



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

**COMPOST, VERMICOMPOST Y MICROORGANISMOS
BENEFICOS COMO ALTERNATIVAS PARA LA
BIORREMEDIACION DE SUELOS CONTAMINADOS CON
HIDROCARBUROS**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL**

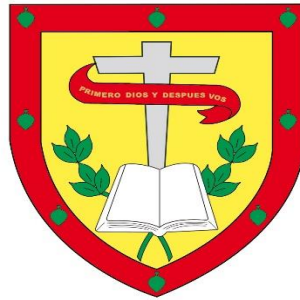
AUTOR: MERCY LILIANA LUDIZACA VELECELA

DIRECTOR: ING JACINTO ENRIQUE VAZQUEZ VAZQUEZ PhD

CUENCA- ECUADOR

2021

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

**COMPOST, VERMICOMPOST Y MICROORGANISMOS BENEFICOS COMO
ALTERNATIVAS PARA LA BIORREMEDIACION DE SUELOS
CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL**

AUTOR: MERCY LILIANA LUDIZACA VELECELA

DIRECTOR: ING. JACINTO ENRIQUE VAZQUEZ VAZQUEZ PHD

CUENCA- ECUADOR

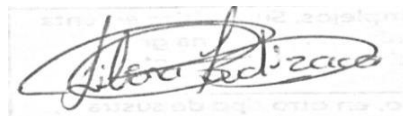
2021

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

Mercy Liliana Ludizaca Velecela portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0302293246**. Declaro ser el autor de la obra: “**Compost, vermicompost y microorganismos benéficos como alternativas para la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos**”, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 23 de diciembre del 2021



Mercy Liliana Ludizaca Velecela

0302293246

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **MERCY LILIANA LUDIZACA VELECELA**, bajo mi supervisión.



.....
DIRECTOR

Ing. Jacinto Enrique Vázquez Vázquez PhD.

DEDICATORIA

- Este trabajo va dedicado en primer lugar a Dios por la fortaleza que nos brinda en los momentos que más lo necesitaba.
- A mis padres y hermanos que siempre estuvieron ahí apoyándome cuando más los necesitaba, porque nunca dejaron rendirme.

AGRADECIMIENTO

- En primer lugar, agradezco a Dios por darme salud y sabiduría para culminar con mis estudios, ya que sin él no hubiese conseguido este sueño.
- También agradezco a mis padres y a mis hermanos por el apoyo incondicional que me brindaron desde el inicio de mis estudios, gracias al esfuerzo y apoyo de ellos tengo la oportunidad de educarme en una excelente institución.
- Y como no agradecer a la Universidad Católica de Cuenca y sus docentes de la carrera de Ingeniería Ambiental que han sabido guiarme por el camino del conocimiento, también agradezco al Ing. Jacinto Vázquez y al Ing. Manuel Alvares quien con su dedicación, tiempo y conocimiento hizo posible la realización de esta investigación.

RESUMEN

Los métodos de biorremediación de suelos consisten principalmente en el uso de microorganismos (hongos, levaduras o bacterias) con la capacidad de descomponer o degradar sustancias peligrosas a sustancias menos tóxicas, debido a que la contaminación ambiental es uno de los principales problemas a nivel mundial, este inconveniente se da por diversas causas y uno de ellos es el derrame de hidrocarburos directamente al suelo, dada esta problemática se desarrolla la siguiente investigación a fin de analizar los métodos más eficaces para la recuperación del mismo. El objetivo planteado para este trabajo fue proponer alternativas biológicas para la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos y como objetivos específicos es analizar las metodologías con sus respectivos resultados y también un análisis de bioensayos con semillas que ayudaran a la determinación de estos métodos a verificar cual propuesta es la más eficiente para la recuperación de suelos. Esta investigación es cualitativa narrativa de tópicos y para ello se utilizó como técnica la recolección de datos e información documental, después de la recolección y análisis de información de interés se propone como alternativas biológicas el compost, vermicompost y microorganismos benéficos, estas técnicas de biorremediación son las que presentan los mejores resultados para la restauración de suelos a menor costo y en cortos periodos de tiempo.

Palabras clave: biorremediación, contaminación de suelos, compost, vermicompost, microorganismos benéficos

ABSTRACT

The methods of soil bioremediation consist mainly of the use of microorganisms (fungi, yeasts, or bacteria) with the ability to decompose or degrade hazardous substances to less toxic substances since environmental pollution is one of the main problems worldwide. This problem occurs as a result of various causes, one of which is the hydrocarbon spill directly into the soil. Given this problem, this research was developed to analyze the most effective methods for soil recovery. Similarly, this work aimed to propose biological alternatives for the bioremediation of soils contaminated with hydrocarbons, and as specific objectives were to analyze the methodologies with their respective results and also an analysis of bioassays with seeds that will help to determine these methods to verify which proposal is the most efficient for the recovery of soils. This research is a qualitative narrative investigation of topics, and for this purpose, data collection and documentary information was used as a technique. After the collection and analysis of information of interest, compost, vermicompost, and beneficial microorganisms are proposed as biological alternatives; these bioremediation techniques are the ones that present the best results for soil restoration at a lower cost and in short periods of time.

