburos son: la reducción o desaparición del desarrollo de la cobertura vegetal, cambios en la dinámica de la fauna y la biota microbiana; además del impacto ambiental negativo hacia los cuerpos de agua subterráneos por infiltración de hidrocarburos (Pardo, 2004).

Cuando un suelo es contaminado por hidrocarburos este depende según al volumen del derrame, la viscosidad del petróleo derramado, la temperatura prevaleciente en el ambiente y por ende la composición del suelo. Los compuestos de alta viscosidad como el crudo pesado suelen desplazarse de forma horizontal una vez derramado en el suelo, en cambio los compuestos de baja viscosidad como la gasolina y los aceites penetran directamente y fácilmente en el suelo (Escalante, 2000).

Según Martínez (2001) la penetración de hidrocarburos al suelo produce un efecto de hidrofobicidad, es decir, cuando el hidrocarburo ingresa al suelo disminuye la tasa de infiltración. Estos se almacenan en los poros que se forman entre las partículas del suelo de tal modo que se produce la reducción en la disponibilidad de oxígeno y la permeabilidad. El mismo autor señala que puede reportar cambios radicales en la textura del suelo, es decir, de un suelo arcilloso a un migajón arcilloso; esto se debe principalmente a la presencia de material patogénico recalcitrante, el cual representa un riesgo ecotóxico.

## **2.5. Marco conceptual**

### **2.5.1. Residuos sólidos**

Son residuos sólidos aquellas sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólido de los que su generador dispone, o está obligado a disponer, en virtud de lo establecido en la normatividad nacional o de los riesgos que causan a la salud y el ambiente. Esta definición incluye a los residuos generados por eventos naturales. En otras palabras, residuos sólidos son todas aquellas sustancias o productos que ya no necesitamos pero que algunas veces pueden ser aprovechados (MINAM, 2016).

### **2.5.2. Residuos peligrosos**

Son residuos sólidos peligrosos aquellos que por sus características o el manejo al que son o van a ser sometidos, representan un riesgo significativo para la salud o el ambiente. Los residuos sólidos peligrosos son aquellos residuos que por sus características o el manejo al que son sometidos representan un riesgo significativo para la salud de las personas o el ambiente. De conformidad con la Ley N° 27314 - Ley General de Residuos Sólidos, se consideran peligrosos los que presenten por lo menos una de las siguientes características: autocombustibilidad, explosividad, corrosividad, reactividad, toxicidad, radiactividad o patogenicidad (OEFA, 2013).

### **2.5.3. Bioestimulador**

Jardin, (2017); menciona que “Un bioestimulante es cualquier sustancia o microorganismo que, al aplicarse a las plantas, es capaz de mejorar la eficacia de éstas en la absorción y asimilación de nutrientes, tolerancia a estrés biótico o abiótico o mejorar alguna de sus características agronómicas, independientemente del contenido en

nutrientes de la sustancia”. Por extensión, también se considera como un bioestimulante vegetal a los productos comerciales que contienen mezclas de estas sustancias o microorganismos.

#### **2.5.4. Biorremediación**

La biorremediación involucra el uso de microorganismos para degradar los contaminantes y por ende detoxificar los ambientes. La efectividad de esta tecnología se puede evaluar mediante la desaparición del contaminante, sin embargo, este enfoque no es completo porque no se considera que los productos finales o intermediarios producidos durante la reacción de degradación puedan ser tóxicos (Ganey y Boyd, 2004).

Por otro lado, Weijs et al. (2013), hace énfasis sobre la biorremediación mencionando que, un remediador es utilizado para eliminar pesticidas; además que la adición de nutrientes al suelo sub superficial, podría incrementar el número de bacterias que degradan los hidrocarburos derivados del petróleo y de tal modo estimular la tasa de remoción, lo cual dio origen al proceso que ahora es conocido como biorremediación estimulada in situ. En tal caso, esta estrategia incluye la adición de aceptores de electrones como oxígeno en forma de nitratos y fosfatos o fuentes de nitrógeno Litchfield, (2005).

#### **2.5.6. Biopilas**

Las biopilas son biorremediación ex situ, consiste en la reducción de contaminantes derivados del petróleo. La elección de biopilas depende de condiciones climáticas y estructura de compuestos orgánicos volátiles del suelo, las biopilas se diseñan en sistemas cerrados para mantener la temperatura, evitando la saturación de agua de lluvias, disminuir la evaporación de agua (Velasco, 2002).

### **2.5.7. Contaminantes**

Sustancias sólidas, líquidas o gaseosas que al incorporarse al cuerpo receptor o al actuar sobre él, degradan o alteran su calidad anterior a dicha acción, en niveles no adecuados para la salud y el bienestar humano; y/o que ponen en peligro los ecosistemas naturales o las actividades y recursos de interés humano (MINAM, 2009).

### **2.5.8. Parámetro**

Cualquier elemento o sustancia química del suelo que define su calidad y que se encuentra regulado por el Decreto Supremo (D.S. N° 002-2013-MINAM).

### **2.5.9. Remediación**

Tarea o conjunto de tareas a desarrollarse en un sitio contaminado con la finalidad de eliminar o reducir contaminantes, a fin de asegurar la protección de la salud humana y la integridad de los ecosistemas (D.S. N° 002-2013-MINAM).

### **2.5.10. Suelo agrícola**

Suelo dedicado a la producción de cultivos, forrajes y pastos cultivados. Es también aquel suelo con aptitud para el crecimiento de cultivos y el desarrollo de la ganadería. Esto incluye tierras clasificadas como agrícolas, que mantienen un hábitat para especies permanentes y transitorias, además de flora y fauna nativa, como es el caso de las áreas naturales protegidas (D.S. N° 002-2013-MINAM).

### **2.5.11. Suelo residencial/parques**

Suelo ocupado por la población para construir sus viviendas: incluyendo áreas verdes y espacios destinados a actividades de recreación y de esparcimiento (D.S. N° 002-2013-MINAM).

### **2.5.12. Permeabilidad**

Facilidad con que el agua puede fluir a través de los poros y discontinuidades de un suelo o macizo rocoso (Norma estabilización de suelos y talues C.E. 020. 2017).

## **2.6. Parámetros de análisis**

### **2.6.1. Conductividad eléctrica (C.E.)**

Canihua y Salcedo (2016) mencionan “Es la cantidad de sales contenidas en la solución del suelo se mide por la conductividad eléctrica. El sodio, que causa la dispersión de las arcillas se valora en porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI)”, en base a estos parámetros los suelos se clasifican en:

- Suelos salinos CE es  $>4$  dS/m
- Suelos sódicos CE es  $>4$  dS/m y PSI  $>15\%$
- Suelos salinos – sódicos  $> 4$  dS/m y PSI  $>15\%$

### **2.6.2. Textura**

La textura se refiere a la finura o grosor del suelo, que determina la proporción relativa de las partículas del suelo de diferentes tamaños. Tiene un efecto muy significativo en el manejo de suelos. La textura influye decisivamente en el comportamiento del suelo respecto a su capacidad de retención de agua y nutrientes, permeabilidad, su capacidad de descomponer la materia orgánica. Es decir, suelos

arenosos tienen poros grandes están bien aireados, son permeables. En cambio, los suelos arcillosos son más compactos, menos permeables (Canihua y Salcedo 2016).

### **2.6.3. Temperatura**

Este parámetro, condiciona los procesos microbianos que tienen lugar en el suelo también influye en la absorción de los nutrientes, temperaturas menores a 8°C y mayores a 40°C afectan la disponibilidad de los nutrientes en forma negativa esto incluyendo la interacción suelo microorganismos (Canihua y Salcedo 2016).

### **2.6.4. Capacidad de campo**

Es la capacidad de retención de agua en el suelo; se dice capacidad de campo CC, cuando buena parte del agua retenida a la CC puede ser utilizada por las plantas, pero a medida que el agua disminuye se llega a un punto que la planta no puede absorberla. Los valores de CC se pueden expresar en porcentajes de peso suelo seco, es decir una CC del 27% significa que 100g de tierra seca retienen 27g de agua (Canihua y Salcedo, 2016).

### **2.6.5. Potencial de hidrógeno pH**

Canihua y Salcedo (2016), afirman que el manejo de la acidez del suelo es esencial porque afecta directamente la disponibilidad de nutrientes, salud de las plantas y la actividad microbiana. El pH es la medida de acidez o alcalinidad en el suelo; el pH se mide en una escala de 0 al 14 y se clasifican en:

- Suelos ácidos: pH inferior a 6,5
- Suelos neutros: pH entre 6,6 y 7,5
- Suelos básicos: pH superior a 7,5

### **2.6.6. Humedad**

Escorrentía y humedad del suelo se presentan como elementos dependientes en los procesos hidrológicos, siendo ésta última un factor de considerable influencia en la economía hídrica de las plantas (Bucci et al. 2009).

