



**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL  
Y ECOTURISMO**

**“EFICIENCIA ENTRE DOS AGENTES BIODEGRADABLES EN LA  
REMEDIACIÓN DE LOS SUELOS CONTAMINADOS CON DIÉSEL B5”**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
AMBIENTAL**

**AUTOR (A)**

**WILLIAMS BRAYAM CASIMIRO VIDAL**

**ASESOR**

**DR. ZAMORA TALAVERANO NOÉ SABINO JORGE**

**JURADO**

**DR. GALARZA ZAPATA EDWIN JAIME**

**MG. GUILLÉN LEÓN ROGELIA**

**MG. WALTER BENJAMIN ZUÑIGA DÍAZ**

**ING. ROJAS LEÓN GLADYS**

**LIMA - PERÚ**

**2019**

## **DEDICATORIA**

A mis padres Julia Vidal y William Casimiro

A Andrea Quispe, a Aitana mi adorada hija

## **AGRADECIMIENTO**

Ante todo, agradecer a Dios por concluir mis estudios universitarios en forma satisfactoria.

A mis padres por apoyarme en mi formación personal y profesional, Julia y William, por guiarme en la vida y por ser los seres que motivan mis pasos en las pruebas más difíciles de mi vida. Gracias a su ejemplo me sostengo siempre de pie. A mis hermanas Katherine y karolin por su cariño, apoyo y comprensión.

A mi hija Aitana por ser mi mayor motivación para seguir superándome cada día en todos los aspectos.

Especialmente, a mi amiga y compañera de la vida, Andrea Quispe, por apoyarme en el desarrollo de la investigación.

Asimismo, agradecer a la empresa Outsourcing Green S.A.C., por brindarme las facilidades para el desarrollo de la presente investigación.

Seguidamente expresar mis agradecimientos a mi asesor el Dr. Noé Sabino Zamora Talaverano, por brindarme la oportunidad de desarrollar la presente investigación bajo sus tutorías.

Finalmente quiero a mis docentes informantes y a todos los docentes de la FIGAE-UNFV, por su paciencia, tiempo y aportes para nuestra formación de Ingenieros Ambientales.

## **RESUMEN**

La presente investigación tiene como objetivo general evaluar la eficiencia entre dos agentes biodegradables en la remediación de los suelos contaminados con diésel B5, para ello se construyeron biopilas de ensayo con la finalidad de analizar el efecto de cada agente biodegradable mediante el análisis de los parámetros orgánicos y a su vez conocer el porcentaje de remoción del contaminante. Para lo cual se empleó el método empírico de muestreo no probabilístico y de diseño experimental, para su evaluación se construyeron 4 biopilas. Los resultados obtenidos del parámetro fracción de hidrocarburos F2 en las cuatro biopilas fueron registrados en los siguientes periodos (abril, mayo, junio, agosto y noviembre del 2018), se analizaron 21 muestras en total, llegando a las siguientes conclusiones, el orange degreaser 1000 forte en la biopila MSF-02 presento una concentración final de 2084 mg/kg, el surfactante permitió que el hidrocarburo este más fácilmente disponible para la destrucción bacteriana, manteniendo un nivel alto de materia orgánica (6.21%) y pH (7.12) debido a la fácil adaptación de los microorganismos mesófilos, estos presentaron una población de bacterias (237000000 UFC), actinomicetos (37000 UFC) y hongos (2600000 UFC) mayores con respecto a las otras biopilas. El comportamiento de los valores en las biopilas fue dispar, probablemente se debe al tipo de suelo franco y a la presencia de grumos de hidrocarburo intemperizados, los cuales por sus características físicas no permitieron homogenizarse completamente. Por otro lado el mejor porcentaje de remoción se desarrolló en la biopila MSF-02, el cual demuestra uno de los beneficios secundarios de la aplicación del orange degreaser 1000 forte el cual es romper la tensión superficial del hidrocarburo, debido a sus características de neutralidad del pH fomentando de esta manera la actividad del consorcio microbiano presente.

**Palabras claves:** Agente biodegradable, Remediación de suelos, diésel B5, Biopilas.

## **ABSTRACT**

The general objective of this research is to evaluate the efficiency between two biodegradable agents in the remediation of soils contaminated with B5 diésel , for which purpose bioplasts were they built in order to analyze the effect of each biodegradable agent by analyzing the organic parameters and in turn know the percentage removal of the pollutant. For which the empirical method of non-probabilistic sampling and experimental design was used, for its evaluation, 4 biopiles were they built. The results obtained from the parameter F2 hydrocarbon fraction in the four biopiles were recorded in the following periods (April, May, June, August and November 2018), 21 samples were analyzed in total, reaching the following conclusions, the orange degreaser 1000 forte in the MSF-02 biopile showed a final concentration of 2084 mg / kg, the surfactant allowed the hydrocarbon to be more readily available for bacterial destruction, maintaining a high level of organic matter (6.21%) and pH (7.12) due to the easy Adaptation of mesophilic microorganisms, these presented a population of bacteria (237000000 CFU), actinomycetes (37000 CFU) and fungi (2600000 CFU) greater than the other biopiles. The behavior of the values in the biopiles was mixed, probably due to the type of free soil and the presence of weathered hydrocarbon lumps, which due to their physical characteristics did not allow to homogenize completely. On the other hand, the best percentage of removal was developed in the MSF-02 biopile, which demonstrates one of the secondary benefits of the application of the orange degreaser 1000 forte which is to break the surface tension of the hydrocarbon, due to its pH neutrality characteristics promoting in this way the activity of the microbial consortium present.

**Keywords:** Biodegradable agent, Soil remediation, diésel B5, Biopiles

## INDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
RESUMEN.....	4
ABSTRACT .....	5
I. Introducción .....	10
1.1. Descripción y formulación del problema.....	11
1.1.1. Descripción del problema.....	11
1.1.2. Formulación del problema .....	12
1.2. Antecedentes .....	13
1.2.1. Antecedentes Internacionales .....	13
1.2.2. Antecedentes Nacionales.....	17
1.3. Objetivos .....	19
1.3.1. Objetivo general .....	19
1.3.2. Objetivos específicos.....	19
1.4. Justificación e importancia .....	20
1.4.1. Justificación.....	20
1.4.2. Importancia.....	20
1.5. Hipótesis .....	21
1.5.1. Hipótesis general .....	21
1.5.2. Hipótesis específicos .....	21
II. Marco teórico .....	22
2.1. Bases teóricas.....	22
2.1.1. Características del diésel B5 .....	22
2.1.2. Impacto del hidrocarburo .....	24
2.1.3. Tecnologías de biorremediación de suelos.....	26
2.1.4. Composteo o biopilas .....	28
2.1.5. Factores del proceso de biorremediación .....	32
2.1.6. Beneficios del estiércol y aserrín .....	35
2.1.7. Unidades Formadoras de Colonias (UFC) .....	36
2.1.8. Respiración aeróbica .....	37

2.1.9. Beneficios de los Agentes biodegradables .....	38
2.2. Marco legal .....	40
III. Método de investigación .....	42
3.1. Tipo de investigación .....	42
3.1.1. Diseño, tipo y nivel de investigación .....	42
3.2. Ámbito temporal y espacial .....	43
3.3. Variables .....	43
3.4. Población y muestra .....	44
3.5. Materiales y equipos .....	44
3.5.1. Materiales .....	44
3.5.2. Equipo .....	45
3.6. Procedimiento .....	46
3.6.1. Construcción de las biopilas .....	46
3.6.2. Análisis del efecto de cada agente biodegradable .....	49
3.6.3. Eficiencia de remoción .....	51
IV. Área de estudio .....	52
4.1. Ubicación Política .....	52
4.2. Localización Geográfica .....	52
V. Resultados .....	54
5.1. Construcción de las biopilas .....	54
5.2. Análisis del efecto de cada agente biodegradable .....	64
5.3. Eficiencia de remoción .....	69
VI: Discusión de resultados .....	72
VII: Conclusiones .....	76
VIII. Recomendaciones .....	78
IX. Referencias bibliográficas .....	79
X. Anexos .....	81

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tecnologías de biorremediación .....	27
Tabla 2. Bacterias y Hongos con capacidad para degradar hidrocarburos.....	31
Tabla 3. Condiciones deseables en el proceso de degradación del estiércol .....	34
Tabla 4. Estándares de calidad de suelo .....	40
Tabla 5. Variable independiente .....	43
Tabla 6. Variable dependiente.....	43
Tabla 7. Composición de cada biopila .....	47
Tabla 8. Dosis agentes biodegradables .....	49
Tabla 9. Análisis de calidad de suelo .....	50
Tabla 10. Parámetros de evaluación en la caracterización del suelo .....	50
Tabla 11. Análisis microbiológico del suelo.....	51
Tabla 12. Estándares de calidad de suelo.....	52
Tabla 13. Intervalos de tiempo y fechas de monitoreo .....	62
Tabla 14. Resultados de monitoreo de calidad de suelo .....	65
Tabla 15. Resultados del análisis microbiológica (Población microbiana) .....	67
Tabla 16. Resultados de la caracterización del suelo.....	69
Tabla 17. Porcentaje de remoción.....	70

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Biopilas alargadas (Izquierda) y las biopilas estáticas (Derecha).....	30
Figura 2. Proceso microbiológico .....	37
Figura 3. Dimensiones y distribución de las biopilas, 2019 .....	48
Figura 4. Plano de ubicación del proyecto .....	53
Figura 5. Condiciones iniciales del terreno .....	54
Figura 6. Demarcación de las biopilas y nivelación del terreno .....	55
Figura 7. Colocación de geomembranas .....	55
Figura 8. Toma de Muestra para el análisis Microbiológico .....	56
Figura 9. Toma de Muestra para la caracterización del suelo.....	57
Figura 10. Preparación de tierra con diésel B5 .....	57
Figura 11. Muestra de Tierra Inicial contaminada con diésel B5 (MSR-01).....	58
Figura 12. Pesado de sustratos y suelo contaminado .....	58
Figura 13. Colocación de sustratos en las biopilas .....	59
Figura 14. Colocación de cubiertas en las biopilas .....	60
Figura 15. Dilución de agente biodegradable Orange Degreaser 1000 Forte .....	60
Figura 16. Dilución de agente biodegradable Orange Degreaser 1000 .....	61
Figura 17. Aplicación de agente biodegradable Orange Degreaser 1000 Forte y Orange Degreaser 1000.....	61
Figura 18. Aireación de la tierra contaminada .....	62
Figura 19. Monitoreo de la calidad de suelo .....	63
Figura 20. Muestreo para análisis microbiológico en las biopilas .....	63
Figura 21. Resultados de monitoreo de calidad de suelo .....	64
Figura 22. Resultados del análisis microbiológico (población microbiana) .....	68
Figura 23. Eficiencia de remoción .....	70

## **I. Introducción**

Las actividades de perforación, explotación, refinación y comercialización del petróleo generan diversos tipos de residuos, los cuales se han vertido sobre los suelos durante décadas, debido a un inadecuado manejo e insuficiente sensibilización ambiental. Como consecuencia, dichos suelos han reducido considerablemente su capacidad natural para sostener a una gran variedad de organismos, restringiendo su capacidad original a tan sólo algunas bacterias oleofílicas, dejando los suelos inutilizables para cualquier tipo de actividad productiva que se quiera realizar (Guerrero, 2002).

En el Perú, sobre el tema de suelos contaminados, no existe información Estadística oficial sobre la ubicación y extensión de las áreas afectadas y su disposición adecuada de los productos y residuos de la industria del petróleo. Esto es un problema muy importante que requiere que los suelos contaminados con hidrocarburos sean remediados con tecnologías de bajo costo y de fácil acceso y evitar la contaminación de las aguas subterráneas. (Buendía, 2012).

En este sentido, una de las técnicas desarrolladas con el objeto de biorremediar suelos contaminados con petróleo, es el composteo o biopilas del suelo en donde se emplean materiales orgánicos de fácil degradación. Una gran ventaja de estos sistemas, es el empleo de agentes de volumen como desechos domésticos, agrícolas, alimenticios, lodos industriales, estiércol, etc. (Volke & Velasco, 2003).

Por lo expresado, en la presente investigación se evaluará la eficiencia entre los dos agentes biodegradables en la remediación de los suelos contaminados con DIÉSEL B5 mediante la técnica de Biopilas a fin de contribuir en la mejora de la calidad del agua suelo y mitigar el impacto a la salud humana y el ambiente.

## **1.1.Descripción y formulación del problema**

### **1.1.1. Descripción del problema**

A nivel mundial, con la gran demanda en la utilización de combustibles fósiles derivados de petróleo, se ha producido derrames durante su extracción, procesamiento y distribución para su uso en diferentes actividades industriales (grifos, cisternas y otros) ya sea por causas como la abrasión de los conductos, fallas en reparación, intencional ocasionado por terceros o fenómenos naturales, con la consiguiente contaminación al suelo, agua, aire, afectando la salud humana y el ambiente.

En el Perú, sobre el tema de suelos contaminados, no existe información Estadística oficial sobre la ubicación y extensión de las áreas afectadas y su disposición adecuada de los productos y residuos de la industria del petróleo. Esto es un problema muy importante que requiere que los suelos contaminados con hidrocarburos sean remediados con tecnologías de bajo costo y de fácil acceso y evitar la contaminación de las aguas subterráneas. (Buendía, 2012).

En este sentido, el uso de tecnologías de biorremediación para el tratamiento de sitios contaminados es una opción que presenta ventajas con respecto a métodos físicos y químicos: (i) son sencillas de implementar; (ii) efectivas y ambientalmente seguras; (iii) los contaminantes se destruyen o transforman; (iv) generalmente no se requieren tratamientos adicionales; (v) económicos (80 - 150 USD/m<sup>3</sup>). Una de las técnicas desarrolladas con el objeto de biorremediar suelos contaminados con petróleo, es el composteo o biopilas del suelo en donde se emplean materiales orgánicos de fácil degradación. Los microorganismos que normalmente participan en este tipo de proceso, son parte de la flora natural de los sustratos orgánicos, así como de los microorganismos nativos del suelo. Una gran ventaja de estos

sistemas, es el empleo de agentes de volumen como desechos domésticos, agrícolas, alimenticios, lodos industriales, estiércol, etc. De esta manera, además de la posibilidad de descontaminar suelos contaminados con hidrocarburos, el composteo representa una alternativa para la degradación de una gran variedad de desechos sólidos (Volke & Velasco, 2003).

Por lo expresado, en la presente investigación se evaluará la eficiencia entre los dos agentes biodegradables en la remediación de los suelos contaminados con DIÉSEL B5 mediante la técnica de Biopilas a fin de contribuir en la mejora de la calidad del agua suelo y mitigar el impacto a la salud humana y el ambiente.

### **1.1.2. Formulación del problema**

#### **Problema principal**

- ¿Cómo se evaluará la eficiencia entre el agente biodegradable orange Degreaser 1000 y orange Degreaser 1000 forte en la remediación de los suelos contaminados con diésel B5?

#### **Problemas específicos**

- ¿De qué manera se construirá las Biopilas de ensayo para el análisis entre los dos agentes biodegradables en la remediación del suelo contaminado con diésel B5?
- ¿Cómo se analizará el efecto de cada agente biodegradable en la remediación de los suelos contaminados con diésel B5?
- ¿De qué forma la remoción de contaminantes de cada agente biodegradable influye en la remediación del suelo contaminado con DIÉSEL B5?