Keywords: bioremediation, soil contamination, compost, vermicompost, beneficial microorganism

INDICE DE CONTENIDO

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ABSTRACT.....	vi
CAPITULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II.....	3
2. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1 Compost	3
2.2 Vermicompost	5
2.3 Microorganismos benéficos (MOBs)	6
2.4 Bioensayos con semillas como determinantes de nivel de toxicidad de hidrocarburos	7
2.5 Hidrocarburos totales del petróleo.....	8
2.6 Fuentes de contaminantes del suelo de acuerdo al origen	10
2.7 Fuentes de contaminación de origen natural o antrópica	10
2.8 Fuentes de contaminación de origen puntual y difusa.....	10
2.9 Efecto de los hidrocarburos en el suelo	11
2.10 Efectos tóxicos de los hidrocarburos en el suelo, plantas y seres vivos	11
2.11 Consecuencias ambientales del derrame de hidrocarburos en el suelo	12
2.12 Tecnologías de remediación de suelos	12
2.13 Estrategias de biorremediación	16
2.14 Técnicas de biorremediación	16
2.15 Métodos de biorremediación Ex-situ	16
2.16 Métodos de biorremediación In-situ	18
CAPITULO III.....	22
3. METODOLOGÍA.....	22
3.1 Desarrollo de la investigación	22
CAPITULO IV	23
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
4.1 Resultados de análisis del compost, vermicompost y microorganismos benéficos	23
4.2 Resultados de bioensayos con semillas.....	28
CAPITULO V	32

5. CONCLUSIONES	32
CAPITULO VI	33
6. RECOMENDACIONES	33
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales fuentes de contaminación del suelo	10
Tabla 2. Valores óptimos para el proceso de biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos.....	13
Tabla 3. Géneros de microorganismos degradadores de petróleo.....	14
Tabla 4. Factores que condicionan la biorremediación de un suelo	15
Tabla 5. Resultados de estudios usando compost.....	24
Tabla 6. Resultados de estudios utilizando vermicompost	25
Tabla 7. Resultados de estudios utilizando microorganismos benéficos.....	27
Tabla 8. Resultados de la germinación de semillas	28
Tabla 9. Características de la eficiencia del compost.	29
Tabla 10. Características de la eficiencia del vermicompost.....	30
Tabla 11. Características de la eficiencia de microorganismos benéficos	31

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental, sobre todo del suelo, se considera uno de los problemas más consecuentes en el mundo que forma parte de la vida diaria. La degradación de los ecosistemas y de la corteza terrestre son problemas severos que realmente preocupan a la humanidad. Martínez (2011) expresa que “la actividad industrial es uno de los factores de contaminación en superficies terrestres, en donde se puede producir derramamiento de derivados de petróleo que ocupa prácticamente el primer lugar de contaminación, por lo que aparece el interés de proponer alternativas naturales de descontaminación que ayuden a la biorremediación de las propiedades tanto físicas, químicas y biológicas de los suelos.

El compost y vermicompost son sustancias orgánicas que en los últimos años han recibido una importancia en la vida cotidiana, gracias al tratamiento de los residuos orgánicos para la obtención de estos productos a disminuido notablemente una parte de la contaminación de los suelos entre ellas la generación de basura en lugares públicos, estos productos también son utilizados como fertilizantes naturales en la agricultura debido a la alta capacidad microbiana que contienen cada uno, asimismo tienen la capacidad de degradar hidrocarburos y se utiliza como alternativas para la biorremediación de suelos.

Los microorganismos benéficos (MOBs) potencialmente son un tipo de sustancia orgánica líquida que contienen más de 80 especies de microorganismos, estos productos se obtienen de la filosfera de las plantas como de otros tipos de productos, una de las principales aplicaciones es la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos ya que existen microorganismos que son degradadoras de petróleo. Entre ellas encontramos bacterias ácido lácticas, bacterias fotosintéticas, levaduras actinomicetos y hongos filamentosos con capacidad fermentativa.

Velásquez, (2017) expresa que “la contaminación de los recursos naturales, es el resultado de las actividades producidas por el ser humano, esta clasificación de sustancias que se acumulan en el suelo bajo altos niveles de concentración que provocan que el suelo se vuelva sumamente tóxico para los organismos que se encuentran en el suelo y se va degradando, debido a esto el suelo pierde sus propiedades físicas, químicas y biológicas lo que ocasiona la pérdida de su productividad parcial impidiendo el desarrollo habitual de la vegetación encima del área de contaminación.”

Por ello se realizó la investigación de compost, vermicompost y microorganismos benéficos como alternativas para la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos, y como objetivo principal fue analizar el compost, vermicompost y microorganismos benéficos como alternativas para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos mediante un análisis bibliográfico y metodológico, y sus objetivos específicos son: Determinar las formas metódicas de biorremediación que se apliquen a los suelos contaminados. Analizar los resultados y discusiones teórico-prácticas en estudios realizados de cada alternativa biológica propuesta y determinar los métodos más factibles empleados en dichos ensayos. Con ello priorizar el conocimiento a las personas sobre los riesgos que representan tanto en la salud como en el medio ambiente, a consecuencia del mal uso de los productos y del destino final

de los mismos, ya que la mayoría son desechados a las vertientes de agua o son vertidos directamente al suelo.