Loussert, (1992), define como el balance de flujos entre suelo, planta y atmosfera; es decir, la vegetación natural y los cultivos dependen del balance existente entre el agua y la capacidad de absorción del suelo además de la transpiración. En un balance adecuado de agua y suelo se obtiene óptimos resultados de desarrollo de lo contrario un exceso de transpiración respecto a la absorción genera consecuencias negativas para el balance por ende al crecimiento y producción de cultivos (Agustí, 2012).

### **2.7. Marco legal**

Ley N° 28611 - Ley General del Ambiente, define el entorno o ambiente como un conjunto de elementos físicos, químicos y biológicos de origen natural o antropogénico, que en forma individual o asociada conforman el medio en la que se desarrolla la vida, siendo los factores que aseguran la salud individual y colectiva de las personas, así como de la conservación de los recursos naturales, la diversidad biológica y el patrimonio cultural asociado a ellos, entre otros. Asimismo, el Artículo 59° Numeral 1) del mismo cuerpo legal, en lo referente al Ejercicio Descentralizado de las Funciones Ambientales, señala: “Los gobiernos regionales y locales ejercen sus funciones y atribuciones de conformidad con los que establecen sus respectivas leyes orgánicas y lo dispuesto en la presente Ley.

El D. L. 1278 - Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, que regula la gestión de residuos en el Perú. Si bien esta norma es aplicable en general a los residuos de carácter “sólidos”, su aplicación también se extiende a los residuos “semi-sólidos. Que, la prevención y control de la contaminación de los cuerpos receptores de agua y del uso del suelo requieren regulaciones específicas; de conformidad con lo establecido en el Inciso 3.4 del Artículo 80° de la Ley N° 27972 - Ley Orgánica de Municipalidades, son funciones específicas exclusivas de las municipalidades distritales, en materia de saneamiento, salubridad y salud: “Fiscalizar y realizar labores de control respecto de la emisión de humos, gases, ruidos y demás elementos contaminantes de la atmósfera y el ambiente.

Norma Técnica Peruana NTP N° 900.050:2001 “Gestión Ambiental/ Manejo de Aceites Usados/Generalidades”; el concepto de aceite usado es el siguiente: “Todo aceite con base mineral o sintética que debido a su uso se encuentre contaminado con impurezas físicas o químicas y no puede ser utilizado para el fin con el que fue producido inicialmente”

Norma Técnica Peruana NTP N° 900.052:2002 se instituye los procedimientos para el Manejo de Aceites usados; asimismo, mediante la Norma Técnica Peruana NTP N° 900.051:2001 se establecen las formas Manejo de Aceites usados para la etapa de recolección y almacenamiento. El aceite usado, de origen mineral o sintético, tiene entre sus componentes diversos elementos contaminantes como el aluminio, plomo, cadmio, fósforo y azufre, que originalmente ayudan al aceite en su estabilidad, resistencia a la temperatura, durabilidad y otras características típicas de los aceites lubricantes, dieléctricos e hidráulicos. También, es importante señalar que el aceite usado presenta una serie de sedimentos procedentes del desgaste de las partes móviles del motor y

partículas derivadas de combustibles, las mismas que acentúan la peligrosidad de este residuo.

Informe N° 74-2016-GSCGA-GM-MC de fecha 05 de Mayo del 2016, distrito de Comas –Lima; la Gerencia de Servicios a la Ciudad y Gestión Ambiental comunica la necesidad de normar el manejo ambiental de los aceites y lubricantes en el distrito, en razón de que son residuos que se generan en las diversas actividades, ya sea de servicios, de producción del sector comercial y en la preparación de alimentos en el ámbito doméstico, los mismos que generan impactos negativos contaminando el suelo, aire y el agua, por su inadecuada disposición, generalmente a los desagües que terminan contaminando nuestro litoral con graves consecuencias en el ecosistema marino.

## **CAPITULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Lugar de ejecución**

La investigación se ejecutó en el invernadero del campus de la Universidad Peruana Unión altura del Km 7 de la carretera salida Arequipa - Juliaca, los análisis físicos se realizaron en el laboratorio de química de la E.P. de Ingeniería Ambiental de la Universidad Peruana Unión- Juliaca, los análisis físicos con certificación se realizaron en el laboratorio RHLAB S.A.C., ubicado en la provincia de San Román - departamento de Puno, a su vez los análisis de hidrocarburos totales de petróleo se enviaron a la ciudad de Lima por contacto de RHLAB S.A.C. Juliaca.

##### **3.1.1. Ubicación política:**

- País: Perú
- Región: Puno
- Provincia: San Román
- Distrito: Juliaca

##### **3.1.2. Ubicación geográfica:**

- UTM (E): 372986
- UTM (N): 824278
- Altitud: 3824 m.s.n.m.



Figura 1: Ubicación geográfica de las zonas de investigación .Fuente Google Maps, 2019

### **3.2. Muestreo de suelos para realizar la contaminación:**

Para la toma de muestras simples, se optó por recolectar suelo del alrededor del invernadero, con la ayuda de una pala y romana para pesar 4 kg de suelo para cada tratamiento y sus repeticiones; insertándolos en bolsas de polipropileno.

Según los patrones de muestreo que indica la Guía de Muestreo de Suelos D.S. N° 002-2013- MINAM y ECA para suelos, el muestreo estadístico se usa para comprobar de manera homogénea la presencia o ausencia y distribución de contaminantes en el suelo. Para este muestreo de suelo se realizó de forma aleatoria, es decir, los puntos de muestro se eligieron al azar, en la que no sigue ninguna lógica y es irregular.

### **3.3. Metodología de elaboración de biopilas**

Para la construcción de las biopilas, se fabricaron nueve cajas de 25 cm ancho, 35 cm de largo y 15 cm de alto, éstas hechas de material triplay cortadas según las medidas requeridas para la base y laterales de la caja y para la unión de éstas se usó cintas de madera de 1 pulgada. Las cajas fueron diseñadas calculando la cantidad de suelo que sería necesaria para realizar el experimento (Roldan & Iturbe, 2005).

### 3.4. Preparación de tratamientos

El compost y el lombricompost fueron comprados del centro comercial PROMART- Juliaca, estas con las siguientes características:

Tabla 3: Características del compost.

<b>Compost</b>	
<b>Marca</b>	J. Bonanza
<b>Tipo</b>	Abono natural
<b>Observaciones</b>	Se puede mezclar con otros abonos y fertilizantes
<b>Composiciones</b>	Origen vegetal (residuos orgánicos)
<b>Rendimiento</b>	1m
<b>Características</b>	Abono 100% orgánico que contiene nutrientes necesarios para la fertilización de suelo
<b>Dosificación</b>	2kg/m para mantenimiento de jardines
<b>Relación C/N</b>	15:1

Fuente: Página web: Promart - [www.promart.pe](http://www.promart.pe)

Tabla 4: Características del lombricompost.

<b>Lombricompost</b>	
<b>Marca</b>	J. Bonanza
<b>Tipo</b>	Abono natural
<b>Observaciones</b>	Se puede mezclar con otros abonos y fertilizantes
<b>Composiciones</b>	Origen animal (humus de lombriz)
<b>Rendimiento</b>	1m
<b>Características</b>	Abono orgánico que contiene nutrientes necesarios para la fertilización de suelo y crecimiento de plantas
<b>Dosificación</b>	2kg/m para mantenimiento de jardines
<b>Relación C/N</b>	10:1

Fuente: Página web Promart- [www.promart.pe](http://www.promart.pe)

Se adquirió el abono verde de los restos de ray grass que se desechan de las áreas verdes de la UPeU, se procedió a realizar el secado del ray grass a temperatura ambiente,

posteriormente se demolió las masas grandes, de tal modo disminuir el volumen; se recolecto 3 kilos para el tratamiento y sus repeticiones.

### **3.5. Obtención del aceite lubricante residual**

Para la obtención del aceite lubricante residual, se recolecto del servicio técnico del centro automotriz Incamotors – Juliaca, en este caso se tomó 10 litros de aceite para realizar la contaminación del suelo.

### **3.6. Dosis de los tratamientos**

Para cada biopila, se pesó 4 kg de suelo se le introdujo en las bolsas de polipropileno éstas a su vez fueron instaladas en las nueve biopilas, luego se midió un 1L de aceite lubricante automotriz en la probeta de 1000 ml, posteriormente se mezcló el suelo con el aceite, homogenizando manualmente ambos.

Para cada tratamiento de compost y lombricompost se pesó 4 kg de suelo, se mezcló con 1 kg compost, haciendo un total de 5 kg, luego se homogenizo manualmente.