## 1.2. Antecedentes

### 1.2.1. Antecedentes Internacionales

**Volke, T. & Velasco, J.** (2003) en su investigación titulado **“Biodegradación de Hidrocarburos del Petróleo en Suelos Intemperizados Mediante Composteo”**, tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes pre tratamientos fisicoquímicos sobre la biodegradación por composteo de hidrocarburos del petróleo (HTPs) presentes en un suelo intemperizado. Antes de comenzar el proceso de biorremediación por composteo, el suelo intemperizado contaminado con hidrocarburos del petróleo (45,000 mg/kg) fue sometido a tres tratamientos fisicoquímicos: (i) electroquímico (EQ), (ii) adición de surfactantes (S) y, (iii) adición de solventes (tolueno). Asimismo, cada porción de suelo tratado se mezcló con cuatro aditivos (bagazo de caña, de zanahoria, estiércol de caballo y composta) con el objeto de incrementar el contenido de nutrientes y de microorganismos en los sistemas de composteo utilizados (biopilas alargadas). Como resultados de las tres biopilas con suelo tratado, más una biopila control con suelo sin tratar (30 kg/biopila), después de 206 días, los valores de eficiencia de biodegradación fueron: 48% ( $\pm 1$ ) para EQ, 46% ( $\pm 4$ ) para S, 39% ( $\pm 1$ ) para T y 36% ( $\pm 3$ ) para el control, equivalente a una disminución en el contenido de HTP de 20304, 19892, 16712 y 14852 mg/kg, respectivamente. Los valores de degradación obtenidos en los sistemas de biopilas fueron muy satisfactorios, considerando que el tiempo del tratamiento fue de 7 meses y que se utilizó un suelo intemperizado.

**Medina, L. et al** (2017) en su artículo de investigación titulado **"Generación de un inoculante acelerador del compostaje"**, se realizó el compostaje de una mezcla de estiércol de ovino más paja. Se extrajo inóculo de 5 diferentes fases del proceso de compostaje (a los 18, 23, 28, 33 y 38 días de iniciado) y se evaluó su efecto en la reducción del tiempo de

biotransformación de un compost de estiércol de ovino. Las muestras se conservaron en un ultracongelador, después se liofilizaron para obtener el inóculo y se agregaron 50 g a cada tratamiento en la segunda fase experimental. En dicha fase se establecieron seis tratamientos: C = paja (P) + estiércol de ovino (E), T1= P + E + inóculo de 18 días de iniciado el proceso de compostaje (I18), T2= P + E + I23, T3=P + E + I28, T4= P + E + I33, T5= P + E + I38, con 3 repeticiones. Estos tratamientos se colocaron en una cámara de ambiente controlado con 45% de humedad relativa y a 30°C. Al mismo tiempo, se colocaron frascos con 50 g de material para medir la producción diaria y la acumulación de CO<sub>2</sub>, la temperatura, el pH, la conductividad eléctrica, la materia orgánica, el nitrógeno (N), el carbono total, la relación C:N, el tamaño de partícula y la densidad aparente. La producción de CO<sub>2</sub> en los tratamientos T2 y T5 mostró diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ) de respecto de los demás tratamientos, lo que demuestra que el inóculo de estos tratamientos aceleró la dinámica de los microorganismos y el proceso de compostaje. La calidad y la madurez del compost se garantizan a medida que disminuye la cantidad de CO<sub>2</sub>.

En la investigación titulada "**Saneamiento de suelos contaminados con hidrocarburos Mediante biopilas**" se describen el diseño construcción y operación de dos biopilas, una pila de 800 m<sup>3</sup> y otra de 500 m<sup>3</sup> para el saneamiento del suelo contaminado con hidrocarburos en un Terminal de Almacenamiento y Distribución con una concentración promedio de HTP de 21 000 mg/Kg, considerando un espesor de 2.48 m con una capacidad de campo de 47.85%. Las dimensiones de las pilas son de 1.5x25x15 metros y 1.5x35x19 metros respectivamente. En lo que se refiere a la aplicación de nutrientes, éstos se adicionarán de manera simultánea con el agua. Se requiere nitrógeno en mayor cantidad que fósforo, el nitrógeno se aplicará en forma de urea, se requieren 4.75 kg de urea/m<sup>3</sup> de suelo, por su parte el fósforo se aplicará en

forma de superfosfato  $\text{CaH}_2(\text{PO}_4)$ , se requiere 0.2516 kg de  $\text{CaH}_2(\text{PO}_4)$ /  $\text{m}^3$  de suelo. Para alcanzar la humedad requerida del 95% de la capacidad de campo, la cantidad de agua que se adicionará es  $297.07 \text{ L/m}^3$ . Con respecto a la aireación, los flujos necesarios son  $253.83091 \text{ ft}^3/\text{min}$  para la pila de  $500 \text{ m}^3$  y  $406.12 \text{ ft}^3/\text{min}$  para la pila de  $800 \text{ m}^3$ . Para el caso de los lixiviados, se construirán zanjas, para conducir el agua hacia un depósito para su posterior reutilización. Finalmente el análisis económico demuestra que el costo de inversión debido principalmente a la construcción de la pila es el más alto, y por el contrario el costo del mantenimiento es el menor, con lo que se comprueba que la operación del sistema de biopilas es rentable (Iturbe-Argüelles, Flores-Torres, Chávez-López, & Roldán-Martín, 2002).

En la investigación titulada "Saneamiento de suelos contaminados con hidrocarburos utilizando biopilas en degollado, Jalisco, México", el sitio contaminado se localiza en el municipio de Degollado en el Estado de Jalisco, se trata de una toma clandestina descontrolada (TCD), el punto de fuga se encuentra a una altura de 1,578m sobre el nivel del mar, el derrame ocasionado por la toma clandestina fue de diésel y gasolina magna, para lo cual se construyeron bioceldas divididas en cuadrantes de  $10 \times 10 \text{ m}$ , así se definieron 108 celdas de muestreo monitoreadas entre 2 y 3 veces al mes para comprobar la disminución de la contaminación y comprobar que la biorremediación estaba siendo efectiva, para lo que se utilizaron muestras de suelo y agua, se analizaron por HTP's en sitio con equipo portátil Petroflag. Como resultado del proceso de biorremediación en 180 días, tiempo en el cual la concentración de hidrocarburos disminuyó de  $5,820.40 \text{ mg/kg}$  a  $1 \text{ mg/kg}$  HTP, se remediaron  $11,274.82 \text{ m}^3$  de material, logrando una eficiencia aproximada de más del 99%, y alcanzando así el objetivo propuesto de estar debajo de los valores máximos permitidos en la NOM-EM-138-ECOL-2003. No se detectaron hidrocarburos poliaromáticos (PAH's) ni concentraciones de BTEX

(benceno, tolueno, etilbenceno y xileno). Como parte del proceso para comprobar la disminución de la contaminación, se sembraron en el borde de la biocelda semillas de calabaza, pepino y rábano, observándose un desarrollo normal cuando la contaminación disminuyó a valores menores de 250mg/Kg HTP. Una vez remediado el suelo hasta alcanzar los niveles de limpieza marcados por la norma de emergencia y con la aprobación de las autoridades, se regresó el material, al sitio del que fue excavado, para ser utilizado en agricultura (Sámano & Sámano , 2015).

**Rodríguez, P.** (2009) en su tesis titulado "**Biorremediación mediante Biopilas de un suelo Contaminado con Combustóleo y diésel en la Central de Generación Eléctrica Nachi Cocom, en la Península de Yucatán**", tuvo como objetivo eliminar la contaminación por hidrocarburos al suelo, generada durante la operación de la central de generación eléctrica y contribuir a disminuir un posible riesgo a la salud de la población aledaña por exposición, inhalación e ingestión de los contaminantes, se realizó una comparación de los resultados de muestreo y análisis de suelos y agua subterránea del año 2001 con el año 2008 y tomando como referencia la norma NOM- 138-SEMARNAT/SS-2003 que define los límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos, se observó una disminución sustancial en los valores, atribuida a la atenuación natural, por lo que disminuyeron los volúmenes de material contaminado. Con estos resultados y con la aprobación de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), se procedió a retirar el producto libre y material impregnado para su destrucción térmica. Al suelo contaminado con hidrocarburos se procedió a su remediación por medio de una biopila *ex situ* con un volumen de 66.1 m<sup>3</sup> (antes del tratamiento se realizaron análisis físico, químicos y bacteriológicos para obtener los valores de inicio). Durante el tratamiento se agregaron 79.32 lts de surfactante, 52.88 kg de fertilizante y

12 kg de bacterias. Durante el proceso (49 días naturales), se efectuó el control del contaminante, la humedad, temperatura, pH, nitrógeno, fósforo, materia orgánica y cuenta bacteriana. Al final del tratamiento se realizó un último análisis obteniendo valores de hidrocarburos fracción pesada, media, ligera y aromáticos polinucleares inferiores a los límites máximos permisibles de la NOM- 138-SEMARNAT/SS-2003, y se solicitó a la PROFEPA la liberación de los suelos afectados.

**Torres, K.** (2009) en su investigación titulado “**Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos**”, tuvo como objetivo realizar una revisión bibliográfica de la biorremediación y los métodos más conocidos de dicha técnica, asimismo se indican las causas de los derrames de crudo en Colombia y la normatividad que rige el manejo ambiental que debe dársele a dicha problemática. La metodología consistió en identificar los microorganismos en la biorremediación, por ende, las etapas de trabajo se determinaron mediante el análisis, diseño y evaluación en la aplicación de los distintos métodos de biorremediación aplicados. Finalmente se concluyó que la contaminación de suelos por productos, compuestos o desechos orgánicos de la industria petrolera pueden ser tratados y recuperados ecológicamente con la biorremediación, basada en la estimulación de los microorganismos (hongos, bacterias y microorganismos concretos) para adecuación de los factores abióticos.

### **1.2.2. Antecedentes Nacionales**

En la tesis titulada "**Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante compost de aserrín y estiércoles**", se tuvo como objetivo determinar la recuperación de un suelo contaminado con hidrocarburos, usando aserrín y estiércol,

empleando como planta indicadora al “maíz” *Zea mays* L. de la variedad Marginal. T-28. Para ello se tomó muestras de suelo de la Refinería la Pampilla, ubicado en Carretera Ventanilla Km 25 distrito Ventanilla, provincia del Callao. Se instaló el experimento a nivel de bioensayo, en el Laboratorio de Fertilidad de suelos de la Universidad Nacional Agraria la Molina, aplicándose el modelo estadístico de Diseño Experimental Completamente al Azar (DCA), con tres repeticiones y doce tratamientos sumando un total de 36 macetas experimentales, para lo cual se empleó estiércol y aserrines como sustrato a la planta indicadora de “maíz” *Zea mays*, L sembrados y controlados por un periodo de dos meses. Los resultados de la dosificación del suelo contaminado por hidrocarburos, estiércol y aserrín en promedio disminuyo 22.5 por ciento el contenido de hidrocarburos en el suelo empleando solo estiércol disminuyo solo 16.5 por ciento y usando solamente aserrines disminuyo 9.6 por ciento. Concluyéndose, que el tratamiento (T3) suelo contaminado más vacaza mas aserrín de bolaina tuvo mejores resultados, puesto que la concentración inicial de hidrocarburos totales de petróleo (TPH) fue de 21.81 gr de TPH/kg de suelo, ha disminuido en 16.28 gr de TPH/kg de suelo, que representa una reducción del 25 %. Siendo este tratamiento lo más recomendable a usar (Buendía, 2012).

**Canasa, A.** (2009) en su tesis titulado **“Remediación de suelos contaminados en operaciones de perforación y manejo del petróleo crudo en la selva peruana”**, tuvo como objetivo identificar las principales tecnologías para el tratamiento de suelos contaminados con petróleo y remediar los suelos contaminados en operaciones de perforación aplicando tecnologías adecuadas y manejo del petróleo crudo en la selva peruana, la metodología consistió en seleccionar una tecnología de limpieza, en evaluación de la tecnología, aplicación de procedimiento químico de estabilización y enriquecimiento de cortes, seguidamente determinado por un control de calidad y evaluación de los estándares de calidad.

Concluyéndose que la mayoría de las técnicas innovadoras que existen en la actualidad para el tratamiento de los suelos contaminados requieren equipos especiales y consumos elevados de recursos energéticos y de otro tipo para su aplicación.

### **1.3.Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

- Evaluar la eficiencia entre el orange Degreaser 1000 y el orange degreaser 1000 forte en la remediación de los suelos contaminados con diésel B5 mediante la técnica de biopilas.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Construir las biopilas de ensayo con la finalidad de realizar los análisis entre los dos agentes biodegradables en la remediación del suelo contaminado con diésel B5.
- Analizar el efecto del orange Degreaser 1000 y el orange degreaser 1000 forte en la remediación de los suelos contaminados con diésel B5 mediante el análisis de los parámetros orgánicos a fin de conocer la calidad del suelo antes y después de la remediación.
- Determinar la remoción de contaminantes de cada agente biodegradable en la remediación del suelo contaminado con diésel B5 mediante el cálculo de porcentaje de remoción de contaminantes.

## **1.4. Justificación e importancia**

### **1.4.1. Justificación**

El presente trabajo de investigación surge ante la problemática de la contaminación de los suelos y agua por hidrocarburos y los elevados costos de implementación, operación y manteniendo en tecnologías de remediación de suelos convencionales, lo cual ha conducido a la búsqueda de tecnologías alternativas que alcancen la eficiencia necesaria para reducir los contaminantes de hidrocarburos presentes en el suelo y agua de tal manera que permita mitigar el impacto a la salud humana y el ambiente.

La biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos, mediante el uso de biopilas o compostajes, se constituye en una técnica de fácil ejecución y acceso al insumo remediador, presentando una alternativa viable, ecológica y de gran aceptación. El limitado acceso en la adquisición del insumo remediador, el cual presenta una alternativa viable, ecológica y ambientalmente segura para los trabajos de remediación en los distintos escenarios de la matriz suelo y agua.

En este sentido, si se logra llevar a una mayor escala a nivel macro y no solo a nivel laboratorio; será un logro importante para el país, pues existen gran cantidad de suelos contaminados por hidrocarburos.

### **1.4.2. Importancia**

La investigación va dirigida al sector hidrocarburos, como información técnica para su replicación a mediana y gran escala, para remediar suelos contaminados con hidrocarburos ante los derrames producidos durante el transporte y distribución. Asimismo, como una tecnología

alternativa en la gestión de sitios contaminados con hidrocarburo (diésel B5). En este sentido, contribuir a mejorar la calidad del ambiente realizando el diagnóstico, remediación y monitoreos dando cumplimiento a los estándares de calidad ambiental de esta manera se evitaran dejar pasivos ambientales manteniendo un ambiente saludable para las actividades del ser humano.

## **1.5.Hipótesis**

### **1.5.1. Hipótesis general**

- El agente biodegradable Orange Degreaser 1000 Forte seria más eficiente que el agente biodegradable Orange Degreaser 1000 en la remediación de los suelos contaminados con diésel B5.

### **1.5.2. Hipótesis específicos**

- La construcción de las biopilas de ensayo influiría favorablemente en la remediación del suelo contaminado con diésel B5
- El efecto de cada agente biodegradable influiría favorablemente en la remediación de los suelos contaminados con diésel B5
- La remoción de contaminantes con el agente biodegradable Orange Degreaser 1000 Forte manifestaría mejores resultados que el agente biodegradable Orange Degreaser 1000 en la remediación del suelo contaminado con diésel B5.