Ecuador es el cuarto productor de hidrocarburos en América Latina (Becerra, Paichard, Sturma, & Maurice, 2013). Uno de los principales problemas de contaminación en Ecuador es el derrame de hidrocarburos en el suelo esto se debe a que en cada actividad realizada por los seres humanos está presente este producto.

El crecimiento de la población significa un mayor uso de recursos de la naturaleza y resulta el suelo el más utilizado para las actividades humanas. “Durante el último tiempo, se ha elevado el interés por evaluar la calidad del suelo, pues es el componente principal de donde llegan los alimentos, insumos industriales y sobretodo recursos energéticos” (Serrano, Torrado, & Pérez, 2013). Los hidrocarburos son una necesidad de la población, misma que se evidencia en toda actividad realizada en las cuales es necesario utilizar derivados del petróleo; por lo tanto, a nivel que va creciendo la población va creciendo el desarrollo de las mecánicas automotrices y por ende crece la contaminación del recurso suelo.

Según Viñas, (2005) “la degradación de los microbios se considera un proceso de vital importancia por la descontaminación natural que se produce, y que puede ser mejorado a través del uso de tecnologías de biorremediación. Además, el petróleo crudo como tal se identifica como el inicio contaminante que tiene un alto compuesto contaminante, lo que lo vuelve en un componente adecuado para reestructurar el potencial catabólico de cepas de microbios o consorcios de interés para la biorremediación.”

CAPÍTULO II

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Compost

2.1.1 Historia del compost

La preparación y uso del compost es tan antiguo como en la agricultura, sin embargo, fue hasta el año de 1984 cuando Howard en la India preparó un compost al que lo llamo Proceso Indore, que consistió en colocar estratos de estiércol y desechos orgánicos de forma continua en zanjas, fosas o sencillamente formando pilas, mezclando constantemente a intervalos regulares para guardar la humedad importante para la fermentación (Hernández, 2003).

2.1.2 Definición

El compost se considera un proceso natural por el cual los residuos orgánicos se pueden convertir en materia orgánica, gracias a la acción de diferentes microorganismos (Velasco & Volke, 2010). El compost es una mezcla de residuos orgánicos que al ser sometidos en procesos biológicos se transforma en fertilizantes orgánicos, para utilizarlos en diferentes actividades especialmente para restaurar la riqueza de los suelos empobrecidos por el uso agrícola o también se utiliza para remediar suelos que estén contaminados con hidrocarburos u otros contaminantes que han provocado daños severos al recurso suelo produciendo la infertilidad.

Es un fertilizante natural, que se obtiene en medida de la descomposición que se controla a través de la materia orgánica de diferentes procedencias (estiércol, fracción orgánica de residuos municipales, etc.), que en condiciones normales pasan por un proceso biológico controlado de fermentación aeróbica o compostaje, realizado por los microorganismos que liberan energía, agua, dióxido de carbono y sales minerales (Velasco & Volke, 2010). Se considera un producto manejable que tiene diversas propiedades benéficas para plantas y suelos, que se consigue por medio de la biodegradación en contacto con el oxígeno que surge de residuos naturales como de cocina o jardinería.

El compost avala a las plantas un cúmulo de sustancias nutrientes, promueve la impregnación y almacenamiento de agua, también facilita el movimiento del aire y limita las fluctuaciones bruscas de temperatura y humedad (Feder, 2014). Martínez Sepúlveda (2019) menciona dos objetivos del compost dentro de la biorremediación, en el cual se expande la eliminación del factor contaminante y posteriormente la producción de un compostaje que sea capaz de mejorar y restaurar las condiciones del suelo para recuperar de lo contaminado.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) definen el compostaje como un cúmulo y mezcla de diversa materia natural u orgánica en condición de descomposición que puede ser apta para aprovechar nutrientes y mejorar el suelo (N. Rodríguez, McLaughlin, & Pennock, 2019).

Castellanos, (2010) sugiere algunos de los beneficios del uso de compost para la eliminación de materiales contaminados tales como:

- Estrategias efectivas y amigables con el medio ambiente ya que convierten los contaminantes en pequeñas partes o de forma total en biomasa y productos firmes e inofensivos
- El suelo biorremediado que utiliza un sistema de compostaje, no necesita delimitarse más adelante.

Sauri & Castillo, (2002) indican que se debe considerar lo siguiente:

- Contaminantes a menos de 6 metros de profundidad,
- Contaminantes biodegradables y/o que se pueden fechar a partir de compost ser fuertemente absorbidos,
- Suelo toxico para plantas y microorganismos.

Sin embargo, existen decadencias como:

- El costo de instalación y administración.
- Necesidad de un trasportista.
- Grandes áreas necesarias para almacenamiento y la operación.