Para el tratamiento con abono verde, se pesó 1 kilo de ray grass para mezclar con el suelo, se disminuyó el volumen del ray grass (triturándolo) de tal modo homogenizar suelo y abono verde, haciendo un total de 5 kg.

### **3.7. Acondicionamiento de los tratamientos**

El experimento se instaló en el invernadero de la Universidad Peruana Unión, los tratamientos propiamente ya preparados; se puso como base bloquetas de concreto para

poder tener a nivel las biopilas y además crear una pendiente de 3 % para el escurrimiento de lixiviados (Roldan e Iturbe, 2005).

### **3.8. Materiales y equipos**

#### **3.8.1. Materiales de laboratorio**

- Probeta de 1000 ml
- Embudo
- Papel filtro
- Pipeta 10 ml
- Crisol
- Varilla
- Vaso precipitado
- Desecador de vidrio
- Pinzas

#### **3.8.2. Materiales de campo**

- Bolsas de polipropileno
- Guantes látex
- Pala grande
- Pala pequeña
- Cámara fotográfica
- Etiquetas

#### **3.8.3. Materiales de gabinete**

- Lápiz
- Lapicero

- Laptop
- Hoja de datos
- Calculadora
- Cuaderno de apuntes

#### **3.8.4. Reactivos**

- Agua destilada

#### **3.8.5. Equipos**

- Multiparametro WTW modelo MULTI3620IDS
- Cromatógrafo de columna
- Estufa marca Binder FD 23
- Balanza analítica marca Sartorius modelo ENTRIS64-1S, 60 x 0.0001 g

#### **3.8.6. Materiales de las biopilas**

- Madera triplay
- Cintas de madera
- Cola sintética
- Clavos de 2cm
- Cinta métrica

### 3.9. Metodologías de análisis

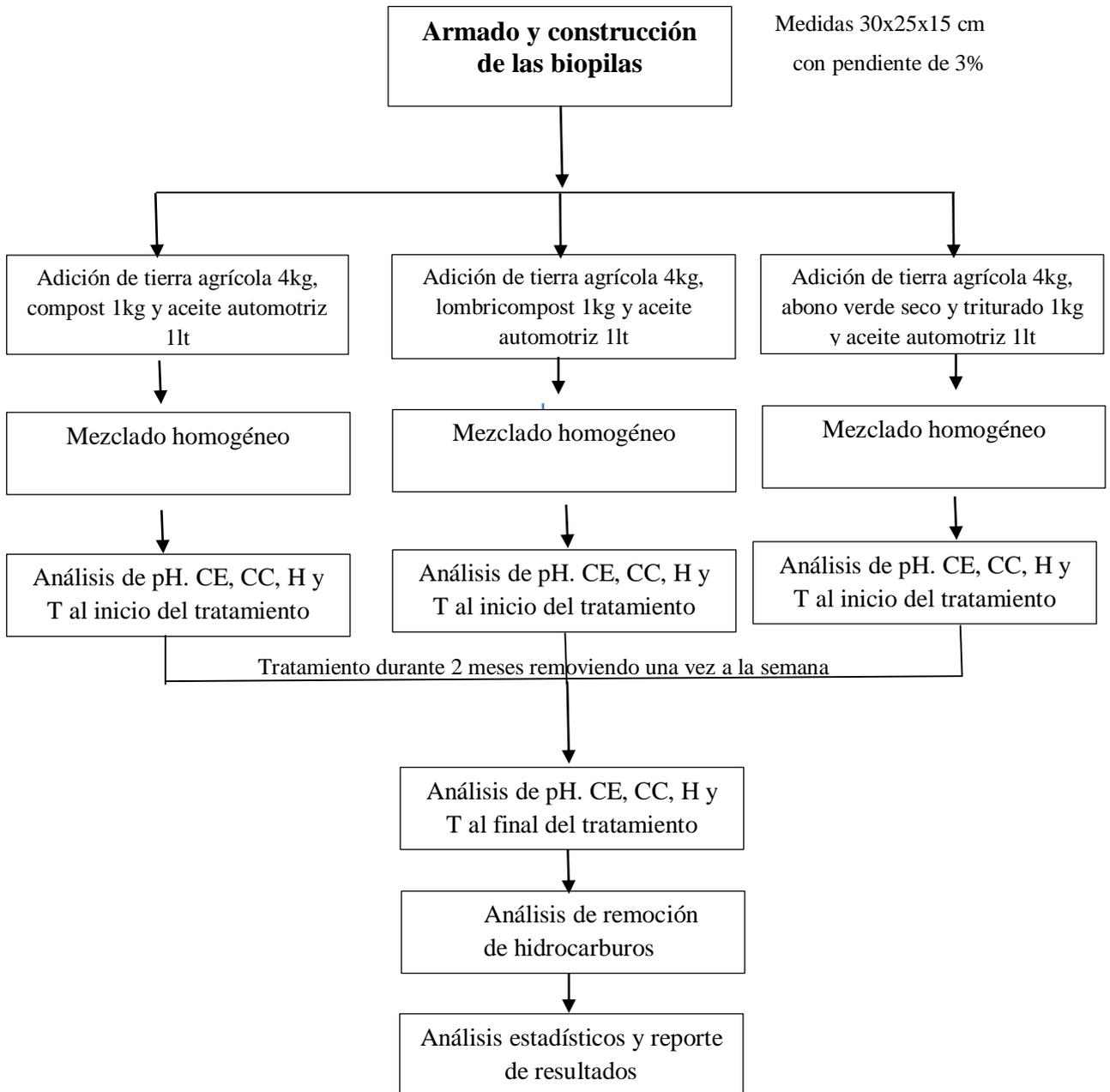


Figura 2 : Flujograma de metodología de análisis.  
Fuente: Elaboración propia

### 3.10. Tipo de investigación

La investigación es de tipo experimental puro.

### **3.11. Diseño de la investigación**

En el presente trabajo de investigación se aplicó el diseño completamente al azar DCA, se aplicó tres tratamientos con tres repeticiones. Tierra: Compost; tierra: Lombricompost; y tierra: abono verde (80 %: 20 %) respectivamente.

#### **3.11.1. Variables de estudios**

V1: El compost, lombricompost y abono verde como bioestimuladores de suelos contaminados con aceite automotriz.

V2: Biorremediador de suelo contaminado con aceite automotriz

#### **3.11.2. Diseño experimental**

##### **Diseño Completamente al Azar (DCA)**

Se trabajó en las mismas condiciones, en invernadero, durante dos meses a temperatura ambiente.

#### **3.11.3. Unidad experimental**

Medio sólido (suelo contaminado con aceite residual 1000 ml. en cada biopila) mezclado en relación de tierra: Compost; tierra: Lombricompost; y tierra: abono verde (80 %: 20 %) respectivamente.

Se realizó un diseño completamente al azar DCA con tres repeticiones obteniendo un total de 18 muestras, a estas se realizaron 5 análisis físicos: potencial de hidrógeno, conductividad eléctrica, capacidad de campo, humedad, temperatura.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la investigación son de análisis físicos y contenido de hidrocarburos de petróleo en el suelo de los tratamientos realizados.

#### 4.1. Resultados:

##### 4.1.1. Caracterización del suelo

*Tabla 5:* Resultados de análisis de las muestras suelo - aceite

Código	Potencial de Hidrogeno	Conductividad Eléctrica	Capacidad de Campo	Humedad	Temperatura
	pH	$\mu\text{S}/\text{cm}$	%	%	$^{\circ}\text{C}$
1 M-S-A	6.48	783.45	16.875	16.08	20.57

*Fuente:* Resultados obtenidos por el equipo Multiparámetro.

La tabla 5 muestra los resultados de caracterización de aceite automotriz, se obtuvo pH 6.48, conductividad eléctrica 783.45, Capacidad de campo 16.87, humedad 16.08 y temperatura 20.57. En cuanto al pH se observa que es ligeramente ácido esto afirma, Garrido (1994) y Andrades (2001) afirma que son suelos según la tabla N° 6 rango de suelos ácidos de 5.6 – 6.5.

En cuanto a la conductividad eléctrica es 783.45 es inferior a 800 por lo tanto se recomienda trabajar hasta con este límite de contaminación ya que según Garrido (1994), menciona que con mayor a 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , contienen otros tipos de sales que producen la conductividad y se recomienda realizar controles de suelos para bajar el nivel.

La capacidad de campo se encuentra dentro del rango de 12-20 que corresponde a media baja Garrido (1994), esto indica que tiene poca capacidad de retener el agua, esto es útil para calcular la dosis de riego en general.