## II. Marco teórico

### 2.1. Bases teóricas

#### 2.1.1. Características del diésel B5

De acuerdo a la Hoja de Datos de Seguridad de Materiales para diésel B5 se mencionan las siguientes consideraciones (PETROPERU, 2014)

##### **Composición**

El diésel B5 está constituido por una mezcla de 95% V de diésel N°2 y 5% V de Biodiésel B100; a su vez el diésel N°2 es una mezcla compleja de hidrocarburos en el rango aproximado de C9 a C30 y el Biodiésel B100 se compone principalmente de ésteres mono-alquílicos de ácidos grasos de cadena larga.

##### **Usos**

En motores diésel de vehículos para el transporte terrestre (automóviles, camiones, ómnibus, entre otros). En plantas de generación eléctrica. En equipos para la industria en general (minería, pesquería, construcción, sector agrícola, entre otras).

##### **Identificación de peligros**

El producto es una sustancia combustible e inflamable. La presencia de fracciones volátiles puede generar vapores inflamables. La clasificación de riesgos según la NFPA (National Fire Protection Association) es la siguiente; para Salud: 0, Inflamabilidad: 2 y Reactividad: 0.

Los peligros también se pueden asociar a los efectos potenciales a la salud: **En contacto con los ojos** causa irritación con sensación de ardor, ocasionando efectos más serios si es por un periodo prolongado. **En contacto con la piel**, puede causar irritación, sequedad o desgrase

de la piel. En algunos casos el contacto repetitivo ocasiona decoloración e inflamación. En caso de inhalación, causa dolor de cabeza, irritación nasal y respiratoria, náuseas, somnolencia, dificultad para respirar, depresión del sistema nervioso central y pérdida de la conciencia. **En caso de ingestión**, causa irritación en la garganta y el estómago, diarrea y vómitos. Puede ingresar a los pulmones durante la ingestión o el vómito y causar neumonía química con fatales consecuencias.

### **Medidas en caso de vertido accidental**

*En el caso de derrames pequeños y medianos*, detener la fuga, absorber el producto con arena, tierra u otro material absorbente y ventilar la zona afectada, recoger el producto y el material usado como absorbente, colocarlo en un depósito identificado y proceder a la disposición final de acuerdo a un procedimiento implementado.

*En caso de derrames de gran proporción*, detener la fuga si es posible, evacuar al personal no necesario y aislar el área, eliminar toda fuente probable de ignición, contener el derrame utilizando tierra, arena u otro material apropiado, utilizar agua en forma de rocío para dispersar los vapores, evitar que el producto entre al desagüe y fuentes de agua; recoger el producto y colocarlo en recipientes identificados para su posterior recuperación. Si es necesario contactar con organismos de socorro y remediación. El personal que participa en las labores de contención del derrame debe usar un equipo completo de protección personal.

### **Información ecológica**

El producto al ser liberado al medio ambiente presenta la evaporación de sus fracciones volátiles, sin embargo, la fracción más pesada al entrar en contacto con el suelo ocasiona un impacto en la composición y propiedades del terreno. Al entrar en contacto con el agua forma

una capa superficial que flota ocasionando una disminución de la concentración de oxígeno gaseoso. Presenta una lenta biodegradabilidad y además puede ser tóxico para la vida acuática.

### **2.1.2. Impacto del hidrocarburo**

#### **Impacto del hidrocarburo en el suelo**

El suelo es un cuerpo natural que es parte integrante del escenario donde ocurren los ciclos biogeoquímicos, hidrológicos y de la cadena alimentaria. Asimismo, es el espacio donde se realizan actividades agrícolas y ganaderas, y es la base para el establecimiento de áreas verdes. El suelo es un recurso natural complejo, dinámico y su equilibrio depende de la interacción entre sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Buendía, 2012).

Escalante (2000), menciona que los factores que afectan la distribución de los hidrocarburos en los suelos son principalmente el volumen del derrame, la viscosidad del petróleo a la temperatura prevaleciente en el ambiente y la composición del suelo. Los compuestos de alta viscosidad como el crudo pesado tienden a moverse horizontalmente, mientras que la gasolina y aceites de baja viscosidad penetran fácilmente en el suelo.

El paso de los hidrocarburos a través de la matriz del suelo (lixiviación) depende a su vez de la textura del suelo y la solubilidad de los hidrocarburos en agua. Además, en suelos muy arcillosos las moléculas polares pueden ser adsorbidas. Menos del 5% de los compuestos del crudo o productos refinados (principalmente aromáticos de bajo peso molecular e hidrocarburos polares) son solubles en agua (Escalante, 2000). Luego, gran parte de los hidrocarburos queda retenida en el suelo. La actividad microbiana transforma los hidrocarburos

en metabolitos más solubles y por lo tanto más móviles en el suelo, favoreciendo su solubilización y lixiviación.

Martínez & López (2001), mencionan que el ingreso de hidrocarburos al suelo tiende a producir un efecto de hidrofobicidad, lo que resulta en la disminución de la tasa de infiltración. Los hidrocarburos se acumulan en los poros que se forman entre las partículas del suelo produciéndose una reducción en la disponibilidad de oxígeno y la permeabilidad. Reporta cambios en la textura de un suelo arcilloso a migajón arcilloso, a concentraciones de 150 mil ppm de combustóleo, por aumento importante de las arenas y disminución de las arcillas, observando además incrementos importantes en la concentración de materia orgánica a mayor concentración de gasolina y combustóleo. El mismo autor también señala que el incremento de este parámetro se debe principalmente a la presencia de material patogénico recalcitrante, lo cual puede representar un riesgo ecotóxico. Para los parámetros pH, conductividad eléctrica y densidad aparente el mismo autor no reporta variaciones significativas para suelos arcillosos contaminados con diferentes concentraciones de diésel, combustóleo y gasolina.

### **Impacto del hidrocarburo en las plantas**

La gran mayoría de los hidrocarburos de petróleo son considerados compuestos tóxicos. Los efectos de estos compuestos sobre las plantas son en la mayoría de los casos subletales, es decir que no se manifiestan a través de la mortalidad, sino de manera indirecta modificando el crecimiento, la reproducción y la fotosíntesis. Los efectos adversos sobre el desarrollo de las plantas varían en función de la estructura química del hidrocarburo, su concentración en el suelo y la especie de planta. La toxicidad disminuye en el siguiente orden: compuestos aromáticos, naftalenos, olefinas y cadenas no ramificadas parafínicas. Altas concentraciones

de hidrocarburos limitan y/o alteran la germinación de las semillas y el crecimiento de las plantas (Chaineau, Morel, & Oudot, 1996).

Por otro lado, reporta una reducción de más del 80% en la biomasa seca de las partes aéreas para dos especies: cebada y frejol, observando además síntomas de clorosis en las hojas y alteración del desarrollo vegetativo. La inhibición del crecimiento fue mayor al incrementarse la concentración del contaminante.

### **Impacto de los hidrocarburos en las semillas.**

Los hidrocarburos de petróleo pueden ingresar a las semillas y alterar las reacciones metabólicas y/o matar al embrión por toxicidad directa aguda. La inhibición de la germinación también está correlacionada con las propiedades hidrofóbicas de los hidrocarburos, las cuales evitan o reducen el intercambio de gases y agua necesario en esta etapa. Evaluaciones sobre la fitotoxicidad de hidrocarburos señalan que la respuesta a la presencia de hidrocarburos durante la germinación varía de una especie y otra. El mismo autor señala que la resistencia de semilla de algunas especies vegetales a los efectos de los hidrocarburos muestra el siguiente orden decreciente: girasol, frejol, trigo, trébol, maíz, cebada, lechuga. También indica que la incidencia de infecciones por hongos incrementa conforme aumenta la concentración de hidrocarburos (Chaineau, Morel, & Oudot, 1996).

### **2.1.3. Tecnologías de biorremediación de suelos**

El uso de tecnologías de biorremediación para el tratamiento de sitios contaminados es relativamente reciente y presenta varias ventajas respecto de los métodos físico-químicos tradicionales (Eweis, Ergas, Chang, & Schroed, 1998). Algunas de estas ventajas son: (i) bajos

costos de instalación y operación; (ii) es una tecnología simple y de fácil aplicación; (iii) es un tratamiento seguro con un mínimo de riesgos a la salud y (iv) es tecnológicamente efectivo.

De acuerdo con estudios realizados en los Estados Unidos de América y el Reino Unido, el mercado de la biorremediación para el tratamiento de suelos contaminados se ha incrementado debido a que los costos pueden reducirse entre 65% y 80%, respecto de los métodos físico-químicos (Zechendorf, 1999). La aceptación de la biorremediación como una estrategia de limpieza viable depende, en muchos casos, de sus costos. Es decir, cuando el método biológico propuesto es menos costoso que los tratamientos físicos y químicos viables para el tratamiento de un sitio y de un contaminante en particular. Asimismo, muchas de las estrategias de biorremediación son competitivas en términos de costos y eficiencia sobre una matriz contaminada (Semple, Reid, & Fermor, 2001). Entre las tecnologías de biorremediación más comunes, se muestran en la tabla 1.

*Tabla 1. Tecnologías de biorremediación*

<b>Tipo de tecnología</b>	<b>Principio de funcionamiento</b>
Bioaumentación o Bioincremento	Adición de microorganismos al suelo contaminado cuando la población autóctona carece de capacidad degradadora (preparaciones comerciales, producción de inóculos).
Bioestimulación	Adición de estimulantes de la actividad microbiana autóctona como co-sustratos o aceptares de electrones para la degradación vía anóxica. Fertilización.
Bioventeo	Suministro de oxígeno a través del suelo para estimular la población microbiana netamente aerobia.
Composteo (Biopilas)	El material contaminado se coloca sobre la superficie de la celda en forma de pilas que se cubren para crear condiciones termófilas, periódicamente se mezclan con composta para favorecer la biodegradación.
Biocultivo (landfarming)	Se aplican las mismas técnicas y los mismos equipos que se utilizan en la agricultura.
Atenuación Natural	Disminución de la concentración de contaminantes en suelo por efecto de las condiciones naturales del sitio y especialmente de la flora nativa.

Fuente: Adaptado de Saval, S. (2006)

#### **2.1.4. Composteo o biopilas**

El composteo es un proceso biológico mediante el cual es posible convertir residuos orgánicos en materia orgánica estable (composta madura), gracias a la acción de diversos microorganismos. Las aplicaciones más comunes del composteo incluyen el tratamiento de residuos agrícolas, de desechos de jardinería y cocina, de residuos sólidos municipales y de lodos. Sin embargo, investigaciones en laboratorio, piloto y a gran escala, han demostrado que el proceso de composteo así como el uso de composta madura, es una solución de bajo costo y tecnológicamente efectiva para remediar suelos contaminados por residuos orgánicos peligrosos como los HTP, solventes, explosivos, pesticidas e HAP (Eweis, Ergas, Chang, & Schroed, 1998; Semple, Reid, & Fermor, 2001).

Los principios básicos del composteo de residuos peligrosos o contaminantes orgánicos son los mismos que para el composteo de desechos no peligrosos. En ambos casos, es necesario optimizar cinco parámetros: la aireación, la temperatura, el contenido de humedad, la relación carbono/nitrógeno (C/N) y el pH (Eweis, Ergas, Chang, & Schroed, 1998). Debido a que los contaminantes orgánicos comúnmente no se encuentran en concentraciones suficientes para soportar un proceso de composteo, el material contaminado debe mezclarse con sustancias orgánicas sólidas biodegradables como aserrín, paja, bagazo, estiércol, composta madura y desechos agrícolas. Estos materiales son conocidos como agentes de volumen y se utilizan en el proceso de composteo con tres finalidades básicas: a) asegurar la generación del calor necesario para el proceso; b) mejorar el balance y disponibilidad de nutrientes (C/N) para la actividad microbiana y c) aumentar la porosidad de la composta y con esto la aireación y capacidad de retención de agua (Alexander, 1994; Eweis, Ergas, Chang, & Schroed, 1998; Semple, Reid, & Fermor, 2001).

Los procesos de composteo pueden aplicarse para tratar suelos y sedimentos contaminados con compuestos orgánicos biodegradables. El composteo se ha usado con éxito, para la remediación de suelos contaminados con clorofenoles, gasolina, HTPs, HAPs, y se ha demostrado también una reducción en la concentración y toxicidad de explosivos hasta niveles aceptables (Van Deuren, Wang, & Ledbetter, 1997; Semple, Reid, & Fermor, 2001).

En la práctica y en general, una de las tecnologías de composteo más utilizada para el tratamiento de extensas áreas de suelos contaminados, principalmente por HTPs, se lleva a cabo en condiciones aerobias y se conoce como biopilas, bioceldas, pilas de composteo o sistemas de composteo (Iturbe-Argüelles, Flores-Torres, Chávez-López, & Roldán-Martín, 2002).

Las biopilas, son una forma de composteo en el cual se forman pilas con el suelo contaminado y agentes de volumen. El sistema, que puede ser abierto o cerrado, se adiciona con nutrientes y agua y se coloca en áreas de tratamiento, que incluyen sistemas para coleccionar lixiviados y alguna forma de aireación (Eweis, Ergas, Chang, & Schroed, 1998).

La elección del tipo de sistema de biopilas depende principalmente de las condiciones climáticas y de la composición de compuestos orgánicos volátiles presentes en el suelo contaminado. Generalmente las biopilas se diseñan como sistemas cerrados, ya que éstas permiten mantener la temperatura y evitar la saturación de agua debido a lluvias, además de disminuir la evaporación de agua y de compuestos orgánicos volátiles (Eweis, Ergas, Chang, & Schroed, 1998).

Dos de los sistemas de biopilas más empleados para el tratamiento de suelos contaminados, son las biopilas alargadas y las biopilas estáticas (Figura 1). La diferencia entre ambas tecnologías radica en el método de aireación que se emplea para proveer de oxígeno el proceso de composteo (Eweis,Ergas, Chang, & Schroed, 1998).

En los sistemas estáticos, el material a compostear se airea por inyección (sopladores) o extracción (bombas de vacío) a través de tuberías perforadas, colocadas debajo de las pilas. En estos sistemas, la aireación implica aireación forzada a través del suelo por inyección o extracción a través de tuberías perforadas. En el caso de las biopilas alargadas, el material es mezclado periódicamente con el uso de un equipo móvil (tractores o máquinas diseñadas especialmente para este fin), este tipo de biopilas se considera actualmente como la alternativa más económica de composteo (Van Deuren, Wang, & Ledbetter, 1997).

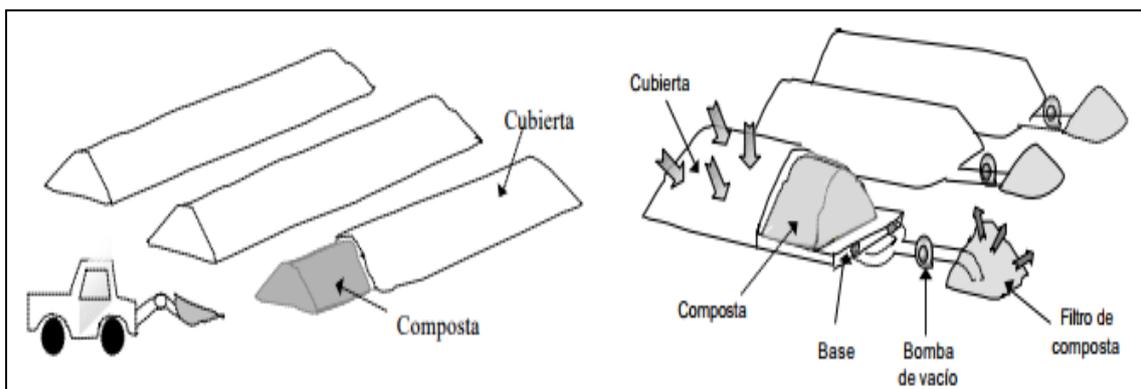


Figura 1. Biopilas alargadas (Izquierda) y las biopilas estáticas (Derecha)

Fuente: Van Deuren, Wang, & Ledbetter, 1997

Algunas limitaciones del proceso son: (i) necesidad de espacio; (ii) necesidad de excavar el suelo contaminado, lo que puede provocar la liberación de COV; (iii) incremento volumétrico del material a tratar y (iv) no pueden tratarse metales pesados (Van Deuren et al. 1997).