2.1.3 Procesos de compostaje

Para obtener el compost se necesita de la recolección de materia orgánica la misma que contiene una población grande de hongos y bacterias. Estos microorganismos empiezan a desarrollarse y formar grandes cantidades de cepas bacterianas las cuales para su alimentación empiezan el proceso de descomposición en el momento en que se presentan condiciones favorables de humedad, temperatura y aireación. Hernández, (2003) expresa que el compost es un proceso lento y no siempre se conservaban al máximo los nutrientes vegetales contenidos en los residuos y casi nunca se aseguraba una higiene de la mezcla.

El compost incluye diferentes etapas que deben cumplirse para obtener un producto de buena calidad, la utilización de materiales que no se hayan finalizado correctamente el proceso y la FAO (2013) nombra algunos riesgos que suelen pasar:

- Fitotoxicidad
- Bloqueo biológico del nitrógeno
- Reducción de oxígeno radicular
- Exceso de amonio y nitratos

Este proceso de composteo dura entre tres y seis meses dependiendo de la materia orgánica y los microorganismos que se encuentren en la misma, y en dicho periodo se distinguen algunas fases que son:

- Mesofilo:** aparecen las bacterias y hongos mesofilos, están en temperatura ambiente con un pH bajo y los microorganismos presentes empiezan a duplicarse.
- Termofilico:** la descomposición de la materia orgánica es rápida, con una temperatura de 40 °C, el pH es alcalino, a medida que el material degradable va siendo utilizado, la velocidad de reacción disminuye y eventualmente la velocidad de generación de calor es menor que la velocidad de pérdida, a partir de la superficie del montón la masa comienza a enfriarse.
- Enfriamiento:** la temperatura es inferior a 60°C, los hongos termófilos reaparecen y el pH del medio se reduce marginalmente.
- Maduración:** esta etapa requiere un largo tiempo a temperatura ambiente, durante el cual se producen reacciones secundarias de condensación y proliferación dando forma al humus (Hernández, 2003).

2.1.4 El compost para suelos contaminados con hidrocarburos

El compost es una alternativa usada para la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos, esta técnica aprovecha los microorganismos existentes en el suelo degradar los contaminantes. Hay sitios donde no se pueden utilizar otros procedimientos de biorremediación se utiliza el compost en biopilas, tal es el caso cuando hay residuos con cantidades grandes de contaminantes que hacen que

el desarrollo de las poblaciones microbianas sea imposible y residuos con altas medidas de compuestos volátiles junto con normas locales estrictas en cuanto a la emisión de estos a la atmósfera (Martínez, Ferrera-Cerrato, & Ortega, 2016). El uso de compost es una respuesta de bajo costo y tecnología con una eficiencia alta para remediar suelos contaminados por residuos orgánicos peligrosos como los HTP, solventes, explosivos, pesticidas e HAP (Velasco & Volke, 2010).

2.1.5 Desventajas y limitaciones del compost

Antonio et al., (2010) indica las desventajas y limitaciones del compost:

- Se ha restringido a contaminantes naturales
- La concentración es muy elevada de contaminantes tienen la posibilidad de ser tóxicos e impedir la degradación biológica, en el caso de los hidrocarburos se aconseja no superar la concentración de 50,000 ppm.
- Cuando se reduce la actividad microbiana, la degradación por ende disminuye provocando un aumento en el periodo de tratamiento.
- Existe la obligación de que algunos compuestos inicialmente inocuos logren ser transformados en productos tóxicos para una u otra clase.
- Se requiere espacio suficiente para el montaje de los sistemas.
- El arrastre de vapores durante la etapa de ventilación necesita ser tratado antes de ser liberados a la atmósfera.
- Los procesos de biorremediación generalmente necesitan más tiempo para ser tratados en procesos físicos y químicos.

2.2 Vermicompost

2.2.1 Definición

El vermicompost o lombricompost es un tipo de abono en el que determinados tipos de lombrices de tierra, *Eisenia foetida*, *Eisenia andrei*, *Lumbricus rubellus*, convierten los desechos orgánicos en un producto confiable para los suelos (Pastor, 2014). El vermicompost presenta unas óptimas condiciones físicas, con contenidos variables de materia orgánica en un espacio humificado, conteniendo variable de materia orgánica, con sustancias y nutrientes fitoregulatorias de desarrollo, que pueden ser almacenado sin posteriores procesos o alteraciones (Liñan, 2015).

Hoy en día se dice que las lombrices de tierra tienen distintos efectos favorables sobre el suelo ya sea físicos, químicos y biológicos. Hay estudios que confirman el efecto del vermicompost, uno de ellos es aumentar el desarrollo de las plantas y el beneficio tanto en ecosistemas manejados como en ecosistemas naturales.

“Durante el proceso en el cual las lombrices se alimentan también descomponen los restos orgánicos, aumentando la actividad microbiana y la tasa de descomposición y mineralización de los residuos orgánicos. El producto final de este proceso es el vermicompost que se obtiene a partir de los desechos orgánicos que pasan por el intestino de la lombriz y es muy diferente al material original” (Pastor, 2014).