Tabla 6: Porcentaje de pH en suelos

<b>pH</b>	<b>Clasificación</b>
<5,5	Muy ácido
5,6 – 6,5	Ácido
6,6 – 7,5	Neutro
7,6 – 8,5	Básico
>8,6	Alcalino

Fuente: Andrades M. (2001)

En la tabla 6, se muestra la clasificación de suelos según el pH, y la disponibilidad de los elementos en el suelo según sea el valor de este parámetro.

#### 4.1.2. Hidrocarburos totales de petróleo

Tipo de muestra: Aceite lubricante residual

Fracción de Hidrocarburo F3: C28 – C40, Derivados del petróleo y aceites derivados del petróleo

Tabla 7: Estándares de calidad Ambiental para suelo

<b>TIPO DE SUELO</b>	<b>CONCENTRACIÓN en mg/kg</b>		
	Suelo agrícola	Suelo residencial parques	Suelo comercial
Fracción F1 : C5- C10	200	200	500

Fracción F2 : C10- C28	1200	1200	5000
Fracción F3 : C28- C40	3000	3000	6000

Fuente: Estándares de calidad ambiental para suelo, D.S. 002-2013

*Tabla 8:* Resultados de análisis de concentración de hidrocarburos

TRATAMIENTOS	CONCENTRACIÓN	CONCENTRACIÓN
	MUESTRAS INICIALES	MUESTRAS FINALES
Compost	<1.5	<1.2
Lombricompost	<1.5	<1.2
Abono verde	<1.5	<1.1

Fuente: Resultados obtenidos por Espectrometría.

1. Los resultados obtenidos en el tratamiento de compost se observan que está bajo los estándares de calidad ambiental, ya que estos están representados en proporciones de LD 1.5, y el resultado es <1.2.
2. En el segundo tratamiento con lombricompost obtuvo una disminución similar al primer tratamiento de LD 1.5 se obtiene un resultado de <1.2, el cual representado en proporción LD hay significancia
3. En el tercer tratamiento con abono verde se obtuvo un resultado mucho menor que los tratamientos anteriores, es decir, menor a 1.1 la representación proporcional de LD 1.5; por lo tanto, indica que hay menor presencia de hidrocarburos.

#### **4.1.3. Porcentaje de eficiencia de remoción de hidrocarburos**

En la figura 3 el abono verde presenta mayor porcentaje de eficiencia de remoción de hidrocarburos.

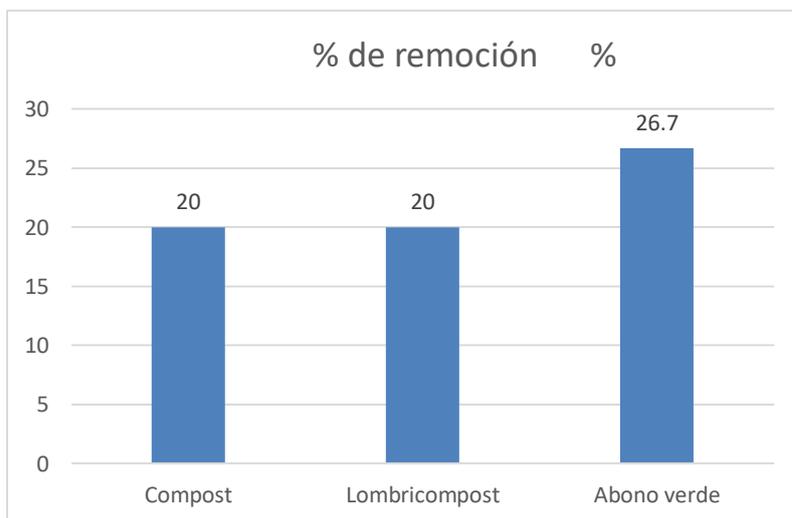
$$\text{Porcentaje de eficiencia} = \frac{R \text{ inicial} - R \text{ final}}{R \text{ inicial}} * 100$$

$$\text{Porcentaje de eficiencia Compost} = \frac{1.5 - 1.2}{1.5} * 100 = 20 \%$$

$$\text{Porcentaje de eficiencia Lombricompost} = \frac{1.5 - 1.2}{1.5} * 100 = 20 \%$$

$$\text{Porcentaje de eficiencia Abono verde} = \frac{1.5 - 1.1}{1.5} * 100 = 26.7 \%$$

#### PORCENTAJE DE EFICIENCIA



Fuente: Elaboración propia

Figura 3: Cuadro de barras de porcentaje de eficiencia

## 4.2. Supuestos

### 4.2.1. Prueba de normalidad

Tabla 9: Prueba de normalidad de los tratamientos con respecto a los parámetros de análisis realizados

Pruebas de normalidad							
	Tratam final	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
<b>pH</b>	LC	,175	3	.	1,000	3	1,000
	C	,216	3	.	,989	3	,797
	AV	,253	3	.	,964	3	,637
<b>CE</b>	LC	,309	3	.	,900	3	,387
	C	,207	3	.	,992	3	,832
	AV	,177	3	.	1,000	3	,969
<b>CC</b>	LC	,175	3	.	1,000	3	,994
	C	,176	3	.	1,000	3	,987
	AV	,204	3	.	,993	3	,843
<b>H</b>	LC	,380	3	.	,762	3	,027
	C	,191	3	.	,997	3	,898
	AV	,367	3	.	,794	3	,099
<b>T</b>	LC	,292	3	.	,923	3	,463
	C	,356	3	.	,818	3	,157
	AV	,253	3	.	,964	3	,637

Fuente: Elaboración propia

Para la prueba de normalidad de los tratamientos con respecto al pH, se opta por la prueba de Shapiro – Wilk, ya que con esta prueba determinamos si el conjunto de datos sigue una distribución normal o no, además que esta prueba es utilizada cuando la muestra es menor a 50 datos, lo menciona Chacon L. (2014). En este caso el grado de significancia de los tratamientos tiene una distribución normal; porque son mayores a 0.001.

#### 4.2.2. Prueba de homogeneidad de varianzas

Tabla 10: Prueba de homogeneidad de varianzas de los tratamientos con respecto a los parámetros de análisis realizados

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
<b>pH</b>	,007	2	6	,993
<b>CE</b>	3,829	2	6	,085
<b>CC</b>	,629	2	6	,565
<b>H</b>	7,090	2	6	,026
<b>T</b>	3,748	2	6	,088

Fuente: Elaboración propia

Para la prueba de homogeneidad de varianzas se usó el estadístico de Levene, el cual nos permite contrastar la hipótesis de igualdad de varianzas poblacionales (Portilla M. 2006). En este caso el grado de significancia de los resultados tiene una distribución normal; porque son mayores a 0.01; por lo tanto, aceptamos la igualdad de varianzas.

#### 4.3. Análisis de varianza

Tabla 11: Significancia de tratamientos con respecto al pH

ANOVA de TRATAMIENTOS						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>pH</b>	Inter-grupos	,854	2	,427	24,184	,001
	Intra-grupos	,106	6	,018		
	Total	,960	8			

Fuente: Elaboración propia

El análisis de varianza se realizó por el método de Anova, el cual trabaja con las hipótesis de la investigación, siempre se van a considerar varias fuentes de variación y si

se rechaza la hipótesis nula, la pregunta es ¿en qué grupo se dio la diferencia? (Chambilla J., 2014). Para este parámetro existe un grado de significancia, es decir hubo variabilidad de resultados con los tratamientos, entonces rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna.

*Tabla 12:* Significancia de tratamientos con respecto a CE.

		ANOVA de TRATAMIENTOS				
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>CE</b>	Inter-grupos	11736,889	2	5868,444	,365	,709
	Intra-grupos	96522,000	6	16087,000		
	Total	108258,89	8			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla, ANOVA de tratamientos se determinó que, en cuanto a conductividad eléctrica, no existe un grado de significancia, es decir no hubo variabilidad de resultados con los tratamientos, entonces aceptamos la hipótesis nula y concluimos que no hay suficiente evidencia estadística para inferir que la hipótesis nula es falsa (Chambilla J., 2014).

*Tabla 13:* Significancia de tratamientos con respecto a CC.

		ANOVA de TRATAMIENTOS				
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>CC</b>	Inter-grupos	,148	2	,074	,669	,547
	Intra-grupos	,664	6	,111		
	Total	,812	8			

Fuente: Elaboración propia

Por el método de Anova se determinó que en éste parámetro no existe diferencia estadística significativa, es decir no hubo variabilidad de resultados con los tratamientos, entonces aceptamos la hipótesis nula.