El costo del composteo está en función de: (i) la cantidad y fracción de suelo a tratar; (ii) disponibilidad de agentes de volumen; (iii) tipo de contaminantes y proceso; (v) necesidad de tratamientos previos y/o posteriores y (vi) necesidad de equipos para el control de COV. Es una tecnología que puede llevar desde algunas semanas hasta varios meses. Los costos típicos se encuentran entre 130 y 260 USD/m<sup>3</sup> (Riser-Roberts 1998).

Las poblaciones de bacterias y hongos existentes en los suelos emplean como fuente de carbono a los hidrocarburos de petróleo en condiciones aeróbicas o anaeróbicas, logrando así su degradación. Algunas de las especies de bacterias y hongos con capacidad para degradar hidrocarburos son:

*Tabla 2. Bacterias y Hongos con capacidad para degradar hidrocarburos*

<b>Bacterias</b>	<b>Hongos</b>
a. Pseudomonas	a. Aspergillus,
b. Arthrobacter	b. Cephalosporium,
c. Alcaligenes	c. Cunninghamella,
d. Coiynebacterium	d. Torulopsis,
e. Flavobacterium	e. Trichoderma y Saccharomyces.
f. Achromobacter	
g. Micrococcus,	

Fuente: Buendía (2012)

No todos los compuestos de petróleo se degradan con la misma facilidad por los microorganismos del suelo. Se tiene las siguientes generalizaciones para la biodegradación de hidrocarburos:

- Los compuestos alifáticos de cadena lineal (parafinicos) se degradan más fácilmente que los compuestos aromáticos.
- Los hidrocarburos saturados son más fáciles de degradar que los insaturados.

- Las cadenas simples de hidrocarburos alifáticos insaturados son más fáciles de degradar que las cadenas ramificadas. La introducción de ramificaciones en la molécula de hidrocarburo reduce la biodegradación.
- La presencia de enlaces C-C dobles o triples dificulta la degradación.
- Las cadenas largas de hidrocarburos alifáticos son más fáciles de degradar que las cadenas cortas. Los hidrocarburos con una longitud de cadena menor a nueve carbonos son difíciles de degradar debido a su toxicidad para los microorganismos.

### **2.1.5. Factores del proceso de biorremediación**

Los principales factores que determinan el proceso de degradación son oxígeno, pH, humedad, materia orgánica, temperatura, nutrientes y Textura del suelo, los cuales se detallan a continuación:

**Oxígeno (O<sub>2</sub>).** La disponibilidad de oxígeno es necesaria para la bio-oxidación de los compuestos orgánicos. Las reacciones de oxidación son las de mayor importancia en la biodegradación de los hidrocarburos. Las condiciones aeróbicas se logran mediante el volteo mecánico de los suelos con maquinaria agrícola, evitando de esta manera que se formen zonas saturadas de agua por riego excesivo. El volteo de los suelos no solo introduce oxígeno al suelo sino que además redistribuye los nutrientes, contaminantes y microorganismos, favoreciendo la degradación de los contaminantes. La frecuencia de aireación del suelo dependerá del tipo de suelo y la concentración de contaminantes (Buendía, 2012).

**pH.** Determina el grado de adsorción de iones por las partículas del suelo, afectando así su solubilidad, movilidad, disponibilidad y formas iónicas de un contaminante y otros constituyentes del suelo (Alexander, 1994). Para mantener el crecimiento de los

microorganismos degradadores de hidrocarburos, el pH del suelo debe tener valores en el rango de 6 – 8. Valores de pH mayores a 6,5 minimizan la solubilización y migración de los metales pesados y proveen las condiciones óptimas para la biodegradación. Si los suelos tuvieran valores de pH muy bajos se sugiere emplear cal como material encalante (Buendía, 2012).

**Humedad.** Una alta humedad puede impedir el movimiento de aire a través del suelo, es decir puede reducir la disponibilidad de oxígeno, lo que afecta los procesos de biorremediación, así como provocar problemas durante la excavación y transporte, además de aumentar costos durante el uso de métodos de remediación térmicos (Van Deuren, Wang, & Ledbetter, 1997). Por otro lado, la humedad es necesaria para el crecimiento adecuado de los microorganismos del suelo. Durante las operaciones propias de un biorremediación los suelos pueden perder humedad por evaporación por lo que es necesario regar periódicamente las celdas de tratamiento. La USEPA (1995) recomienda mantener la humedad del suelo en el rango de 40% a 85% de la capacidad de campo (Buendía, 2012).

**Materia orgánica.** La fracción orgánica de los suelos está constituida por desechos vegetales y animales, que generalmente se le conoce como humus. Un suelo con alto contenido húmico, disminuye la movilidad de los compuestos orgánicos y así la eficiencia de ciertas tecnologías (extracción de vapores, lavado de suelo) (Eweis, Ergas, Chang, & Schroed, 1998).

**Temperatura.** La temperatura tiene una influencia importante en la tasa de degradación de los hidrocarburos, debido a que el crecimiento y la actividad metabólica de los microorganismos están en función de la misma. La USEPA (2003) indica que en el rango de

10 a 45°C, la actividad microbiana se duplica cada 10 °C, siendo el rango óptimo para el proceso de biorremediación.

**Nutrientes.** Los microorganismos requieren de nutrientes inorgánicos como nitrógeno y fósforo para mantener su crecimiento. En general, se recomienda agregar nutrientes usando fertilizantes agrícolas comerciales como urea, nitrato de amonio o superfosfato triple. Dichos compuestos pueden adicionarse en solución junto con el riego o en forma seca incorporándose mediante el volteo de los suelos con la maquinaria agrícola. La dosificación de nitrógeno y fósforo se realiza en función de la concentración de contaminante de acuerdo a una relación que vincula C: N: P y que varía según los autores. La USEPA (2003) sugiere una relación 100:1, 10:1, 1:0,5.

**Textura del suelo.** La textura del suelo afecta la permeabilidad, el contenido de humedad y la densidad del suelo. Para asegurar que la disponibilidad de oxígeno, la distribución de nutrientes y el contenido de humedad se mantengan en rangos efectivos para la biodegradación es importante conocer la textura, la estructura y composición de los suelos (Guerrero J. , 2001).

En la siguiente tabla 3 se resumen las condiciones deseables a tener en cuenta durante el proceso de degradación del estiércol.

*Tabla 3. Condiciones deseables en el proceso de degradación del estiércol*

CARACTERISTICAS	RANGO DESEABLE	RANGO OPTIMO
Relación carbono/nitrógeno	20:1, 40:1	25:1,30:1
Contenido de humedad	40-65%	50-60%

Concentración de Oxígeno	Mayor 5%	Mucho mayor al 5%
pH	5.5-9.0	6.5-8.0
Temperatura	45-46	55-60

Fuente: Avendaño (2003).

### 2.1.6. Beneficios del estiércol y aserrín

Juan Guerrero (2001), establece que es una forma de materia orgánica de excrementos descompuestos de animales (Vaca, cerdo, ovino, gallina, caballo, aves guaneras, etc.). Por otro lado, consideran que el aserrín es una materia orgánica de origen vegetal, derivado del aserrío de especies maderables duras y suaves, como la bolaina, el pino, capirona y otros. Los beneficios de la materia orgánica de origen animal y vegetal en las plantas son:

- Son fuente de carbono y nitrógeno para los microorganismos.
- Aumento del vigor y crecimiento del tallo y raíces, desde la germinación hasta la emergencia de las plántulas, por su efecto como rizo bacterias promotoras del crecimiento vegetal.
- Genera un mecanismo de supresión de insectos y enfermedades en las plantas, ya que pueden inducir la resistencia sistémica de los cultivos a enfermedades.
- Consume los exudados de raíces, hojas, flores y frutos, evitando la propagación de organismos patógenos y desarrollo de enfermedades.
- Incrementa el crecimiento, calidad y productividad de los cultivos.
- Promueven la floración, fructificación y maduración por sus efectos hormonales en zonas meristemáticas.
- Incrementa la capacidad fotosintética por medio de un mayor desarrollo foliar y radicular.

Por otro lado, los beneficios de la materia orgánica en los suelos son:

- Mejora la estructura y agregación de las partículas del suelo, reduce su compactación, incrementa los espacios porosos y mejora la infiltración del agua.
- Controla las poblaciones de microorganismos patógenos que se desarrollan en el suelo por competencia.
- Incrementa la biodiversidad microbiana, generando las condiciones necesarias para que los microorganismos benéficos nativos prosperen.
- La relación C/N, expresa las unidades de Carbono por unidades de Nitrógeno que contiene un material. Una relación adecuada entre estos dos nutrientes, favorecerá un buen crecimiento y reproducción. La relación C/N óptimo para el inicio de la degradación está comprendida entre 25-35/1, esta relación va bajando hasta llegar a valores cercanos a 10-15/1 y es cuando el material está listo para ser usado.

#### **2.1.7. Unidades Formadoras de Colonias (UFC)**

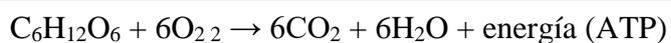
Es un método ampliamente utilizado debido a su practicidad. Antes de realizar la siembra de una muestra mediante este método, usualmente se realizan diluciones seriadas. El resultado se expresa en UFC/mL o UFC/g (Agropecuarias, 2015).

Las unidades formadoras de colonias (UFC) se miden en unidades de volumen (UFC/ml) o masa (UFC/g), en esta ocasión el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, los resultados lo emitieron en UFC/g suelo seco.

### 2.1.8. Respiración aeróbica

Es un tipo de metabolismo energético en el que los seres vivos extraen energía de moléculas orgánicas, como la glucosa, por un proceso complejo en el que el carbono es oxidado y en el que el oxígeno procedente del aire es el oxidante empleado (De los Angeles Gama, 2007).

La reacción química global de la respiración es la siguiente (Campos, 2002):



**Ecuación 1**

A continuación se muestra el proceso microbiológico que ocurre en las biopilas debido al consorcio microbiano presente, ver figura 2 proceso microbiológico.

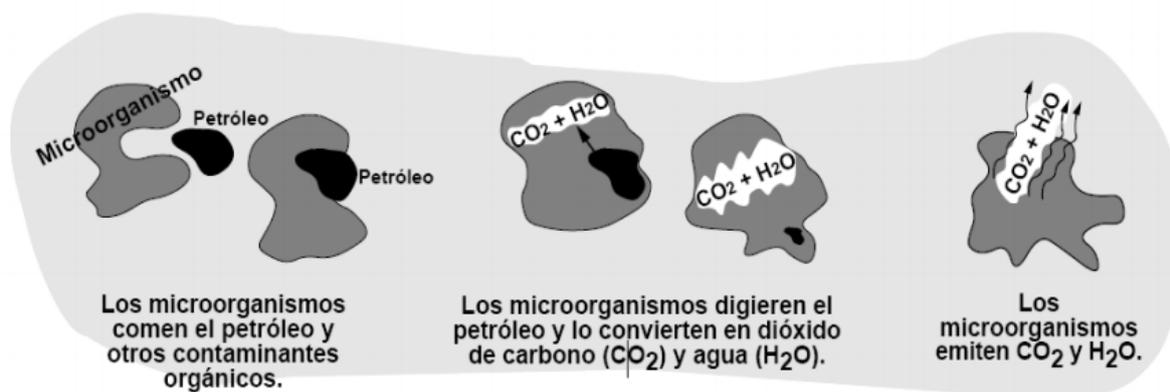
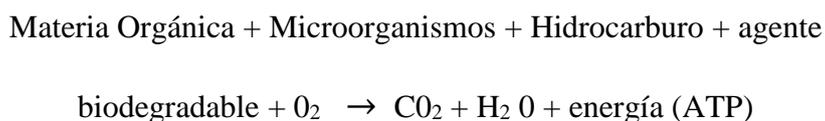


Figura 2. Proceso microbiológico

Fuente: Elaboración propia

La siguiente ecuación muestra el proceso microbiológico desarrollado en las biopilas.



**Ecuación 2**

### **2.1.9. Beneficios de los Agentes biodegradables**

#### **Orange Degreaser 1000**

Es la nueva tecnología ecológica de limpieza, disuelve residuos parafínicos y asfaltenos. Remueve totalmente grasas, minerales, aceites, lubricantes, jabones metálicos ó dispersiones aplicables especialmente en partes y piezas metálicas, plásticas, o maderas que están sujetos a esfuerzos mecánicos y carbonización por grasas pesadas, formulado a base de solventes orgánicos y tenso activos no iónicos, está compuesto de extractos de cáscaras cítricos (TERPENOS), especialmente formulado para un máximo desempeño en remoción de suciedad y grasas (Distribuidora de insumos industriales, 2017).

#### **Propiedades**

- Aspecto: Líquido
- Color: Ligeramente naranja / Olor: Característico cítrico
- Densidad: Aprox. 1 / PH: Cercano al neutro
- Flash Point: 94°C mínimo de acuerdo ASTM D-56
- Solubilidad: total en los hidrocarburos y con cualquier tipo de agua.
- Biodegradabilidad: 100% bajo condiciones normales de acumulación

#### **Método de uso**

Se puede usar puro en caso de grasa pesada o con agua. La proporción varía de acuerdo a la impregnación de la grasa y suciedad, se recomienda 1 por 20 partes de diluyente en caso de grasa liviana. Para la limpieza de crudo recomienda 1 por 3 partes. La solución se puede aplicar con brocha, trapo o puede usarse por inmersión o aspersion. Dado que tiene acción residual puede usarse varias veces hasta que deje de ser eficiente por lo cual es recomendado realizar la

limpieza de partes en una tina. El tiempo a emplearse depende de la impregnación de la grasa, si la grasa persiste se debe poner en inmersión por 10 minutos.

### **Ventajas**

- Remueve rápidamente grasas y aceites pesados. No ataca metales o pinturas.
- Diluible hasta en 20 partes.
- Olor a naranja.
- Es biodegradable y ecológico.

### **Orange Degreaser 1000 Forte**

Es un producto formulado a base de terpenos y tenso activos biodegradables y ecológicos, desarrollado para eliminar la contaminación producida por los derrames de petróleo, crudo, bunker 5, bunker 6, residual 500 así como sus derivados, disuelve residuos parafínicos y asfaltenos. Remueve totalmente grasas orgánicas e inorgánicas, minerales, aceites, lubricantes. No contiene solventes destilados de petróleo o hidrocarburo (Distribuidora de Insumos Industriales, 2017).