2.2.2 Características del vermicompost

Las características más relevantes del vermicompost de acuerdo a lo señalado por (Pastor, 2014):

- Material de color oscuro, con un agradable olor a mantillo de bosque,
- Contiene una alta carga enzimática y bacteriana que desarrolla la solubilidad de los elementos nutricionales,
- Desarrolla la superficie dinámica de las partículas minerales que favorece la capacidad de intercambio catiónico del suelo,
- Aumenta la actividad biótica del suelo,
- Mejora las características estructurales del suelo,
- La conservación del agua en el suelo aumenta (15-30%) al reducir el consumo de agua por los cultivos.

2.2.3 Procesos del vermicompost

Para obtener del vermicompost, se necesita un soporte adecuado en el que se pueda depositar materia orgánica y en el que se puedan mantener las condiciones idóneas para la existencia de las lombrices. Para un buen mantenimiento y puesta en marcha del proceso hay que tener en cuenta varias perspectivas: la lombriz ingiere el alimento de forma rápida y se recrea según su accesibilidad. Sin embargo, hay que tener cuidado, suponiendo que demos una cantidad excesiva de comida, puede ocurrir que la población no pueda deteriorarla y se inicie la putrefacción provocando malos olores y a un aumento de temperatura que puede disminuir la población de lombrices. Por lo tanto, conviene añadir cantidades que puedan procesar y aumentarlas continuamente, los restos orgánicos deben estar troceados lo más posiblemente para la digestión de las lombrices (S. Santos & Urquiaga, 2013).

2.2.4 Consecuencias del vermicompost en el suelo

La incorporación de vermicompost en el suelo se ha desarrollado de forma considerable en la actualidad debido a que este producto desarrolla la fertilidad del suelo y los procesos bioquímicos de la planta (Priya & Santhi, 2014).

2.3 Microorganismos benéficos (MOBs)

2.3.1 Definición

Los microorganismos benéficos fueron desarrollados por el profesor Teruo Higa en Japón. Estas cepas microbianas contienen más de 80 tipos de microorganismos que ocurren naturalmente, incluyendo poblaciones predominantes de bacterias de ácido láctico, hongos, levaduras y un número más pequeño de bacterias fotosintéticas, son capturados de forma natural (Vera, 2016). Cuando hablamos de microorganismos se consideran las mejores opciones con el medio ambiente, que controlen la eficacia y acceso de los nutrientes en los cultivos, para así mejorar la fertilidad al enriquecer la biodiversidad y desarrollar los niveles nutritivos en la superficie. (Vázquez, González, Castillo, & Álvarez, 2019). Los microorganismos son muy importantes en el suelo porque realizan importantes funciones metabólicas. Este estudio examinara el efecto sobre la remediación biológica de suelos deteriorados por hidrocarburos.

“Los microorganismos benéficos pueden estar presentes en la superficie externa de las plantas o en su interior, investigaciones previas demuestran que el número de microorganismos beneficiosos es amplio y no es exclusivo de determinados grupos. Resultaría importante extender el estudio a más especies vegetales con la

finalidad de conocer la riqueza en flora microbiana de una localidad e identificar y multiplicar microorganismos con potencial benéfico para la agricultura, la industria y el medio ambiente, además de otras cosas fijan el nitrógeno, desarrollando aún más la madurez del suelo y la creación de productos químicos de desarrollo de la planta, esto depende de la planta de la que se obtienen los microorganismos benéficos (MOB), y fluctúa la capacidad de las unidades formadoras de colonias (Alvarez-Vera et al., 2018)."

2.3.2 Funciones de microorganismos en el suelo

Los microorganismos son importantes actores en un sistema de producción que ayudan en la mejora de sistemas agrícolas sustentables, además cumplen funciones de remediación del suelo, existe una variedad infinita de microorganismos que se alimentan de hidrocarburos con el fin de sobrevivir en el suelo mejorando sus condiciones físico-químicas. Estos microorganismos asumen un papel importante en una serie de cambios de sustancias químicas en los suelos y, de esta manera, influyen en la accesibilidad de escala de macro y micronutrientes (Alvarez, 2018).

2.3.3 Microorganismo degradadores de hidrocarburos

En cuanto a la biodegradación es el mecanismo más importante, eficaz y económico eliminar definitivamente los hidrocarburos de petróleo no etéreos presentes en el ambiente (Itzel, 2013). El suelo es el hábitat óptimo para varios microorganismos, estos son examinados porque se presentan en grandes cantidades y variantes, se caracterizan por un potencial de remediación biológica segura para solucionar problemas de contaminación en suelos; las bacterias, hongos y levaduras tienen un papel determinante dentro del proceso de remediación biológica (Muñoz, 2016).

Se distingue entre tres grupos de microorganismos:

- 1) **Bacterias:** el género *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, *Acinetobacter* o *Bacillus*, son las más conocidas por poseer esta capacidad de degradar hidrocarburos.
- 2) **Hongos:** son algunos géneros que pueden llegar a degradar hidrocarburos, en este caso se destacan los géneros *Aspergillus*, *Penicillium* y *Cándida* (levaduras).
- 3) **Levaduras:** se utilizan para hacer pan, cervezas, etc. Son hongos unicelulares microscópicos que pueden descomponer la materia orgánica a través de la fermentación.