*Tabla 14:* Significancia de tratamientos con respecto humedad

		ANOVA de TRATAMIENTOS				
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>H</b>	Inter-grupos	9,827	2	4,914	7,11	,026
	Intra-grupos	4,145	6	,691	2	
	Total	13,973	8			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla ANOVA de tratamientos se determinó que en éste parámetro (humedad) no existe un grado de significancia, es decir no hubo variabilidad con los tratamientos, entonces aceptamos la hipótesis nula. Para Montoro D. (2017) en la prueba de ANOVA se dispone de diferentes elementos que se diferencian en un factor y dará a conocer si existe relación o no, en este caso sería parámetro humedad en los tres tratamientos.

*Tabla 15:* Significancia de tratamientos con respecto temperatura

		ANOVA de TRATAMIENTOS				
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>T</b>	Inter-grupos	36,949	2	18,474	97,806	0,000
	Intra-grupos	1,133	6	0,189		
	Total	38,082	8			

Fuente: Elaboración propia

El análisis de varianza se realizó por el método de Anova, en cuanto a temperatura existe significancia, es decir hubo variabilidad de resultados con los tratamientos,

entonces rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna ya que hay suficiente evidencia estadística para inferir que la hipótesis nula es falsa.

#### 4.4. Comparaciones:

Tabla 16: Comparación por tratamientos

		<b>Tratam</b>			
		<b>FINAL</b>	<b>N</b>	<b>Subconjunto para alfa = 0.01</b>	
				<b>1</b>	<b>2</b>
<b>HSD</b>	<b>de</b>	C	3	7,0367	
		AV	3	7,3767	7,3767
		LC	3		7,7900
		Sig.		0,046	0,021
<b>Tukey<sup>a</sup></b>		C	3	7,0367	
		AV	3	7,3767	
		LC	3		7,7900
		Sig.		0,020	1,000
<b>Duncan<sup>a</sup></b>		C	3	7,0367	
		AV	3	7,3767	
		LC	3		7,7900
		Sig.		0,020	1,000

Fuente: Elaboración propia

El análisis paramétrico se realiza para hacer comparaciones múltiples, en este caso cuál de los tratamientos fue el mejor; para esto se usó las pruebas de Tukey y Duncan. En relación AV – C, sus resultados de pH son similares, para AV- L, sus resultados son similares y/o iguales en cambio para la relación LC- C, existe diferencia en resultados. Esto se debe a que el lombricompost tiene la capacidad de restituir al suelo mejorando sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Castelo, 2016). En cambio, el compost tiene la capacidad de disminuir el volumen, la humedad, adiciona una estabilidad microbiana (Hernández, 2011).

Tabla 17: Comparaciones de temperatura

		Tratam	N	Subconjunto para alfa = 0.01		
		FINAL		1	2	3
<b>HSD</b>	<b>de</b>	AV	3	19,633		
		C	3		21,400	
		LC	3			24,533
		Sig.		1,000	1,000	1,000
<b>Tukey<sup>a</sup></b>		AV	3	19,633		
		C	3		21,400	
		LC	3			24,533
		Sig.		1,000	1,000	1,000
<b>Duncan<sup>a</sup></b>		AV	3	19,633		
		C	3		21,400	
		LC	3			24,533
		Sig.		1,000	1,000	1,000

Fuente: Prueba de Tukey y Duncan

El análisis paramétrico en la prueba de Tukey y Duncan, indica que en la relación AV-C, existe una diferencia mínima, en AV- LC existe una gran diferencia de resultados, y la relación LC-C no existe variabilidad notable; en cuanto a la relación con el LC se debe a que el lombricompost trabaja con una temperatura constante de 20 °C – 30 °C por lo que indica mayor temperatura a diferencia de los tratamientos con abono verde y compost que no se limitan a una temperatura definida (Román P. 2013).

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. Conclusiones**

En la presente investigación se evaluó la efectividad de los bioestimuladores compost, lombricompost y abono verde en la biorremediación de suelo contaminado con aceite automotriz de talleres de mantenimiento, según los resultados obtenidos los parámetros analizados son efectivos en la biorremediación de suelos contaminados con aceite automotriz.

Se caracterizó el suelo contaminado con aceite automotriz, los parámetros físicos determinados son; pH=6.48, conductividad eléctrica=783.45 $\mu$ S/cm, capacidad de campo=16.875%, humedad=16.08 % y temperatura=20.57°C.

Los parámetros que presentan mejor efectividad, analizados al inicio y final del experimento son el pH y la T° para el tratamiento Lombricompost. Para las condiciones de pH, el valor óptimo es de 7.7 y temperatura con 24.5°C.

Los resultados del pH mostraron un incremento en 13.7%, 20.2% y 8.5%, para abono verde, lombricompost y compost, respectivamente. Así mismo, se observó un aumento de 19.3% (abono verde), 15.68% (lombricompost) y 8.2% (compost) para CE. En contraste, la capacidad de campo presentó reducción del abono verde (9.14%), lombricompost (8.92%) y compost (7.4%). En humedad y temperaturas también se observaron disminución para todos los bioestimuladores.

En la eliminación de hidrocarburos, el abono verde presentó mayor eficiencia con (27%), logrando un resultado ( $<1.1$ ), comparando con la normativa está dentro del rango aceptable para suelos contaminados, que el lombricompost en (20%) y compost (20%), concluyendo que el abono verde es el método más efectivo para la eliminación de hidrocarburos.

## **5.2. Recomendaciones**

Se recomienda realizar análisis de hidrocarburos aromáticos a suelos contaminados con aceite automotriz.

Se recomienda probar con otro tipo de enmiendas orgánicas como el compost de estiércol porque son tecnologías de bajo costo y fácil manejo

Se recomienda usar plantas nativas y/o especies tolerantes a los hidrocarburos durante los tratamientos para observar su desarrollo

Se recomienda trabajar con pH 7 y T° 24, ya que son eficaces para bioestimular un suelo contaminado con aceite automotriz, 7 porque es ideal para el tratamiento de compost y 24 °C porque es un rango aceptable de temperatura en estos tratamientos.

Se recomienda tener en cuenta la capacidad de campo para mantener la humedad en óptimas condiciones, para el buen desarrollo de las lombrices, porque si tenemos un exceso de humedad habrá mayor compactación de suelo y la lombriz no podrá desplazarse fácilmente aminorando su trabajo y efectividad.

## REFERENCIAS

- Aguilar M., G (2002). *Manejo de desechos sólidos con el uso de lombricompost*. Memoria del II encuentro de Investigadores en Agricultura Orgánica. Asociación de Desarrollo Integral de Llano Grande de Cartago. Heredia, Costa Rica. [www.infoagro.go.cr/organico/20.Manejo\\_desechos.htm](http://www.infoagro.go.cr/organico/20.Manejo_desechos.htm)
- Andersson, B.E., Lundstedt, S., Tornberg, K., Schnürer, Y., Oberg, L.G., Mattiasson, B., 2003. *Incomplete degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil inoculated with wood-rotting fungi and their effect on the indigenous soil bacteria*. Environ. Toxicol. Chem. 22, 1238–43.
- Agustí Fonfria, Manuel. (2012). Libro *Citricultura*. Madrid, Ediciones Mundi-Prensa. Edición: 2012. Pág. 157
- Álvarez P., (2014). *Brook's ingresa al Perú para competir en mercado de lubricantes que mueve US\$ 320 millones*. 06 de octubre. Pag. 4.
- Atlas R, Bartha R. *Ecología microbiana y microbiología ambiental*. Ed. Addison Wesley. Madrid. 2002. 561p
- Avendaño, R. 2003. *El Proceso de Compostaje. Tesis Ingeniero Agrónomo*. Santiago, Chile. Pontificia Universidad Católica, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. 38 p.
- Bárbaro, L. *Importancia del pH y la conductividad eléctrica en los sustratos para las plantas*. Año edición 2018. ISBN 978-987-521-918-2. Pag. 4-9
- Barquero M., E. (2001). *La Lombricultura. Proyecto del departamento agrícola de la cooperativa Victoria*. [www.coopevictoria.com/victoria/noviembre05.htm-8-k](http://www.coopevictoria.com/victoria/noviembre05.htm-8-k) Resultado Splementario.
- Barrea L. & Velecela F. (2015). *Tesis “Diagnostico de la contaminación ambiental causada por aceites usados provenientes del sector automotor y planteamiento de soluciones viables para el gobierno autónomo descentralizado del Cantón Azogues”* tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico, Universidad Politécnica Salesiana Cuenca. 132p.