### **Propiedades**

- Aspecto: Líquido
- Color: Transparente / Olor: cítrico
- Densidad: Aprox. 1.3 / PH: Cercano al neutro
- Flash Point: no inflamable
- Solubilidad: total en los hidrocarburos y con cualquier tipo de agua.
- Biodegradabilidad: 100%

## Método de uso

Para eliminar el crudo, diluir hasta en 6 partes (1 parte del producto más 5 partes de agua). Para el caso de aceites, bunker 2, bunker 6, residual 500, gasolina y derivados; diluir hasta en 10 partes (1 parte del producto más 9 partes de agua). Puede diluirse en todo tipo de agua. Dado que tiene acción residual puede usarse varias veces hasta que deje de ser eficiente.

## Ventajas

- Elimina rápidamente el crudo, petróleo, grasas y aceites pesados.
- No ataca plásticos, metales, jebes o pinturas.
- Agradable olor a naranja.
- Es biodegradable y ecológico.

## 2.2. Marco legal

### Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo

Los ECA para Suelo constituyen un referente obligatorio para el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, y son aplicables para aquellos parámetros asociados a las actividades productivas, extractivas y de servicios (MINAM, 2017).

Tabla 4. Estándares de calidad de suelo

Parámetro	Suelo Agrícola (2)	Suelo Residencial/ Parques (3)	Suelo Comercial(4)/ Industrial/ Extractivo(5)	Métodos de ensayo
Fracción de hidrocarburos F2 (1) (>C10-C28)	1200	1200	5000	EPA 8015

Fuente: MINAM, 2017

(1)Fracción de hidrocarburos F2 o fracción media: Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contienen mayor a diez y hasta veintiocho átomos de carbono (>C10 a C28). Los hidrocarburos fracción media deben analizarse en los siguientes productos: mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo, petróleo crudo, gasóleo, diésel , turbosina, queroseno, mezcla de creosota, gasolvente, gasolinas, gas nafta, entre otros.

(2)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.

(3)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.

(4)Suelo comercial: Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla está relacionada con operaciones comerciales y de servicios.

(5) Suelo industrial/extractivo: Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla abarca la extracción y/o aprovechamiento de recursos naturales (actividades mineras, hidrocarburos, entre otros) y/o, la elaboración, transformación o construcción de bienes.

## **Decreto Supremo N° 012-2017-MINAM. Aprueban Criterios para la Gestión de Sitios Contaminados**

La presente norma tiene por objeto establecer los criterios para la gestión de sitios contaminados generados por actividades antrópicas, los cuales comprenden aspectos de evaluación y remediación, a ser regulados por las autoridades sectoriales competentes, con la finalidad de proteger la salud de las personas y el ambiente (MINAM, 2017).

### III. Método de investigación

#### 3.1. Tipo de investigación

La investigación empleó el método empírico de muestro no probabilístico, ya que la investigación empírica se fundamenta en la observación y experimentación de evidencias verificadas en laboratorio, muestreo probabilístico dado que el área de estudio se realizó a criterio del investigador requerido para cumplir con el objetivo de la presente investigación.

##### 3.1.1. Diseño, tipo y nivel de investigación

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación, se abarcaron los siguientes tipos y niveles de investigación:

- **Tipo de investigación: Cuantitativo**, dado que las variables se cuantifican, como la remediación de los suelos a través del porcentaje de remoción de la Fracción de hidrocarburos F2 (hidrocarburos fracción ligera: 10 – 28 átomos de carbono).
- **Diseño de investigación: Experimental**, ya que se ejecuta la manipulación de la variable agentes biodegradables (independiente), para luego medirse la variable dependiente siendo en este caso la remediación del suelo contaminado con diésel B5.
- **Nivel de investigación: Aplicativo**, ya que plantea resolver el problema de la contaminación de los suelos contaminados con diésel B5, utilizando los agentes biodegradables en las biopilas, para lo cual se evaluará la intervención con respecto a la concentración inicial.

### 3.2.Ámbito temporal y espacial

La presente investigación tuvo un tiempo de ejecución de 8 meses, iniciándose en el mes marzo del 2018. Desarrollándose en la unidad de la investigación en el almacén de la empresa Outsourcing Green S.A.C. ubicado en la Mz G Sub-lote 14-K - Comas, como referencia entre las Av. Trapiche y Av. Panamericana Norte.

### 3.3.Variables

En la siguiente tabla 5 y 6 se presentan la variable independiente y dependiente con sus respectivos indicadores

Tabla 5. Variable independiente

<b>VI: Los dos agentes biodegradables</b>			
<b>Conceptualización</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>	<b>Unidades</b>
Productos biodegradables y ecológicos, desarrollado para eliminar la contaminación producida por los derrames de petróleo	Características de los agentes biodegradables	Color Densidad Olor Biodegradabilidad	- - - -

Fuente: Elaboración propia, 2019

Tabla 6. Variable dependiente

<b>VD: Remediación de los suelos contaminados con DIÉSEL B5</b>			
<b>Conceptualización</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>	<b>unidades</b>
La acción de remediar el suelo contaminado con DIÉSEL B5	Características de las Biopilas	Área Volumen Pendiente Humedad Cantidad y tipo de sustrato Sistema de aireación	m <sup>2</sup> m <sup>3</sup> % % kg -

	pH	
	Conductividad eléctrica	
	Fosforo, potasio, CaCO <sub>3</sub>	
Caracterización	Materia orgánica	
del suelo	Textura (%arena, %limo, %arcilla)	
	Capacidad de intercambio catiónico	
Remoción de	F2	mg/kg
contaminantes		%

Fuente: Elaboración propia, 2019

### 3.4. Población y muestra

En la presente investigación se empleó el muestreo no probabilístico, ya que la elección del lugar se realizó a juicio del investigador por presentar facilidad logística del tesista y accesibilidad a la información. Las muestras se tomaron de las biopilas implementadas en el almacén de la empresa Outsourcing Green S.A.C., ubicado en la Mz G Sub-lote 14-K -Comas, como referencia entre las Av. Trapiche y Av. Panamericana Norte.

### 3.5. Materiales y equipos

#### 3.5.1. Materiales

Para el desarrollo de las biopilas en campo se emplearon los siguientes materiales:

- 384 kg de tierra contaminada con diésel B5,
- 08 kg de estiércol de Vaca
- 08 kg de aserrín
- 5.92 litros de orange degreaser 1000 forte

- 3.04 litros de orange degreaser 1000
- 58.8 m<sup>2</sup> de geomembrana
- 58.8 m<sup>2</sup> de plástico para cubrir las biopilas
- 80 unidades de guantes de jebe
- 20 unidades de mascarilla
- 02 baldes de 8 litros cada uno
- 02 unidades de rociador
- 01 Jarra de 1 litro
- 01 Lampa, Pico y Rastrillo

Mientras que para la toma de muestras de suelos se emplearon los siguientes materiales:

- 26 unidades de bolsas ziplock de 1000 gr.
- 20 unidades de frascos de vidrio para recolección de muestras
- 20 unidades de guantes de jebe
- 20 unidades de etiquetas para codificación de muestras

### **3.5.2. Equipo**

Para el desarrollo de la investigación se emplearon los siguientes equipos:

- 01 Global Navigation Satellite System (GNSS), navegador Garmin Etrex 10.
- 01 Balanza de precisión de 250 kg de capacidad

### **3.6.Procedimiento**

#### **3.6.1. Construcción de las biopilas**

Para la construcción de las Biopilas, lugar en donde se realizó las experimentaciones con los agentes biodegradables, se consideraron los siguientes aspectos:

- Volumen de suelo a remediar.
- Seleccionar el sitio óptimo para la construcción de las Biopilas
- Preparación de la base (sitio impermeable)

En este sentido, para la evaluación de la eficiencia entre los 2 agentes biodegradables se aplicó la técnica del composteo o biopilas y para fines de comparación se construyeron 4 biopilas, el primero con agente biodegradable Orange Degreaser 1000 Forte, aserrín y estiércol de vaca (MSF-02), el segundo con agente biodegradable Orange Degreaser 1000, aserrín y estiércol de vaca (MSO-02), el tercero solo con agente biodegradable Orange Degreaser 1000 Forte (MSF-01) y el ultimo solo con agente biodegradable Orange Degreaser 1000 (MSO-01).

Cada biopila se construyó con dimensiones de 0.7 m por 2.1 m y una pendiente de 2.38%, el suelo se impermeabilizo con geomembrana de polietileno de alta densidad.

La composición de sustratos por cada biopila es 2 kg de aserrín, 2 kg estiércol y 96 kg de suelo contaminado. Según se aprecia en la tabla 7 y figura 3 asimismo se muestra en el anexo N° 5 – Plano de Composición de Biopilas experimentales.

Tabla 7. Composición de cada biopila

Código	Descripción	Composición		
		Tierra contaminada (kg)	Estiércol (kg)	Aserrín (kg)
<b>MSF-01</b>	Tratamiento solo con Orange Degreaser 1000 Forte	96	-	-
<b>MSF-02</b>	Tratamiento con Orange Degreaser 1000 Forte, estiércol y aserrín	96	2	2
<b>MSO-01</b>	Tratamiento solo con Orange Degreaser 1000	96	-	-
<b>MSO-02</b>	Tratamiento con Orange Degreaser 1000, estiércol y aserrín	96	2	2

Fuente: Elaboración propia, 2019

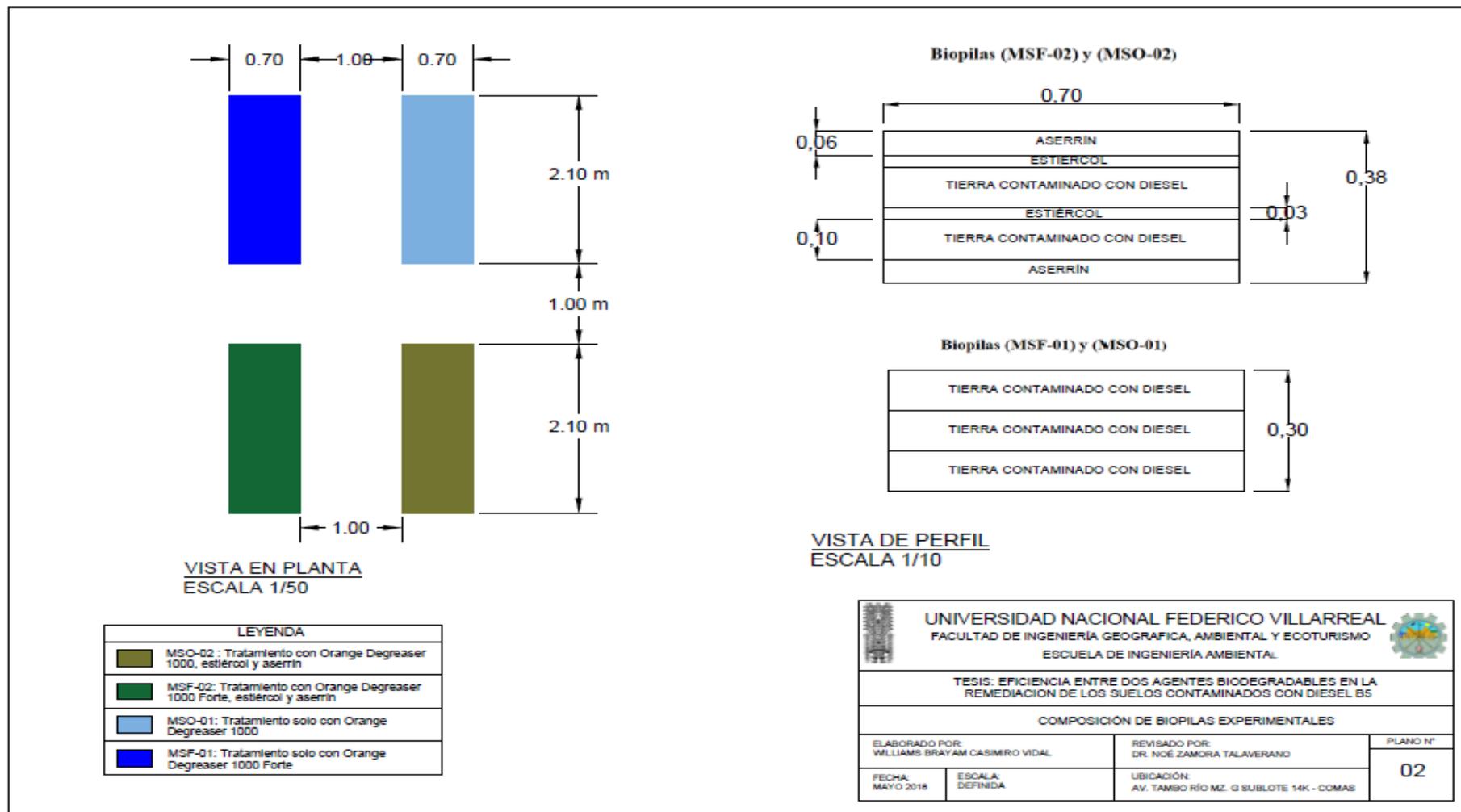


Figura 3. Dimensiones y distribución de las biopilas, 2019

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, las dosis agregadas de los agentes biodegradables: Orange Degreaser 1000 Forte y Orange Degreaser 1000 en cada biopila, fue conforme a la proporción agente y agua detallados en las fichas técnicas de los productos. Ver tabla 8.

Tabla 8. Dosis agentes biodegradables

Dosis	Orange Degreaser 1000 Forte		Orange Degreaser 1000	
	MSF-01	MSF-02	MSO-01	MSO-02
Proporción agente: agua	1:10	1:10	1:20	1:20
Agente (litros)	0.37	0.37	0.19	0.19
Agua (litros)	3.63	3.63	3.81	3.81
Total (litros) x semana	4	4	4	4

Fuente: Elaboración propia, 2019

### 3.6.2. Análisis del efecto de cada agente biodegradable

Las muestras de suelo tomadas de las Biopilas con tratamiento se analizarán en el laboratorio acreditado SGS del Perú S.A.C. para el análisis de los parámetros orgánicos, la caracterización del suelo y análisis microbiológico en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Molina (UNALM).

Con los resultados obtenidos del análisis en laboratorio se realizarán las comparaciones entre las 4 biopilas (MSO-01, MSO-02, MSF-01 y MSF-02), para posteriormente determinar la eficiencia en la remoción de contaminantes de cada biopila. Asimismo, se tomará en cuenta como referencia la normatividad nacional (estándares de calidad ambiental para suelo).

## Puntos de monitoreo

Para el monitoreo de fracción de hidrocarburos F2, las muestras se recolectarán de cada biopila (MSO-01, MSO-02, MSF-01 y MSF-02) en total (04) cuatro puntos de monitoreo, adicional se tomará una muestra de suelo contaminado sin tratamiento (MSR-01), Ver tabla 9. Por otro lado, para el análisis microbiológico se tomarán en total (06) muestras, una en cada biopila, una muestra de estiércol y otra de suelo limpio de la zona, en este último se analizará la caracterización total del suelo, ver tabla 10 y 11.

Tabla 9. Análisis de calidad de suelo

Parámetros	Unidad	Método de ensayo	Numero de muestras				
			MSR – 01	MSO – 01	MSO – 02	MSF – 01	MSF – 02
<b>Fracción 2 (F2)</b>	mg/kg	EPA 8015C; Rev. 3:2007. Nonhalogenated Organics by Gas Chromatography	1	4	4	4	4

Fuente: Elaboración propia, 2019

Tabla 10. Parámetros de evaluación en la caracterización del suelo

Análisis de suelo	Parámetros	Unidad
Caracterización	pH	Unidad pH
	CE	dS/m
	MO	%
	P	ppm
	K	ppm
	Carbonatos	%
	Textura	Clase textural
CIC	meq/100g	

Fuente: Elaboración propia, 2019

Tabla 11. Análisis microbiológico del suelo

Análisis de suelo	Parámetros	Unidad
Población microbiana	Bacterias	UFC/ g suelo seco
	Actinomicetos	UFC/ g suelo seco
	Hongos	UFC/ g suelo seco

Fuente: Elaboración propia, 2019

### Frecuencia de monitoreo

La frecuencia de monitoreo del parámetro Fracción 2 (F2) se realizó cada 15, 30, 45, 60 y 90 días en un periodo de 8 meses, la caracterización del suelo se realizó al inicio del tratamiento y el análisis microbiológico finalizando el proyecto.