2.4 Bioensayos con semillas como determinantes de nivel de toxicidad de hidrocarburos

2.4.1 Definición

El propósito de la prueba de germinación de semillas es determinar la viabilidad de un lote de semillas, la cual se determina por el porcentaje de semillas que tienen la capacidad de producir plántulas normales en condiciones óptimas de luz, agua, aire y temperatura (López, Torres, Saldivar, Reyes, & Argüello, 2016). Este bioensayo se utiliza para determinar el nivel de toxicidad de suelos contaminados después del proceso de tratamiento de remediación biológica. Disminuir el porcentaje de germinación y/o inhibir el desarrollo radical de semillas recién germinadas, son las respuestas biológicas que se consideran en los bioensayos de germinación (Foti, Billard, & Hallana, 2005).

Los criterios de valoración para la evaluación de los efectos fitotóxicos son la inhibición de la germinación y la inhibición del alargamiento de la radícula y del hipocótilo. Es importante señalar que durante el período de germinación y los primeros

días de desarrollo de la plántula existen numerosos procesos fisiológicos que pueden interferir con la presencia de una sustancia tóxica que altera la supervivencia y el desarrollo normal de la planta y por lo tanto es una etapa que es muy sensible a factores externos adversos (Sobrero & Ronco, 2004).

2.5 Hidrocarburos totales del petróleo

Los hidrocarburos son compuestos formados por átomos de carbono e hidrógeno que abundan en el petróleo. Se considera una mezcla compleja de gas, líquido y sólido, además de otros compuestos o metales que contienen nitrógeno, oxígeno y azufre (Itzel, 2013). Los hidrocarburos al ser derramados en el suelo causan efectos negativos impidiendo el intercambio gaseoso con la atmósfera, el cual provoca una mayor toxicidad al suelo dependiendo del comportamiento y de la clasificación de cada uno de ellos.

La composición química de un hidrocarburo es de: “carbono 80-87%, hidrógeno 10-15%, azufre 0-10%, nitrógeno 0,1% y oxígeno 0-4%” (Pardá, 2014), estos niveles de compuestos que lo forman varían de acuerdo al nivel de toxicidad que contiene cada compuesto.

2.5.1 Clasificación de los hidrocarburos

Aviles, (2005) clasifica a los hidrocarburos de la siguiente forma:

Los hidrocarburos que se encuentran presentes en el petróleo y sus derivados se clasifican en dos grupos:

- a) **Hidrocarburos alifáticos:** son de cadena lateral, cíclicos o no saturados y se subdividen en:
 - **Saturados o alcanos:** el enlace de carbono es simple C – C. Ejemplo, el etano.
 - **No saturados:** son de doble o triple enlaces de carbono y forman parte del grupo de los hidrocarburos alquenos u olefinas (doble enlace de carbono $\text{CH}_2=\text{CH}_2$), alquinos o acetilenos (triple enlace de carbono $\text{HC}\equiv\text{CH}$).
- b) **Hidrocarburos aromáticos, bencénicos o arenos:** se caracterizan por tener un núcleo común, conocido como benceno. Son de dos clases:
 - **Monocíclico:** es aquel que una molécula de hidrógeno del anillo de benceno se reemplaza cadenas laterales, es decir por residuos hidrocarbonados. Ejemplo metilbenceno o tolueno ($\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}_3$).
 - **Policíclico:** llamados así por contener dos o más núcleos de benceno.

La toxicidad de los hidrocarburos de petróleo (alifático como aromáticos) varía, pero en general los de menor peso molecular son más tóxicos. Los hidrocarburos se distribuyen en el suelo y subsuelo, principalmente por insumos industriales, petroquímicos y atmosféricos. Las principales fuentes de HTPs son la combustión incompleta de combustibles fósiles, residuos forestales y agrícolas o por derrames de petróleo.

2.5.2 Contaminación del suelo por hidrocarburos

La contaminación petrolera está generalmente asociada a la crisis ambiental producida por la toma clandestina de gasolina o diésel, accidentes de transportes o

explotaciones. Una perspectiva de la contaminación ambiental se dice que es continua y permanente, también los impactos pueden tener consecuencias sanitarias importantes a largo plazo (Becerra et al., 2013). Cuando el petróleo es demarrado en grandes cantidades en la superficie terrestre debido a su viscosidad no penetra fácilmente al suelo, la formación química de los hidrocarburos contiene tres fases gaseosa, líquida y semisólida, la fracción gaseosa se evapora y afecta al aire, la segunda fracción es parte líquida y esta se concentra en el suelo y la tercera fracción es semisólida la cual es más tóxica y son los hidrocarburos poliaromáticos, tolerando a una imponente degradación que se deduce como un espacio perdido ya sea de forma parcial o total de todas sus propiedades, físicas, químicas y biológicas. (Castillo, 2009):

Existen dificultades que hasta ahora han limitado la intervención pública en este problema. Los HTP representan una fracción menor de los derivados del petróleo, sin embargo, estos contaminantes son persistentes en el medio ambiente. La mayoría de los HTP no son directamente tóxicos para la salud, ya que los organismos vivos los transforman en metabolitos tóxicos, un proceso que sigue siendo difícil de evaluar científicamente (Becerra et al., 2013).