- Benavides LJ, Quintero G, Guevara VAL, Jaimes CDC, Gutiérrez RSM, Miranda JG. (2006) *Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo*. NOVA.; 4(5):82-90.
- Benavides, J. (2004). Artículo *Efecto de la adición de fertilizantes inorgánicos compuestos en la degradación de hidrocarburos en suelos contaminados con petróleo*. Bogotá D.C., Colombia. DOI: 10.22490/24629448.6
- Bucci, S.J., Scholz, F.G., Goldstein, G., Meinzer, F.C. y Arce, M.E. (2009). «*Soil water availability and rooting depth as determinants of hydraulic architecture of Patagonian woody species*». *Oecologia* 160 pag: 631-641.
- Buendía H. (2012) *Tesis “Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante compost de aserrín y estiércoles”* Universidad Nacional Mayor de San Marcos, tesis para optar el grado de Magister en Geografía mención Ordenamiento y gestión Ambiental. Lima Perú. 88 p.
- Canihua J. y Salcedo S. M. (2016), *Manual de suelos, nutrición y fertilidad*, Instituto de Investigación Agraria-INIA
- Chambilla Johann (2014), *Prueba de hipótesis análisis de varianza con Anova*. [https://prezi.com/p\\_hdrv7yajqn/prueba-de-hipotesis-analisis-de-varianza-con-anova/](https://prezi.com/p_hdrv7yajqn/prueba-de-hipotesis-analisis-de-varianza-con-anova/)
- Chacon Montalvan, Luis (2014), *Prueba de Shapiro-Wilk para probar normalidad*. Octubre del 2014. <https://prezi.com/vnmuq6wdk149/prueba-de-shapiro-wilk-para-probar-normalidad/>
- Castelo-Gutiérrez, A.A.; García-Mendivil, H.A.; Castro- Espinoza, L.; Lares-Villa, F.; Arellano-Gil, M.; Figueroa-López, P.; Gutiérrez-Coronado, M.A. (2016) *Residual mushroom compost as soil conditioner and bio-fertilizer in tomato production*. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 22(2): 83-93.
- Cooperband, (2001). [www.wastenot-organics.wisc.edu](http://www.wastenot-organics.wisc.edu)
- Delgadillo-López AE, González-Ramírez CA, Prieto-García F, Villagómez-Ibarra JR, Acevedo-Sandoval O. (2011) *Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación*. *Tropical and Sub tropical Agroecosystems*.; 14:597-612.

- Escalante, E. (2000). *Estudio de Ecotoxicidad de un suelo contaminado con hidrocarburos*. Tesis para obtener el grado de maestro en biotecnología. Rev. Del Instituto de investigación RIIGEO Vol. 15 N°30 pág. 123-130
- Estándares de Calidad Ambiental ECA para suelo (2013) Decreto Supremo N° 002-2013MINAM.<http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wpcontent/uploads/sites/22/2013/10/D-S-N-002-2013-MINAM.pdf>
- Falconí, D. Robalino, M. (2016). *Estudio de Impacto Ambiental de un taller automotriz y desarrollo de plan de manejo de desechos peligrosos y seguridad ocupacional*. Tesis para obtener el Título de Ingeniero en Mecánica Automotriz. Universidad Internacional de Ecuador, Quito – Ecuador. N° de pag 2-9
- Fan Y.Y., Wang G.G., Fu J.H., Zheng X.H. (2014). *The remediation of waste drilling muds by a combined plant-microbe system*. Petroleum Science and Technology 32: 2086-2092
- FAO, (2007). *Elaboración de criterios aplicables a las cargas anteriores aceptables para las grasas y aceites*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Organización Mundial de la Salud – Instituto de Salud Pública y Medio Ambiente de países bajos. Roma 2007.
- Fiscalización Ambiental - OEFA, Cf. Artículo 22° de la Ley N° 27314 - *Ley General de Residuos Sólidos*. Informe 2013-2014, Índice de cumplimiento de los municipios provinciales a nivel nacional.
- García Delgado, Carlos (2015) *Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos aromáticos policíclicos mediante aplicación de sustrato post-cultivo de champiñón*. Departamento de química Agrícola y Bromatología. Universidad Autónoma de Madrid.
- Garufi M. A. (2014) AXUR, *Importadora de Lubricantes Gerente de Negocios Insumo Industrial, Castrol/agosto*.
- Geo Ambiental de México S.A. de C.V. (2000) *Tecnologías biológicas de remediación*. México 400-403 p.

- Gélvez Lilian Damarys, (2019) *Ray grass – Lolium multiflorum – Lolium perenne*. Mundo Pecuario. [https://mundo-pecuario.com/tema191/gramineas/ray\\_grass-1049.html](https://mundo-pecuario.com/tema191/gramineas/ray_grass-1049.html)
- Guanche García, Arturo (2012) *Información técnica*. Los Abonos Verdes. Junio 2012. Oficina de Extensión Agraria y Desarrollo Rural. [www.agrocabildo.com](http://www.agrocabildo.com)
- Haritash, A.K., Kaushik, C.P., 2009. *Biodegradation aspects of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs): A review*. J. Hazard. Mater. 169, 1–15.
- Hernández, J. 2011. Bio recuperación de suelos salinos con el uso de materiales orgánicos. s.l., Universidad Politécnica de Madrid. 143 pp.
- Instituto Nacional de Ecología, (2003). *Ambiente y Desarrollo- Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante el compost de aserrín y estiércol*. Lima, Perú. UNMSM Rev. Del Instituto de investigación RIIGEO. Vol.15 pp 123-130.
- Ibarra-Ceceña, María Guadalupe (2012) *Diagnóstico del uso y manejo de los residuos de aceite automotriz en el municipio del fuerte*, vol. 8, núm. 2., mayo-agosto, 2012, pp. 129-137 Universidad Autónoma Indígena de México El Fuerte, México.
- Jardín Du Patrick – traducido por García, S. D. 2017. *Bioestimulantes Agrícolas, Definición, Principales Categorías y Regulación a Nivel Mundial. Serie Nutrición Vegetal* Núm. 94. Artículos Técnicos de INTAGRI. México.
- Juárez-Cisneros G. & Sanchez-Yañez J. (2014). “*Biorremediación de suelo contaminado con aceite residual automotriz por biostimulación con lombricomposta y fitorremediación con Sorghum vulgare inoculado con Bacillus cereus y Rhizobium etli*”. Instituto de Investigaciones Químico Biológicas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. JSAB. ISSN 2308-3867.
- Juárez-Cisneros G., Dasgupta N. Marquez-Benavidesy L. & Sánchez-Yañez J. (2014), “*Bioremediación de suelo contaminado con aceite residual automotriz por bioestimulación con un extracto fúngico y abono verde*” Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

- Labrador M. J. 2001. *La materia orgánica en los agroecosistemas*. Grupo Mundi- Prensa. España. Pág. 11- 13, 177-178
- Ley 27314 *Ley General de Residuos Sólidos*- D.S. N° 057-2004 PCM.ANEXO A: residuos peligrosos. A3.1, A3.17. Publicación 2004.
- López, E. (2006). “*Evaluación de tres programas de fertilización Orgánica y tres distancias de siembra en el cultivo de Okra tailandesa (Luffa acutángula) La Fragua Zacapa*. (Tesis) Universidad Rafael Landívar, Ciencias Ambientales y Agrícolas, Guatemala.
- Loussert, Raymond. (1992). Libro *Los Agrios*. Madrid, Ediciones Mundi-Prensa. Pag. 89.
- Manzanarez Jiménez, Lucia Aracely. (2012) *Diagnóstico del uso y manejo de los residuos de aceite automotriz en el municipio del fuerte*, vol. 8, núm. 2., mayo-agosto, 2012, pp. 129-137 Universidad Autónoma Indígena de México El Fuerte, México.
- Ma J., Yan G., Ma W., Cheng C., Wang Q., Guo S. (2015). *Isolation and characterization of oil-degrading microorganisms for benchscale evaluations of autochthonous bioaugmentation for soil remediation*. Water, Air and Soil Pollution 226: 1-10
- Maldonado-Chávez E, Rivera-Cruz MC, Izquierdo- Reyes F, Palma-López DJ. (2010) *Effects of rizosphere, microorganisms and fertilization on bioremediation and phytoremediation of soils with new and weathered crude oil*. Universidad y Ciencia.; 26(2):121-136.
- Martínez & Pérez, F. (2011) *Tribología Integral*. Editor: México. D.F. Limusa 2011. ISBN: 9786070502712.Tema desgaste, Fricción, Lubricación, Métodos, Texto Mecánica Automática. Pág. 320.
- Martinez, E. y Lopez, F. 2001. *Efecto de hidrocarburos en las propiedades físicas y químicas del suelo arcilloso*. Terra Latinoamericana, Vol. 19, enero –marzo 2001, Sociedad mexicana de la Ciencia del Suelo. pp 9-17.
- Masías Puma, Roly & Pichuca Chanqueti, Elvis & Pariona Gutiérrez Royer (2017) *Implementación del plan de manejo y reciclaje de lubricantes en el taller mecánico*. Facultad de Ingeniería Técnico Mecánica Automotriz. Mata, D. Importancia del pH y la conductividad eléctrica en los sustratos para las plantas.