### 3.6.3. Eficiencia de remoción

#### Determinación de la eficiencia de remoción

Con los resultados de la cuantificación obtenidos del laboratorio certificado, se calculará el porcentaje de remoción haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Remoción} = \left[ \frac{(C_{\text{inicial}} - C_{\text{final}})}{C_{\text{inicial}}} \right] \times 100$$

**Ecuación 3**

**Donde:**

C<sub>i</sub>: Concentración inicial

C<sub>f</sub>: Concentración final

Asimismo, los resultados que se obtuvieron se compararon con los ECA para suelo, ver tabla 12.

Tabla 12. Estándares de calidad de suelo

Parámetro	DS 011-2017-MINAM
Fracción de hidrocarburos F2 (>C10-C28)	1200 mg/kg (suelo agrícola/residencial) 5000 mg/kg (suelo comercial/ industrial/ extractivo )

Fuente: MINAM, 2017

#### IV. Área de estudio

La investigación se desarrolló en el Almacén de la empresa Outsourcing Green S.A.C., ubicado en la Mz G Sub-lote 14-K -Comas, como referencia entre las Av. Trapiche y Av. Panamericana Norte. Ver Figura 3

##### 4.1. Ubicación Política

- Sector: Av. Tambo Mz G Sub-lote 14-K
- Distrito: Comas
- Provincia: Lima
- Departamento: Lima

##### 4.2. Localización Geográfica

El área de estudio se localiza la siguiente coordenada UTM (274712E, 8681027N) a una altura de 311 msnm. Según se aprecia en la figura 4 asimismo se muestra en el anexo N° 4 – Plano de Ubicación del proyecto.

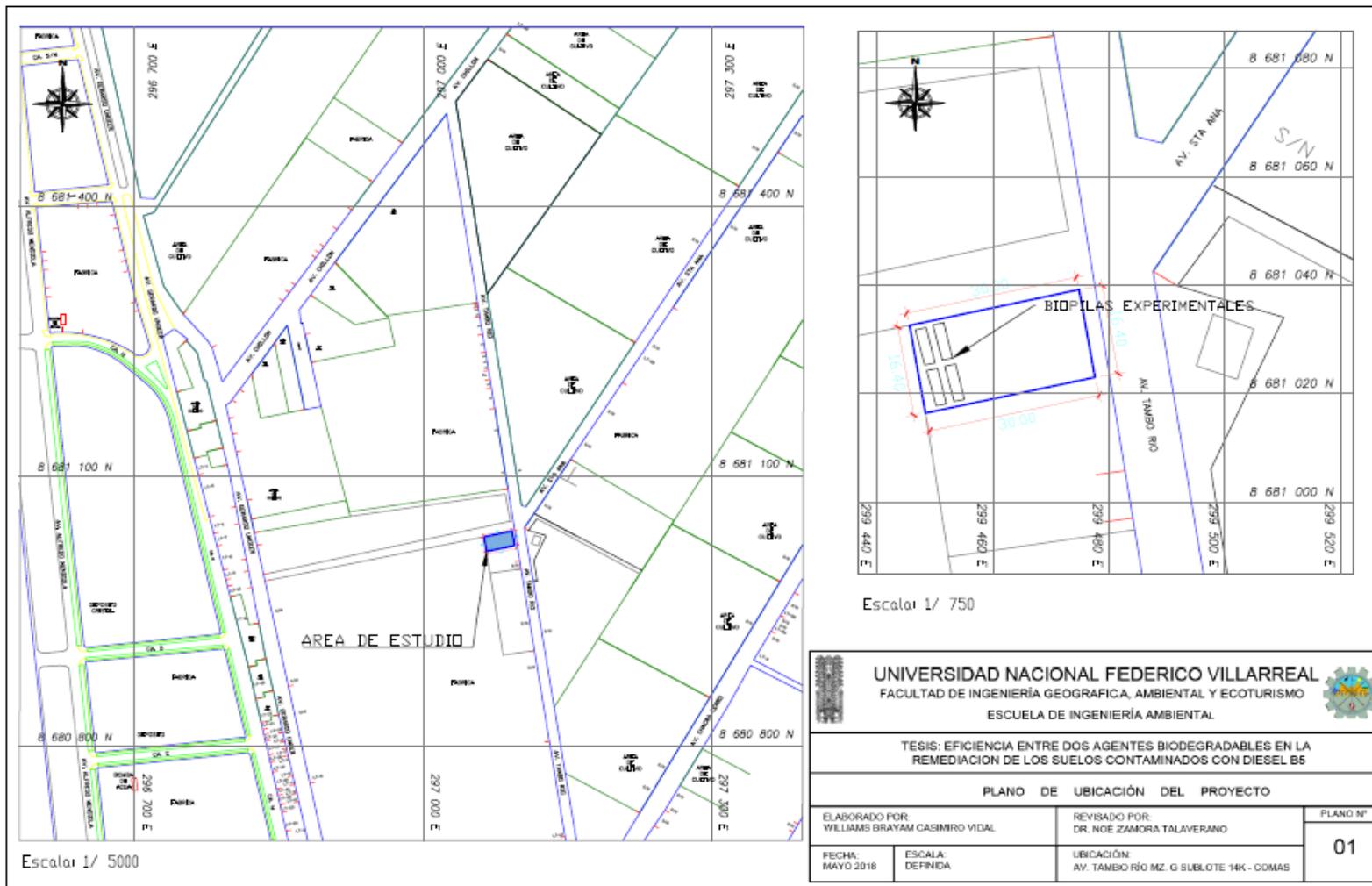


Figura 4. Plano de ubicación del proyecto  
 Fuente: Elaboración propia, 2019

## V. Resultados

### 5.1. Construcción de las biopilas

Se procedió a acondicionar el terreno, para la construcción de las cuatro Biopilas, es decir se niveló y limpió el terreno, ver figura 5.



*Figura 5.* Condiciones iniciales del terreno

Fuente: Elaboración propia, 2018

Posteriormente, se demarcó el terreno, ubicando el espacio para cada biopila los cuales tenían las siguientes dimensiones: Ancho (0.7 metros) y Largo (2.1 metros).

Asimismo, en los perímetros de cada rectángulo se colocó una barrera con tierra húmeda con la finalidad de evitar el desplazamiento del material y seguidamente se delimitó la zona con conos y cinta de peligro, ver figura 6.



Figura 6. Demarcación de las biopilas y nivelación del terreno

Fuente: Elaboración propia, 2018

Luego, se colocó geomembrana HDPE de 0.2 pulgadas resistente al peso y la presión del material a colocar; en las Biopilas (MSF-01 y MSO-01) el peso del material (Tierra contaminada con diésel B5) fue de 96 kilogramos cada uno, mientras que en las Biopilas (MSF-02 y MSO-02) el peso del material (Tierra contaminada con diésel B5+Aserrín+Estiercol de vaca) fue de 100 kilogramos, ver figura 3 y 7.



Figura 7. Colocación de geomembranas

Fuente: Elaboración propia, 2018

Posteriormente, se tomaron muestras de estiércol de Vaca, proveniente de un establo de Trapiche y la tierra propia del terreno (sin contaminar), para el análisis microbiológico de las Bacterias Totales, Actinomicetos Totales y Hongos Totales. El análisis se realizó en la Facultad de Agronomía en el laboratorio de Microbiología de la Universidad Nacional Agraria La Molina, ver figura 8.



*Figura 8.* Toma de Muestra para el análisis Microbiológico

Fuente: Elaboración propia, 2018

También se realizó la caracterización de la tierra limpia (antes de ser contaminado), afín de conocer la clase textural, pH, conductividad eléctrica, % materia orgánica y análisis mecánico. El análisis se realizó en la Facultad de Agrícola en el laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, ver figura 9.



*Figura 9.* Toma de Muestra para la caracterización del suelo

Fuente: Elaboración propia, 2018

Posteriormente, se procedió a preparar tierra con diésel B5 en las siguientes proporciones, tierra limpia (3484 Kg) con diésel B5 (8 Galones o 30.28 Litros), ver figura 10.



*Figura 10.* Preparación de tierra con diésel B5

Fuente: Elaboración propia, 2018

Luego, se realizó el análisis de tierra contaminada con diésel B5, respecto al parámetro fracción de hidrocarburos F2, el análisis fue ejecutado por el laboratorio SGS del Perú S.A.C. el cual se encuentra acreditado ante INACAL con registro N° LE – 002, ver figura 11.



Figura 11. Muestra de Tierra Inicial contaminada con diésel B5 (MSR-01)

Fuente: Elaboración propia, 2018

Una vez preparada la tierra contaminada, se procedió a pesar y separar los sustratos para la conformación de cada biopila, y agregar los sustratos correspondientes, ver tabla 7 y figura 12.



Figura 12. Pesado de sustratos y suelo contaminado

Fuente: Elaboración propia, 2018

Teniendo en claro la composición de cada biopila, se procedió a colocar cada sustrato en las Biopilas MSF-02 y MSO-02 en el siguiente orden:

- **1ero:** 1 kg de Sustrato de Aserrín, se nivelo homogéneamente a lo largo de la base de la biopila.
- **2do:** Sustrato de estiércol de vaca, se colocó los 1 Kg homogéneamente sobre la capa de aserrín.
- **3ero:** Sustrato de tierra contaminada con diésel B5, se colocó 48 kilogramos homogéneamente sobre la capa de estiércol.
- **4to:** 1 kg de Sustrato de aserrín, se colocó homogéneamente sobre la capa de tierra contaminada con diésel B5.
- **5to:** Sustrato de estiércol de vaca, se colocó los 1 Kg homogéneamente sobre la capa de aserrín.
- **5to:** Sustrato de tierra contaminada con diésel B5, se colocó 48 kilogramos homogéneamente sobre la capa de aserrín.
- **6to:** En las Biopilas MSF-O1 y MSO-01, solo se colocó tierra contaminada con diésel B5 homogéneamente 96 kg cada uno.

Finalmente se cubrió con plástico negro, para retener el calor y mantener el microambiente en cada biopila con una temperatura de (15° a 45°) con la finalidad de que el consorcio microbiano se adapte a cada medio, ver figura 13 y 14.



*Figura 13.* Colocación de sustratos en las biopilas

Fuente: Elaboración propia, 2018



Figura 14. Colocación de cubiertas en las biopilas

Fuente: Elaboración propia, 2018

Después de la primera semana de haber colocado los sustratos en las biopilas, se procedió a aplicar las dosis de los agentes biodegradables, en las proporciones detalladas en la tabla 8.

- Agente Biodegradable “Orange Degreaser 1000 Forte”, se preparó en una proporción de 1:10, 10% del agente y el 90% de agua.
- Agente Biodegradable “Orange Degreaser 1000”, se preparó en una proporción de 1:20, 5% del agente y el 95% de agua.), ver figura N° 15 y 16.

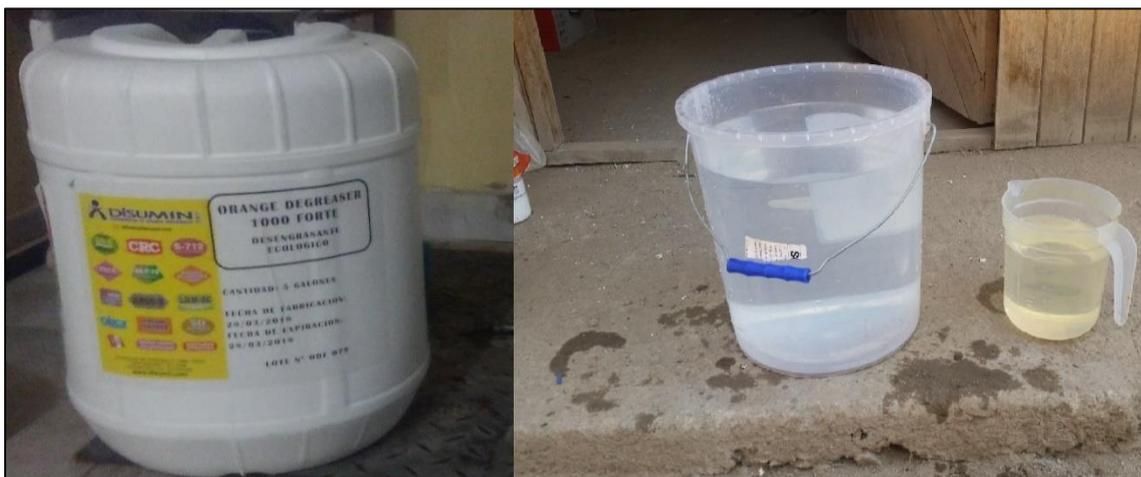


Figura 15. Dilución de agente biodegradable Orange Degreaser 1000 Forte

Fuente: Elaboración propia, 2018



Figura 16. Dilución de agente biodegradable Orange Degreaser 1000

Fuente: Elaboración propia, 2018

Una vez preparada la solución, se realizó la aplicación de los agentes biodegradables en las biopilas correspondientes, hasta lograr humedecerlo homogéneamente sin generar efluente, ver figura 17.



Figura 17. Aplicación de agente biodegradable Orange Degreaser 1000 Forte y Orange Degreaser 1000

Fuente: Elaboración propia, 2018

Mediante la técnica de la Biolabranza o Landfarming, se aireo y homogenizo el suelo contaminado para estimular la actividad microbiana, ver figura 18.



Figura 18. Aireación de la tierra contaminada

Fuente: Elaboración propia, 2018

Una vez construidas las biopilas y agregados los agentes biodegradables, se realizó el monitoreo en las cuatro biopilas de acuerdo a lo indicado en la tabla 9. En la figura 19 se aprecian los muestreos efectuados en las cuatro biopilas y en tabla 13 las fechas que se realizaron los muestreos.

Tabla 13. Intervalos de tiempo y fechas de monitoreo

Frecuencia	7 días	15 días	30 días	45 días	60 días	90 días
Fecha	26/03/18	10/04/18	10/05/18	25/06/18	24/08/18	23/11/18

Fuente: Elaboración propia



Figura 19. Monitoreo de la calidad de suelo

Fuente: Elaboración propia, 2018

Finalmente se realizó el análisis microbiológico de bacterias Totales, Actinomicetos Totales y Hongos Totales en las cuatro biopilas, adicional se tomó una muestra al estiércol de la vaca y otra a la tierra limpia (sin contaminar). El análisis se realizó en la Facultad de Agronomía en el laboratorio de Microbiología de la Universidad Nacional Agraria La Molina, ver figura 20.