Las propiedades físicas y químicas de la superficie terrestre, perjudicadas por derrames de hidrocarburos son las siguientes (Ramírez, 2010):

- El carbono orgánico aumenta porque el 75% de carbono del petróleo es oxidable
- Debido a la acumulación del carbono orgánico y la producción de ácidos orgánicos el valor del pH disminuye.
- Disminución del rendimiento de los cultivos y pérdidas de la calidad del producto
- Evita la proliferación de entorno vegetativo del espacio contaminado.
- Alteración de la población de microbios en el suelo.
- Contaminación de aguas superficiales y subterráneas: por la escorrentía y por lixiviados respectivamente.
- Contaminación del aire: por evaporación, combustión, sublimación y/o acarreo del viento.
- Contaminación tóxica a través de la cadena alimentaria.
- Impacto del entorno ambiental y paisajes en el sector donde se ubica la matriz contaminada.
- Evita el intercambio de gases con la atmósfera: iniciando una sucesión de procesos fisicoquímicos sincrónicos.
- Las grandes diferencias de espacios saldados que pueden llegar a destruir el espacio terciario de las proteínas, desnaturalizar las enzimas y la deshidratación de las células.

2.6 Fuentes de contaminantes del suelo de acuerdo al origen

La contaminación del suelo se da por el acaparamiento de sustancias tóxicas que llegan a un nivel donde ya no permite el desarrollo de los seres vivos causando un efecto negativo del ambiente.

Las actividades que realizan estas industrias utilizan derivados de petróleo y debido a eso existen derrames directos al suelo los cuales producen efectos negativos al mismo. La tabla 1. se refiere a las principales industrias que causan daños al medio ambiente principalmente al suelo.

Tabla 1. Principales fuentes de contaminación del suelo

Origen	Contaminantes
Industrias petroleras	Hidrocarburos aromáticos y alifáticos
Fábrica de gas	Alquitrán, benceno, fenoles, hidrocarburos aromáticos policíclicos, cianuros
Industria textil	Hidrocarburos y metales pesados
Estación de servicios	Hidrocarburos y derivados del petróleo
Centrales termoeléctricas	Hidrocarburos, derivados del petróleo y metales pesados
Minería	Hidrocarburos aromáticos, metales pesados, cianuros.
Industria agropecuaria	Hidrocarburos, pesticidas, plaguicidas
Floricultura	Pesticidas, plaguicidas e hidrocarburos.
Lavado de vehículos	Hidrocarburos
Mecánica de automotores	Hidrocarburos, aceites

Fuente: (Cando, 2011)

2.7 Fuentes de contaminación de origen natural o antrópica

2.7.1 Fuentes naturales: los eventos naturales como las erupciones volcánicas o los incendios forestales causan contaminación natural ya que muchos elementos se liberan al medio ambiente, estos elementos tóxicos incluyen compuestos tipo dioxinas e hidrocarburos aromáticos policíclicos. Estos HAPs pueden ocurrir naturalmente en el suelo son de origen cosmogénico y son relativamente comunes en las muestras de polvo cósmico y meteoritos (N. Rodríguez et al., 2019).

2.7.2 Fuentes antrópicas: esta contaminación incluye los productos químicos utilizados o producidos como subproductos de las actividades industriales, desechos domésticos y municipales, incluidas las aguas residuales, los agroquímicos y los productos derivados del petróleo. Se liberan accidentalmente, por ejemplo, en casos de derrames de petróleo de un vertedero o intencionalmente (N. Rodríguez et al., 2019).

2.8 Fuentes de contaminación de origen puntual y difusa

La contaminación de suelos puede ser el resultado de actividades planeadas como involuntarias, estas acciones incluyen la entrada directa de los contaminantes al suelo a través del agua o de la deposición atmosférica. A continuación, se detalla los tipos de contaminación de suelos:

a) Fuentes puntuales: son causadas por eventos específicos dentro de una área determinada se trata de aquellos contaminantes que ingresan al medio receptor por medio de descargas fijas o ya definidas; pueden ser plantas de tratamiento

residuales, industrias, hospitales, canales o edificios públicos (Cando, 2011). Las actividades antropogénicas son las principales fuentes de contaminación puntual.

b) Fuentes difusas: se trata de aquellas en las cuales llegan los contaminantes a través de los medios receptores que vienen de zonas extendidas; estas pueden ser las infiltraciones agrícolas, mineras y urbanas (Cando, 2011). La fuente difusa se debe a la acción involuntaria, se dan por el mal manejo de productos agrícolas que al pasar el tiempo estos son arrastrados hasta las fuentes hídricas o también a la atmosfera.