- MINAM, 2009. *Ministerio del Ambiente Dirección General de Educación, Cultura y Ciudadanía Ambiental* - [http://www.minam.gob.pe/consultaspublicas/wp-content/uploads/sites/52/2014/02/lmp de efluentes de residuos.pdf](http://www.minam.gob.pe/consultaspublicas/wp-content/uploads/sites/52/2014/02/lmp%20de%20efluentes%20de%20residuos.pdf).
- MINAM, 2016. *Ministerio del Ambiente Dirección General de Educación, Cultura y Ciudadanía Ambiental* - San Isidro Lima, Perú Primera edición, diciembre de 2016. Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú n.º 2016-13439 Impreso por Gráfica 39 S. A. C., Miraflores Lima, Perú. Diciembre de 2016.
- Ministerio de Energía y Minas (2015). Estadísticas: *Balanza Comercial de Hidrocarburos*. [http://www.minem.gob.pe/\\_estadisticaSector.php?idSector=5](http://www.minem.gob.pe/_estadisticaSector.php?idSector=5). (2013-2014) Febrero.
- MINAM. (2013). *Agenda de investigación ambiental al 2021*. Lima: Dirección General de Investigación e Información Ambiental. Obtenido de [http://www.minam.gob.pe/investigacion/wpcontent/uploads/sites/19/2013/10/Agenda-Investigaci%C3%B3n-Ambiental\\_Interiores.pdf](http://www.minam.gob.pe/investigacion/wpcontent/uploads/sites/19/2013/10/Agenda-Investigaci%C3%B3n-Ambiental_Interiores.pdf).
- Moreno, J. (2008). *Compostaje*. Madrid. Mundi – Prensa Libros. 570 p.
- Norma C.E. 020. (2017) *Estabilización de suelos y Taludes*. Colegio de ingenieros del Perú.<http://www3.vivienda.gob.pe/dgprvu/docs/RNE/T%C3%ADtulo%20II%20Habilitaciones%20Urbanas/15%20CE.020%20SUELOS%20Y%20TALUDES%20DS%20N%C2%B0%20017-2012.pdf>.
- Pardo, J. (2004). *Efecto de la adición de fertilizantes inorgánicos compuestos en la degradación de hidrocarburos en suelos contaminados con petróleo*. DOI: 10.22490/24629448.6. Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Bogotá, Colombia. Vol. 2. Pp 40-49
- Román Pilar (2013), *Manual de compostaje del agricultor, experiencias en América Latina*. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. Santiago de Chile. ISBN 978-92-5-307844-8.
- Portilla, M., Eraso, S, Galé, C., García, I., Moler, J. y Blanca, M. (2006). *Manual práctico del paquete estadístico SPSS para Windows (3ª edición revisada)*. Universidad Pública de Navarra: Navarra.

- Rojas N, Rodríguez R, Enriquez F, Martínez J, Poggi H. (1999) *Transformer oil degradation by an indigenous microflora isolated from a contaminated soil*. Departamento de Biotecnología y Bioingeniería, Centro de Investigación y de Estudios avanzados.: 15-24. Universidad Autónoma Metropolitana, México. D.F.
- Santamaria Rommero, S., Ferrera C. R., (2001), *Dinámica y relaciones de microorganismos, C-orgánico y N- total durante el composteo y vermicomposteo*. Agrociencia. Colegio de Postgraduados, Montecillo. México. Pág. 377-384
- Speight, J., Exall, D. (2014). *Refining Used Lubricating Oils*. CRC Press, Taylor and Francis Group. United States of América.
- Uribe, L, L. (2003). *Taller de abonos Orgánicos/CATIE*. San José, Costa Rica.10 pp.
- Volke T. y Velasco J. (2002). *Tecnologías de remediación para suelos contaminados*. Instituto Nacional de Ecología, México, 64 pp.
- Weijs, L., R. Yang, K. Das, A. Covaci y R. Blust. 2013. *Application of Bayesian population PBPK modeling and Markov chain Monte Carlo simulations to pesticide kinetics studies in protected marine mammals: DDT, DDE, DDD in harbour porpoises*. Disponible en: <http://orbi.ulg.ac.be/bitstream/2268/149301/2/2013%20Weijs%20EST%20supp%20mat.pdf>.
- Wentz C. (1995) Hazardous Waste Management – *Efecto de la adición de fertilizantes inorgánicos compuestos en la degradación de hidrocarburos en suelos contaminados con petrole*. Second Edition. Mc Graw-Hill International Editions; pp 224-35. DOI 10.22490/24629448.6

## ANEXOS A - Panel Fotográfico



Figura 3: Pesado de muestra 4 kg



Figura 4: Construcción de las biopilas de madera



Figura 5: Bolsa de 1 kg de humus de lombriz



Figura 6: Bolsas de 1 kg de compost



Figura 7: Pesado de las muestras en una balanza comercial



Figura 8: Muestras de suelo ya pesadas



Figura 9: Biopilas con los tratamientos



Figura 40: Biopila con pendiente de 3 %



Figura 11: Contaminación de suelo con aceite lubricante residual



Figura 52: Suelo tamizado



Figura 13: Muestras de los tratamientos para realizar los análisis



Figura 64: Sedimentación de la concentración para la lectura con el multiparámetro



Figura 15: Vasos precipitados para análisis con el multiparámetro



Figura 16: Multiparámetro, análisis de pH



Figura 77: Peso de las muestras para determinar humedad



Figura 18: Balanza analítica y desecador

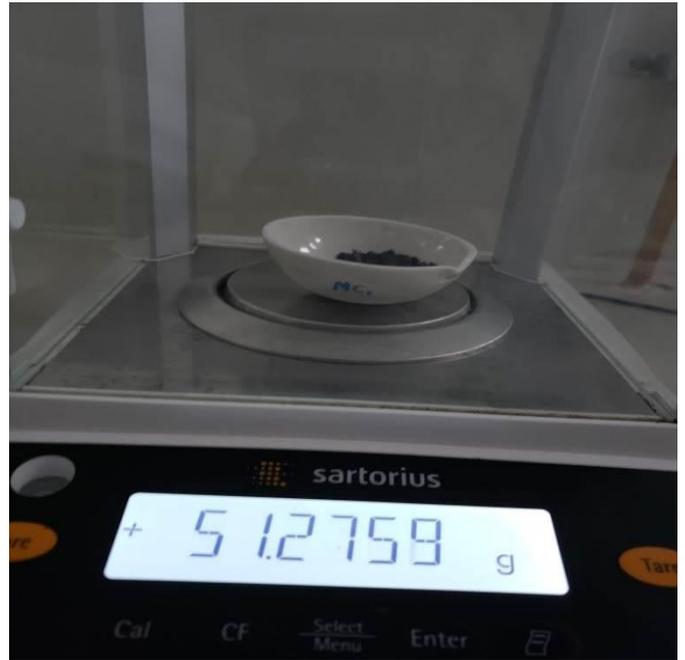


Figura 198: Crisol más muestras de suelo



Figura 90: Probetas para determinar capacidad de campo para abono verde



Figura 21: Desecador con las muestras sacadas de la estufa

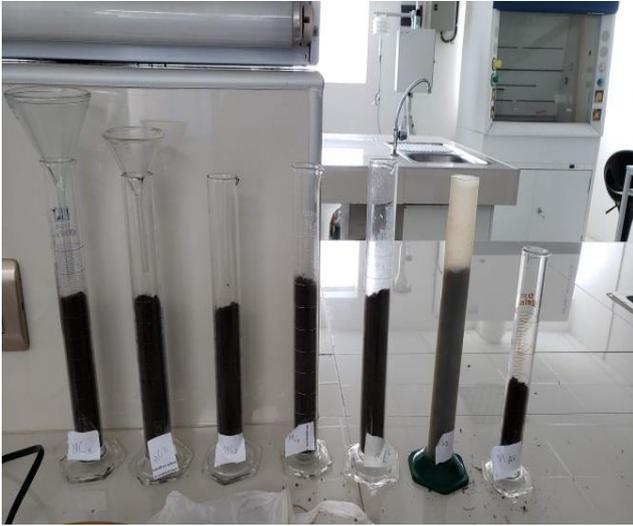


Figura 22: Preparación de muestras



Figura 23: Probetas para análisis de capacidad de campo

## ANEXO B – RESULTADOS DE ANALISIS

Tabla 18: Resultados de análisis del tratamiento con compost

Código	Potencial de Hidrógeno	Conductividad Eléctrica	Capacidad de Campo	Humedad	Temperatura
	pH	μS/cm	%	%	°C
1 Mf-C	7.48	545.200	12.500	4.800	12.100
2 Mf-C1	7.02	858	16.04	1.8917	20.7
3 Mf-C2	7.18	741	15.2	1.956	21.8
4 Mf-C3	6.91	944	15.625	2.0094	21.7
<b>Promedio de las repeticiones</b>	7.03666	847.666	15.6216	1.95236	21.4
<b>% con respecto a Muestra inicial</b>	8.4876	8.1958	7.40740	87.810	4.03

Fuente: Resultados obtenidos por el multiparámetro WTW, modelo MULTI3620IDS.