Figura 20. Muestreo para análisis microbiológico en las biopilas

Fuente: Elaboración propia, 2018

## 5.2. Análisis del efecto de cada agente biodegradable

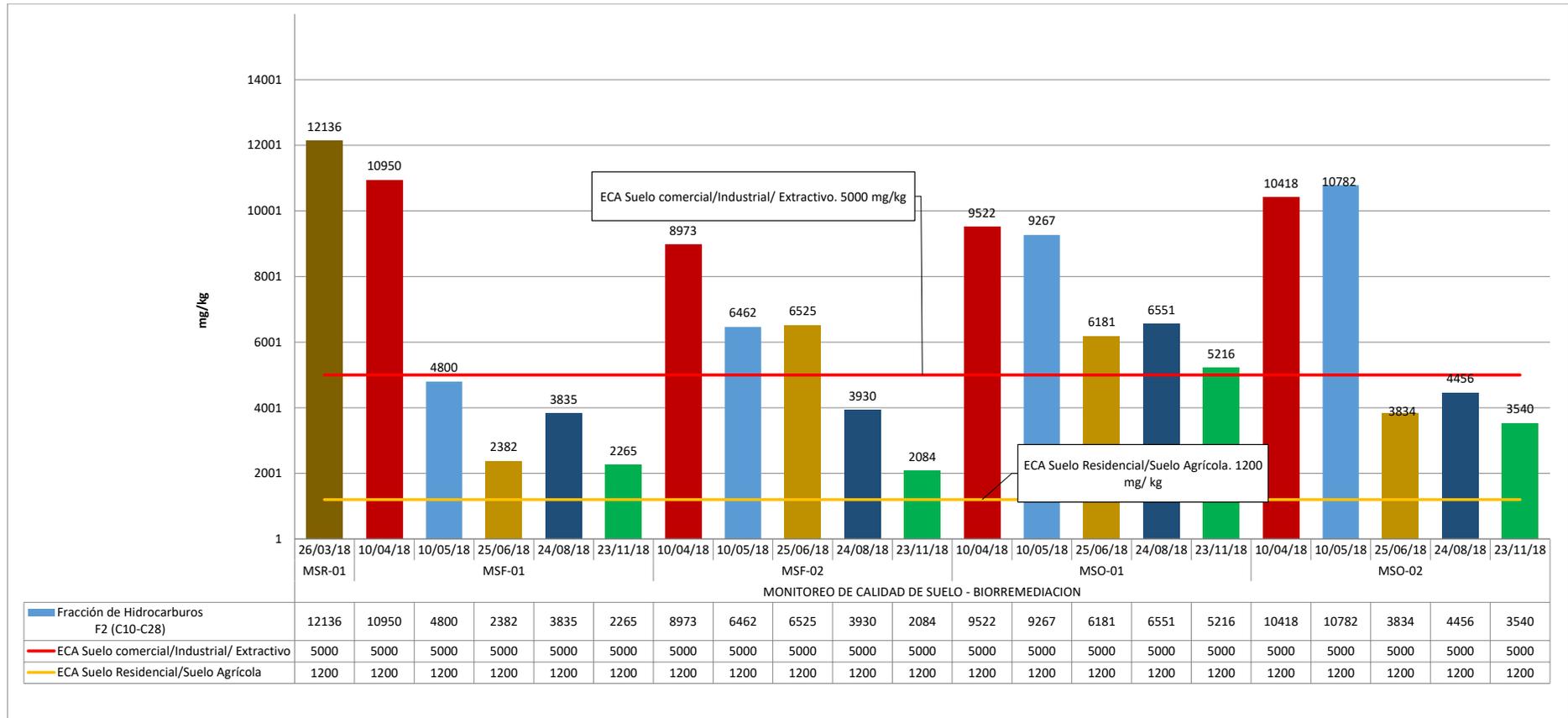


Figura 21. Resultados de monitoreo de calidad de suelo

Fuente: Elaboración propia, 2019

Tabla 14. Resultados de monitoreo de calidad de suelo

		Monitoreo de calidad de suelo - biorremediación																				
Parámetro	Und	MS R-01	MSF-01				MSF-02				MSO-01				MSO-02							
		26/03/18	10/04/18	10/05/18	25/06/18	24/08/18	23/11/18	10/04/18	10/05/18	25/06/18	24/08/18	23/11/18	10/04/18	10/05/18	25/06/18	24/08/18	23/11/18					
Fracción de Hidrocarburos <b>F2 (C10-C28)</b>	m g/kg	12136	10950	4800	2382	3835	2265	8973	6462	6525	3930	2084	9522	9267	6181	6551	5216	10418	10782	3834	4456	3540

Fuente: Elaboración propia, 2019

Nota: el análisis de cada muestra monitoreada lo realizó el laboratorio SGS DEL PERU el cual se encuentra acreditando ante INACAL

En la figura 21 y tabla 14, se observan los resultados del parámetro fracción de hidrocarburos F2 monitoreadas en la estación MSR-01 y en las cuatro biopilas: MSF-01, MSF-02, MSO-01 y MSO-02. La estación de muestreo MSR-01, corresponde a la muestra inicial monitoreada el 26 de marzo del 2018 antes de subdividirlos a las cuatro biopilas, se puede observar un valor de concentración inicial de 12136 mg/kg. Cabe precisar que en las cuatro biopilas se realizaron la toma de muestras en las siguientes fechas: 10 de abril, 10 de mayo, 25 de junio, 24 de agosto y 23 de noviembre del año 2018. Seguidamente se describen los resultados en cada biopila:

En la biopila **MSF-01** se tuvieron concentraciones de 10950 mg/kg (10/04/2018), 4800 mg/kg (10/05/2018), 2382 mg/kg (25/06/2018), 3835 mg/kg (24/08/2018) y 2265 mg/kg (23/11/2018). En esta biopila solo se agregó 96 kg de tierra contaminada con diésel B5 y se aplicó el agente biodegradable orange degreaser 1000 forte. Sin embargo, tomando como referencia los Estándares de Calidad Ambiental para suelo (ECA-Suelo) - Uso

agrícola/residencial, parques/comercial, industrial y extractivo, el parámetro fracción de hidrocarburos F2 solo cumplió con el uso de suelo comercial/industrial/extractivo.

Mientras en la biopila **MSF-02** se tuvieron las siguientes concentraciones: 8973 mg/kg (10/04/2018), 6462mg/kg (10/05/2018), 6525 mg/kg (25/06/2018), 3930 mg/kg (24/08/2018) y 2084 mg/kg (23/11/2018). Esta biopila conformada por 96 kg de tierra contaminada con diésel B5, 2 kg de aserrín y 2kg de estiércol de vaca, adicional se agregó el agente biodegradable orange degreaser 1000 forte. Sin embargo, tomando como referencia el ECA-Suelo, uso agrícola/residencial, parques/comercial, industrial y extractivo, el parámetro fracción de hidrocarburos F2 solo cumplió con el uso de suelo comercial/industrial/extractivo.

Por otro lado, en la biopila **MSO-01** se tuvieron las siguientes concentraciones, 9522 mg/kg (10/04/2018), 9267 mg/kg (10/05/2018), 6181 mg/kg (25/06/2018), 6551 mg/kg (24/08/2018) y 5216 mg/kg (23/11/2018). En esta biopila solo se agregó 96 kg de tierra contaminada con diésel B5 y adicional se aplicó el agente biodegradable orange degreaser 1000. Sin embargo, tomando como referencia el ECA-Suelo, uso agrícola/residencial, parques/comercial, industrial y extractivo, el parámetro fracción de hidrocarburos F2 no cumplió con ninguno de los usos de suelo.

Finalmente, en la biopila **MSO-02** se obtuvieron los siguientes resultados, 10418 mg/kg (10/04/2018), 10782 mg/kg (10/05/2018), 4456 mg/kg (25/06/2018), 3834 mg/kg (24/08/2018) y 3540 mg/kg (23/11/2018). Esta biopila conformada por 96 kg de tierra contaminada con diésel B5, aserrín 2 kg y 2kg de estiércol de vaca, y adicional se aplicó el agente biodegradable orange degreaser 1000. Sin embargo, tomando como referencia el ECA-Suelo, uso

agrícola/residencial, parques/comercial, industrial y extractivo, el parámetro fracción de hidrocarburos F2 solo cumplió con el uso de suelo comercial/industrial/extractivo.

En la tabla 15 y figura 22 se observan los resultados del análisis microbiológico de bacterias, hongos y actinomicetos, realizados en las biopilas: MSF-01, MSF-02, MSO-01 y MSO-02. Adicional se analizó tierra usada para los trabajos de remediación y el excremento de vaca recolectada de un establo (ES-01), el análisis microbiológico se desarrolló en el laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

*Tabla 15. Resultados del análisis microbiológica (Población microbiana)*

Código de muestra	Código de campo	Organismos mesófilos totales (UFC/ g suelo seco)		
		Bacterias	Actinomicetos	Hongos
M 209	T-01	1810000	17000	18500
M 210	MSO-01	61500000	26000	150000
M 211	MSO-02	43000000	17000	590000
M 212	MSF-01	194000000	5000	1350000
M 214	MSF-02	237000000	37000	2600000
M 213	ES-01	900000000	43000	1500000

Fuente: Elaboración propia, 2019

Nota: (T-01), tierra usada para los trabajos de remediación; (ES-01), excremento de vaca recolectada de un establo, el análisis microbiológico estuvo a cargo del laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

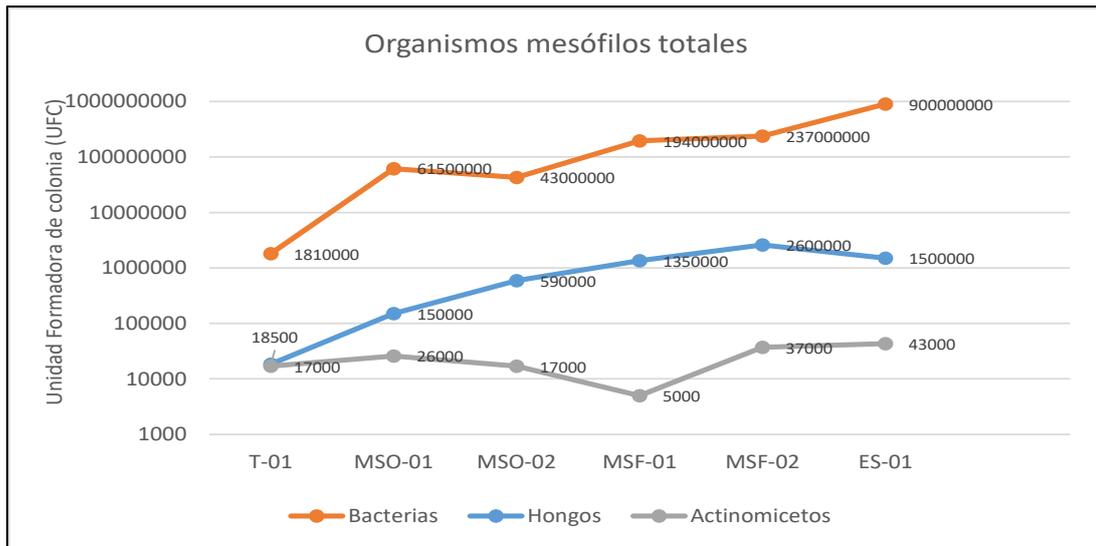


Figura 22. Resultados del análisis microbiológico (población microbiana)  
Fuente: Elaboración propia, 2019

La muestra T-01 obtuvo los siguientes resultados: Bacterias (1810000 UFC), Actinomicetos (17000 UFC) y Hongos (18500 UFC). En la biopila MSO-01 se tuvo, Bacterias (61500000 UFC), Actinomicetos (26000 UFC) y Hongos (150000 UFC). Mientras en la biopila MSO-02 se obtuvo: Bacterias (43000000 UFC), Actinomicetos (17000 UFC) y Hongos (590000 UFC).

Por otro lado, en la biopila MSF-01 se obtuvo: Bacterias (194000000 UFC), Actinomicetos (5000 UFC) y Hongos (1350000 UFC). En la biopila MSF-02 se obtuvo: Bacterias (237000000 UFC), Actinomicetos (37000 UFC) y Hongos (2600000 UFC). Resaltar, que en esta última biopila se incrementó la población microbiana (bacterias, hongos y actinomicetos), desarrollándose de manera eficiente en comparación con las otras biopilas (MSF-01, MSO-01 y MSO-02).

Finalmente, la muestra tomada en el establo (ES-01) presentó los siguientes resultados: Bacterias (900000000 UFC), Actinomicetos (43000 UFC) y Hongos (1500000 UFC).

Sin embargo, actualmente no hay una normativa nacional e internacional de comparación respecto a organismos mesófilos totales.

*Tabla 16.* Resultados de la caracterización del suelo

Número de Muestra	pH ( 1:1 )	Materia Orgánica %	Clase Textural
T-01	7.55	3.52	Franco
MSO-01	7.20	2.85	
MSO-02	7.21	3.82	
MSF-01	7.16	3.37	
MSF-02	7.12	6.21	

Fuente: Elaboración propia, 2019

En la tala 16, se muestran los resultados de pH y materia orgánica, desarrollado en el laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, como parte de la caracterización del suelo de cada biopila. La estación de muestreo T-01, corresponde a la tierra sin ninguna alteración. Mientras que las estaciones de muestreo MSO-01, MSO-02, MSF-01 y MSF-02 corresponden a las biopilas.

En las biopilas MSO-01, MSO-02, MSF-01 y MSF-02 el pH se encuentra en el rango óptimo de 6 a 8. Respecto a la materia orgánica, en las biopilas MSO-01, MSO-02 y MSF-01, se encuentra en el rango medio de 2-4, y en la biopila MSF-02 la materia orgánica presente es alto.

### **5.3. Eficiencia de remoción**

En la tabla 17 y figura 23 se observan los porcentajes de remoción en las cuatro biopilas: MSF-01, MSF-02, MSO-01 y MSO-02 respecto al resultado de la muestra inicial monitoreada el 26/03/2018, calculados en de acuerdo a la ecuación 1.