Tabla 19: Resultados de análisis del tratamiento lombricompost

Código	Potencial de Hidrogeno	Conductividad Eléctrica	Capacidad de Campo	Humedad	Temperatura
	pH	μS/cm	%	%	°C
1 Mf-L	7.49	545.220	12.630	4.900	12.100
2 Mf-L1	7.93	690	15.1898	2.8148	24.2
3 Mf-L2	7.65	1053	15.3703	4.614	24.4
4 Mf-L3	7.79	976	15.5487	2.7849	25
<b>Promedio de las repeticiones</b>	7.79	906.3333	15.3696	3.40456	24.5
<b>% con respecto a Muestra inicial</b>	20.22	15.68	8.92	78.8308	19.10

Fuente: Resultados obtenidos por el multiparámetro WTW, modelo MULTI3620IDS.

Tabla 20: Resultados de análisis del tratamiento abono verde

Código	Potencial de Hidrogeno	Conductividad Eléctrica	Capacidad de Campo	Humedad	Temperatura
	pH	μS/cm	%	%	°C
1 Mf- AV	7.8	545.400	12.440	4.720	12.100

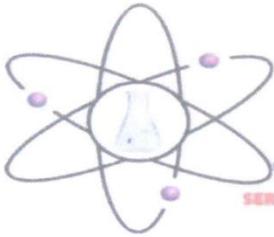
2	Mf-AV1	7.27	970	15	3.3654	19.8
3	Mf-AV2	7.35	935	15.3	5.0219	19.5
4	Mf-AV3	7.51	898	15.7	5.1236	19.6
<b>Promedio de las repeticiones</b>		7.37666667	934.3333333	15.33333333	4.5036333	19.6
<b>% con respecto a Muestra inicial</b>		13.734	19.26	9.137	72.015	4.71

*Fuente:* Resultados obtenidos por el multiparámetro WTW, modelo MULTI3620IDS.

*Tabla 21:* Resultados de caracterización de suelo

Código	Potencial de Hidrogeno	Conductividad Eléctrica	Capacidad de Campo	Humedad	Temperatura	
	pH	μS/cm	%	%	°C	
1	M-S-A	6.1	748.8	20.5	5.2	15.2
2	M-S-A1	6.45	820	15.4	18.0111	22.2
3	M-S-A2	6.68	760	15.7	19.9243	22.8
4	M-S-A3	6.72	805	15.9	21.1941	22.1
<b>Promedio</b>		6.4875	783.45	16.875	16.082	20.575

*Fuente:* Resultados obtenidos por el equipo multiparámetro WTW, modelo MULTI3620IDS.



## INFORME DE ENSAYO

Muestra del Item:1

N° ALAB			154016/2018	154017/2018	154018/2018	154019/2018	154020/2018	154021/2018
Fecha de Muestreo			20/12/2018	20/12/2018	20/12/2018	20/12/2018	20/12/2018	20/12/2018
Hora de Muestreo			N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Tipo de Muestra			Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Identificación:			Mi-C	Mi-L	Mi-AV	Mf-C	Mf-L	Mf-AV
Parámetro	Ref. Mét.	Unidad	LD					
005 ANÁLISIS POR CROMATOGRAFÍA								
Fración de Hidrocarburos F3	6246	mg/kg	< 1.5	< 1.5	< 1.5	< 1.2	< 1.2	< 1.1

### CONTROLES DE CALIDAD

Control Blancos

Párametros	Unidad	LD	Resultado	Fecha de Análisis
Fración de Hidrocarburos F3 (C28 - 40)	mg/kg	1.5	< 1.5	08/01/2019
Fración de Hidrocarburos F3 (C28 - 40)	mg/kg	1.5	< 1.5	10/01/2019

Control Estándares

Párametros	% Recuperación	Limites de Recuperación (%)	Fecha de Análisis
Fración de Hidrocarburos F3 (C28 - 40)	83.2	63-153	08/01/2019
Fración de Hidrocarburos F3 (C28 - 40)	97.3	63-153	10/01/2019

### REFERENCIAS DE LOS MÉTODOS DE ENSAYO

Ref	Párametro	Método de Referencia	Descripción
6246	Hidrocarburos Totales de Petróleo	EPA METHOD 8015-C Rev 3.2007	Nonhalogenated Organics Using GC/FID

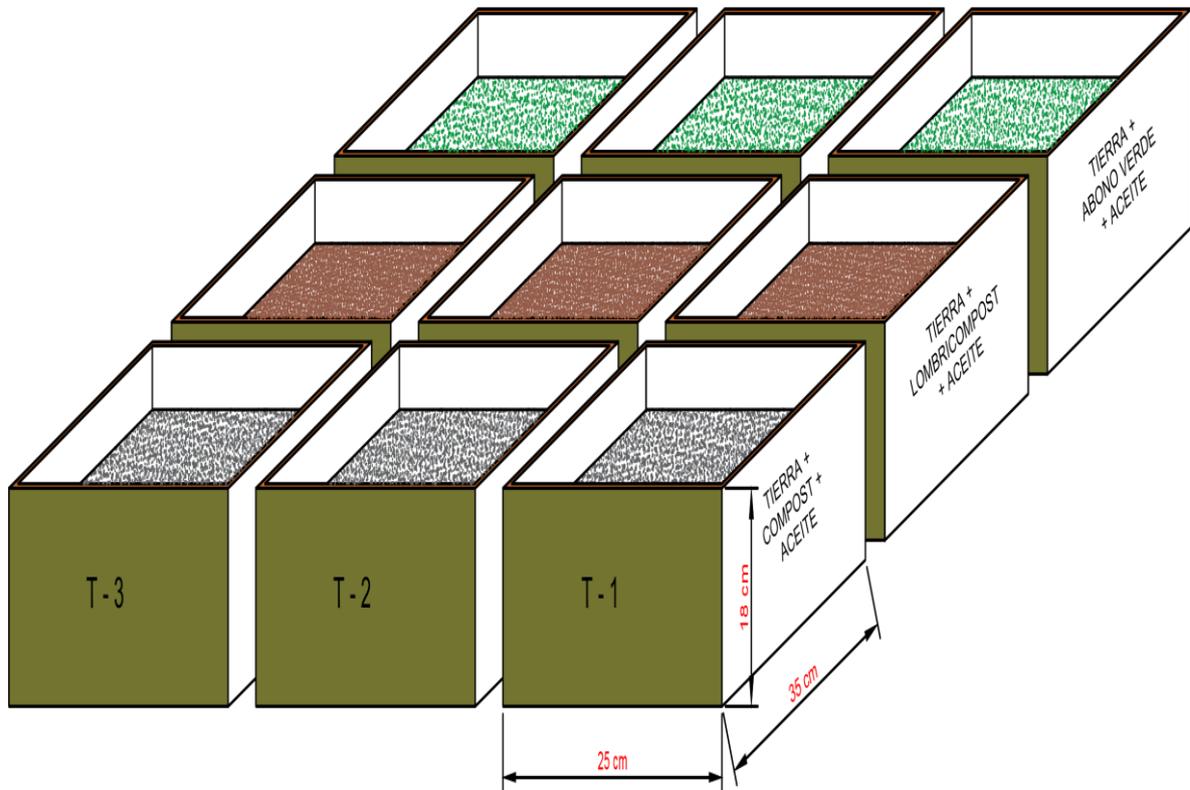
### COMENTARIOS

"EPA": U.S. Environmental Protection Agency.

"SM": Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

"ASTM": American Society for the Testing and Materials.

  
Fidel Huaynapata Luque  
CIP 187755  
GERENTE DE OPERACIONES



UNIVERSIDAD PERUANA UNION

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
EAP INGENIERÍA AMBIENTAL

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN: EFECTIVIDAD DE LOS BIOESTIMULADORES DE COMPOST, LOMBRICOMPOST Y ABONO VERDE EN LA BIORREMEDIACION DE SUELO CONTAMINADO CON ACEITE AUTOMOTRIZ

ASESOR: Ing. Verónica Haydeé Pari Mamani

AUTORAS: Curasi Rafael Nancy  
Luque Soncco Mayra Alessandra

FECHA: ENERO, 2018