Tabla 17. Porcentaje de remoción

Parámetro	Unidad	MONITOREO DE CALIDAD DE SUELO - BIORREMEDIACION																				
		MSR-01	MSF-01					MSF-02					MSO-01					MSO-02				
		26/03/18	10/04/18	10/05/18	25/06/18	24/08/18	23/11/18	10/04/18	10/05/18	25/06/18	24/08/18	23/11/18	10/04/18	10/05/18	25/06/18	24/08/18	23/11/18	10/04/18	10/05/18	25/06/18	24/08/18	23/11/18
Fracción de Hidrocarburos F2 (C10-C28)	mg/kg	12136	10950	4800	2382	3835	2265	8973	6462	6525	3930	2084	9522	9267	6181	6551	5216	10418	10782	3834	4456	3540
% Remocion			9.8	60.4	80.4	68.4	81.3	26.1	46.8	46.2	67.6	82.8	21.5	23.6	49.1	46.0	57.0	14.2	11.2	68.4	63.3	70.8

Fuente: Elaboración propia, 2019

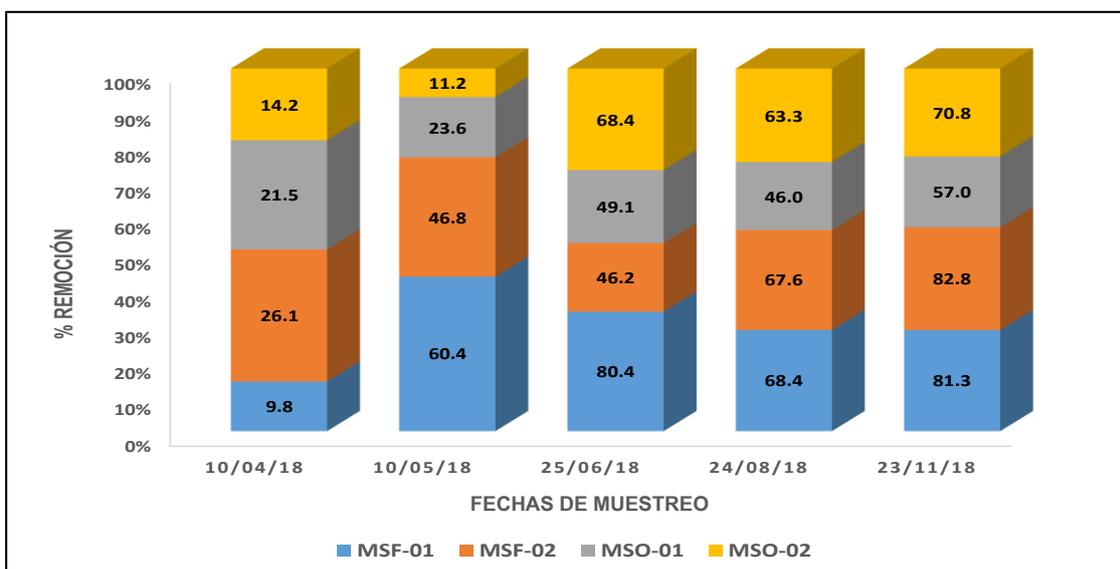


Figura 23. Eficiencia de remoción

Fuente: Elaboración propia, 2019

En la biopila **MSF-01** se tuvieron los siguientes porcentajes de remoción: remoción del 9.8 % (10/04/18), 60.4% (10/05/18), 80.4% (25/06/18), 68.4% (24/08/18) y una remoción final de 81.3 % (23/11/18). Mientras, en la biopila **MSF-02** se tuvieron los siguientes porcentajes de remoción: remoción del 26.1 % (10/04/18), 46.8% (10/05/18), 46.2% (25/06/18), 67.6% (24/08/18) y una remoción final de 82.8 % (23/11/18).

Asimismo, en la biopila **MSO-01** se tuvieron los siguientes porcentajes de remoción: remoción del 21.5 % (10/04/18), 23.6% (10/05/18), 49.1% (25/06/18), 46.0% (24/08/18) y una remoción final de 57.0 % (23/11/18). En tanto, en la biopila **MSO-02** se tuvieron los siguientes porcentajes de remoción: remoción del 14.2 % (10/04/18), 11.2% (10/05/18), 68.4% (25/06/18), 63.3% (24/08/18) y una remoción final de 70.8 % (23/11/18).

## **VI: Discusión de resultados**

Rodríguez, P. (2009) en su tesis titulado "Biorremediación mediante Biopilas de un suelo Contaminado con Combustóleo y diésel en la Central de Generación Eléctrica Nachi Cocom, en la Península de Yucatán", desarrollo la remediación del suelo contaminado con hidrocarburos, generada durante la operación de la central de generación eléctrica, por medio de una biopila *ex situ* con un volumen de 66.1 m<sup>3</sup> (antes del tratamiento se realizaron análisis físico, químicos y bacteriológicos para obtener los valores de inicio). Durante el tratamiento se agregaron 79.32 lts de surfactante, 52.88 kg de fertilizante y 12 kg de bacterias. Durante el proceso (49 días), se efectuó el control del contaminante, la humedad, temperatura, pH, nitrógeno, fósforo, materia orgánica y cuenta bacteriana. A fin de contribuir a disminuir un posible riesgo a la salud de la población aledaña por exposición, inhalación e ingestión de los contaminantes.

Llegando a la conclusión, con los resultados obtenidos al final del tratamiento, aplicando biopilas se obtienen valores de hidrocarburos fracción pesada, media, ligera y aromáticos polinucleares inferiores a los límites máximos permisibles de la NOM- 138-SEMARNAT/SS-2003.

En la presente investigación, a diferencia de la remediación realizada por Rodríguez, P. (2009), en una biopila de dimensiones 35.0m x 14.0m, y la aplicación de un surfactante con nombre comercial citro 2000 (derivado de cítricos completamente biodegradable); se construyeron 4 biopilas (MSF-01, MSF-02, MSO-01, MSO-02) de dimensiones 0.7m x 2.1 m. y se aplicó surfactantes de nombres comerciales orange degraser 1000, orange degreaser 1000 forte, adicional se agregaron estiércol de vaca y aserrín. Posteriormente se realizaron

mediciones de fracción de hidrocarburos (F2), análisis microbiológico (bacterias, hongos y actinomicetos), pH y materia orgánica, simultáneamente en las cuatro biopilas a lo largo de los 8 meses que duró la experimentación.

Obteniendo como resultado la reducción máxima del 82.8% (2084 mg/kg) de fracción de hidrocarburo F2 en la biopila **MSF-02**, el cual recibió tratamiento con agente biodegradable Orange Degreaser 1000 Forte, 2 kg de aserrín y 2 kg de estiércol de vaca, porcentaje de reducción obtenida luego de 08 meses de tratamiento (26/03/18- 23/11/18). Adicionalmente, los resultados del suelo remediado, tomando como referencia el ECA-Suelo, para el parámetro fracción de hidrocarburos F2 cumple con el uso de suelo comercial/industrial/extractivo (5000 mg/kg).

Se debe de continuar con esta línea de investigación, es necesario la difusión de este tema de interés nacional frente a la problemática ambiental, con respecto a la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos, las autoridades junto con la población, debemos proyectarnos a promover la investigación en el cuidado y protección del ambiente y no esperar agravar mucho más nuestra situación ambiental, para responder tarde con medidas atenuantes por desesperación.

**Torres, K.** (2009) en su investigación titulado “**Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos**”, tuvo como objetivo realizar una revisión bibliográfica de la biorremediación y los métodos más conocidos de dicha técnica.

La metodología consistió en identificar los microorganismos en la biorremediación, por ende, las etapas de trabajo se determinaron mediante el análisis, diseño y evaluación en la aplicación de los distintos métodos de biorremediación aplicados.

Se concluyó que la contaminación de suelos por productos, compuestos o desechos orgánicos de la industria petrolera pueden ser tratados y recuperados ecológicamente con la biorremediación.

En la presente investigación realizada, a diferencia de la realizada por **Torres, K.** (2009), se implementó cuatro biopilas conteniendo cada uno de ellas tierra contaminada con diésel B5 con una concentración inicial de 12136 mg/kg, en dos biopilas se introdujo aserrín y estiércol de vaca posteriormente se aplicó dos agentes biodegradables y se procedió a tomar muestras de suelos en los meses de marzo, abril, mayo, junio, agosto y noviembre del 2018.

Obteniendo como resultado la reducción de la concentración de la fracción de media (F2) correspondiente al uso industrial/comercial/extractivo de 5000 mg/kg indicado en el D.S. 011-2017-MINAM (ECA-SUELO) a excepción de la biopila MSO-01 en donde se obtuvo una concentración final de 5216 mg/kg. Sin embargo no se obtuvo un buen resultado en comparación con el uso de suelo agrícola de 1200 mg/kg, esto posiblemente se debe a que los

microorganismos autóctonos y exógenos no se adaptaron adecuadamente a los surfactantes aplicados o se requiera mayor tiempo de tratamiento.

En otras investigaciones no se incluye una metodología de evaluación, como la que fue diseñada en la presente investigación, es decir no realizan comparaciones en la eficiencia de agentes biodegradables pero si aplican la técnica de las biopilas y agregan el aserrín y estiércol de diferentes animales.

## VII: Conclusiones

- Se construyeron cuatro biopilas (MSO-01, MSF-01, MSO-02 y MSF-02), el primero con agente biodegradable Orange Degreaser 1000 (MSO-01), el segundo con agente biodegradable Orange degreaser 1000 forte (MSF-01), el tercero con agente biodegradable Orange Degreaser 1000, aserrín y estiércol de vaca (MSO-02) y el cuarto con agente biodegradable Orange degreaser 1000 Forte, aserrín y estiércol de vaca (MSF-02).
- Para el análisis de la eficiencia de los dos agentes biodegradables se establecieron cuatro biopilas con una frecuencia de monitoreo de 15, 30, 35, 60 y 90 días en cada una de ellas. Luego de haber realizado los análisis en el laboratorio se evidencio que el orange degreaser 1000 forte en la biopila MSF-02 permitió que el hidrocarburo este más fácilmente disponible para la destrucción bacteriana, manteniendo un nivel alto de materia orgánica (6.21%), pH (7.12) debido a la fácil adaptación de los microorganismos mesofilos, presentando una población de bacterias (237000000 UFC), actinomicetos (37000 UFC) y hongos (2600000 UFC) mayores a las demás biopilas. El comportamiento de los valores en las biopilas fue dispar, probablemente se debe al tipo de suelo franco y a la presencia de grumos de hidrocarburo intemperizados, los cuales por sus características físicas no permitieron homogenizarse completamente.

- El porcentaje de remoción en la última de fecha monitoreada es de 81.3 % en la biopila MSF-01, 82.8 % en la biopila MSF-02, 57.0 % en la biopila MSO-01 y 70.8 % en la biopila MSO-02, el mayor porcentaje de remoción se presenta en la biopila MSF-02, el cual demuestra uno de los beneficios secundarios de la aplicación del orange degreaser 1000 forte logrando romper la tensión superficial del hidrocarburo, debido a sus características de neutralidad del pH el cual fomenta la actividad del consorcio microbiano presente.

## **VIII. Recomendaciones**

1. Construir biopilas de mayores dimensiones para los trabajos de remediación ambiental y hacer uso de estiércol orgánico más aserrines de especies maderables del tipo suave como componentes para remediar suelos contaminados con diésel B5.
2. Aplicar la técnica del composteo (biopilas) en la biorremediación de suelos contaminados con diésel B5 ya que es de fácil manejo y permite adaptarse e incrementar la población microbiana autóctona y exógena.
3. Se recomienda la aplicación del agente biodegradable orange degreaser 1000 forte en suelos contaminados con diésel B5 en plazos mayores a un año para lograr el incremento de la población microbiana y disminuir la concentración de hidrocarburos de fracción media a niveles aceptables.
4. Implementar un laboratorio de análisis de suelos, con fines de investigación y enseñanza, en la Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo de la Universidad Nacional Federico Villarreal.
5. Realizar ensayos pilotos por tipos de suelos usando especies degradadoras de hidrocarburos a temperaturas bajas (entre 5° y 15°) y en temperaturas altas (entre 24° y 40°).
6. Probar diferentes tipos de surfactantes y aplicarlos en concentraciones variadas en la remediación de suelos contaminados con diésel B5.

## IX. Referencias bibliográficas

- Agropecuarias, U. N.-F. (2015). *Microbiología Agrícola*. Argentina.
- Alexander, M. (1994). *Biodegradation and Bioremediation*. San Diego: Academic Press.
- Avendaño, D. (2003). *El proceso de compostaje*. Tesis Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile.
- Buendía, H. (2012). *Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante compost de aserrín y estiércoles*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.
- Canasa, A. (2009). *Remediación de suelos contaminados en operaciones de perforación y manejo del petróleo crudo en la selva peruana*. Lima.
- Chaineau, C., Morel, J., & Oudot, J. (1996). 1996. Land Traedment of oil based drill cutting in an agricultural soil. *Journal of Enviromental Quality*(4), 858-867.
- Escalante, E. (2000). *Estudio de Ecotoxicidad de un suelo contaminado con hidrocarburos*. Tesis para obtener el grado de maestro en biotecnología, Universidad Autonoma Metropolitana, México. D.F.
- Eweis, J., Ergas, S., Chang, D., & Schroed, E. (1998). *Bioremediation Principles*. McGraw-Hill International Editions.
- Guerrero. (2002). *Curso de suelos*. Universidad Nacional Agraria de la Molina, Centro de Gestion y Tecnologia Ambiental, Lima.
- Guerrero, J. (2001). *El Compost un abono orgánico compuesto para mejorar y dar vida a nuestros suelos*. Taller de conservación de suelos y agricultura sostenible, UNALM, Lima.
- Iturbe-Argüelles, R., Flores-Torres, C., Chávez-López, C., & Roldán-Martín, A. (2002). Saneamiento de suelos contaminados con hidrocarburos Mediante biopilas. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, III(1), 25-35. Obtenido de

[https://www.researchgate.net/profile/Rosario\\_Iturbe2/publication/237751497\\_SANEAMIENTO\\_DE\\_SUELOS\\_CONTAMINADOS\\_CON\\_HIDROCARBUROS\\_MEDIANTE\\_BIOPILAS/links/55cce69208aebbb8f577ade/SANEAMIENTO-DE-SUELOS-CONTAMINADOS-CON-HIDROCARBUROS-MEDIANTE-BIOPILAS.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Rosario_Iturbe2/publication/237751497_SANEAMIENTO_DE_SUELOS_CONTAMINADOS_CON_HIDROCARBUROS_MEDIANTE_BIOPILAS/links/55cce69208aebbb8f577ade/SANEAMIENTO-DE-SUELOS-CONTAMINADOS-CON-HIDROCARBUROS-MEDIANTE-BIOPILAS.pdf)

- Martinez, E., & Lopez, F. (2001). *Efecto de hidrocarburos en las propiedades físicas y químicas del suelo arcilloso*.
- Medina, M., Quintero, R., Espinosa, D., Alarcón, A., Etchevers, J., Trinidad, A., & Conde, F. (2017). Generación de un inoculante acelerador del compostaje. *Revista Argentina de microbiología*, 1-5.
- Rodriguez, P. (2009). *Biorremediación mediante Biopilas de un suelo Contaminado con Combustóleo y Diésel en la Central de Generación Eléctrica Nachi Cocom, en la Península de Yucatán*. Tesis Maestría, Instituto Politecnico Nacional, Mexico.
- Sámano, A., & Sámano, E. (2015). *Saneamiento de suelos contaminados con hidrocarburos utilizando biopilas en degollado, Jalisco, México*. Universidad de Sonora de México, Mexico. Obtenido de [http://www.lamolina.edu.pe/Eventos/agronomia/2015/Latinoamericano\\_suelos/C6/C6-Resumen%20expandido%20PERU2014.pdf](http://www.lamolina.edu.pe/Eventos/agronomia/2015/Latinoamericano_suelos/C6/C6-Resumen%20expandido%20PERU2014.pdf)
- Sellers, K. (1999). *Fundamentals of hazardous waste site remediation*. Lewis.
- Torres, K. (2009). *Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos*. Medellín.
- Van Deuren, J., Wang, Z., & Ledbetter, J. (1997). *Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide* (3ª Ed. ed.). Technology Innovation Office, EPA.
- Volke, T., & Velasco, J. (2003). *Biodegradación de Hidrocarburos del Petróleo en Suelos Intemperizados Mediante Composteo*. México.

## **X. Anexos**

Anexo N° 1: Informes de ensayo

Anexo N° 2: Análisis microbiológico

Anexo N° 3: Caracterización del suelo

Anexo N° 4: Plano de Ubicación

Anexo N° 5: Plano de Composición Biopilas experimentales

Anexo N° 6: Costos de instalación y operación

Anexo N° 7: Matriz de consistencia

**Anexo N° 1:**

**Informes de ensayo**

**Anexo N° 2:**

**Análisis microbiológico**

**Anexo N° 3:**

**Caracterización del suelo**

**Anexo N° 4:**

**Plano de Ubicación**

**Anexo N° 5:**

**Plano de Composición Biopilas**

**Experimentales**

## **Anexo N° 6:**

### **Costos de instalación y operación**

**Anexo N° 7:**

**Matriz de consistencia**