2.9 Efecto de los hidrocarburos en el suelo

El suelo es un cuerpo natural que forma parte integral del escenario en el que se desarrollan los ciclos biogeoquímicos, hidrológicos y de la cadena alimentaria. Es el lugar donde se realizan las actividades agrícolas y animales, es la base para el establecimiento de espacios verdes (Pacheco & Muñoz, 2017).

El derrame de hidrocarburos en el suelo, los daños causados se dividen en tres tipos: humanos, que afectan de forma directa a la salud pública; patrimoniales, que afectan de forma directa tanto el patrimonio como los terrenos públicos y privados ecológicos, que se implican al deterioro del suelo, cultivos de flora y fauna, esto provoca infertilidad al suelo, pérdida de nutrientes, detrimento de la estructura del suelo y como consecuencia de esto pérdida total de vegetación (Ortiz & Silva, 2019).

2.10 Efectos tóxicos de los hidrocarburos en el suelo, plantas y seres vivos

Estudios realizados han demostrado la consecuente contaminación por hidrocarburos sobre el crecimiento y germinación vegetativa de varios tipos de pastos lo que indica una tardanza en el desarrollo; de la misma manera, el efecto de necrosis foliar de los hidrocarburos poliaromáticos en plantas madereras y en los ecosistemas forestales. Según Itzel, (2013) estos efectos dependen de:

- Composición del petróleo
- Cantidad de petróleo
- Tiempo y frecuencia de exposición
- Estado físico del derrame
- Cualidades del lugar donde se produjo el derrame
- Temperatura, humedad y oxígeno
- Aplicación de dispersantes químicos
- Sensibilidad de la biota de forma detallada del ambiente alterado

El recurso suelo es considerado no renovable a escala humana. Brinda los alimentos necesarios para poder sobrevivir. Los hidrocarburos están formados por elementos químicos tóxicos que al ser derramados en el suelo originan problemas severos, inhibiendo la vegetación, los nutrientes y los componentes biológicos del mismo.

2.11 Consecuencias ambientales del derrame de hidrocarburos en el suelo

En la actualidad, en el sector automotriz, se ha observado el incremento de residuos tóxicos generados por sus talleres los cuales son cada día más notables. Estos generan impactos al medio ambiente, convirtiéndose en grave problema, esto se debe a que el suelo, el agua, el aire están contaminados, con repercusiones en la vida saludable de los seres humanos y su entorno (Díaz & Ramos, 2012). Este problema se debe a que no existe educación ambiental por parte de las entidades competentes y por los propietarios de estos centros mecánicos a sus empleados, y al no tener conocimientos sobre la disposición final de estos desechos peligrosos lo hacen de cualquier modo produciendo un derrame que va directo al suelo y estos con el pasar del tiempo llegan al recurso agua.

Según Alvarez, (2018) “en cuanto al suelo, son los hidrocarburos los que no permiten que existe un intercambio de gases junto con la atmósfera, permitiendo que inicie una etapa de procesos físico-químicos de forma sincrónica, como por ejemplo la evaporación, y dependiendo del hidrocarburo, el ingreso de humedad, temperatura, textura y sobretodo la cantidad descargada que puede ser parte de un proceso con mayor lentitud que genere alta toxicidad.”

Los derrames incontrolados del petróleo provocan el deterioro de la calidad del ambiente, asociado a efectos negativos en las propiedades del suelo y del agua, al afectar la estabilidad química intrínseca y la pérdida de capacidad de degradación de los diferentes microorganismos presentes en estos medios. Así como también pueden provocar cambios en la diversidad microbiana (Serrano et al., 2013).

2.12 Tecnologías de remediación de suelos

Los tratamientos de remediación se usan en cualquier proceso que se empleen métodos biológicos, fisicoquímicos y térmicos para transformar contaminantes con niveles de toxicidad en el aire, agua y suelo, y se clasifican en tres grupos:

- **Tratamiento biológico (biorremediación):** consiste en el desarrollo de actividades que son parte esencial del metabolismo en diversos organismos para descomponer, convertir o eliminar todo lo que genere contaminación en productos metabólicos que sean inofensivos (Castellanos, 2010). Estas tecnologías por lo general son de bajo costo y muy beneficiosas para el medio ambiente, pero a veces es necesario tratar por más tiempo y se debe tener en cuenta el tipo de suelo para el crecimiento microbiano.
- **Tratamiento fisicoquímico:** usan las denominadas propiedades tanto físicas o químicas de diversos contaminantes en un entorno ya contaminado, que se encarga de descomponer dichos contaminantes. (Itzel, 2013). Los procedimientos se pueden realizar en tiempos cortos y los equipos a utilizar son muy accesibles, pero los residuos que generan en las técnicas se deben tratar y estos aumentan los costos y necesidades de permisos para ser tratados.
- **Tratamiento térmico:** el calor es usado para extender la evaporación, cauterizar, descomponer o derretir los contaminantes de la superficie (Itzel, 2013). Este tratamiento ayuda a una limpieza rápida, pero para realizarlo se necesita de costos adicionales, así como tener presente que

cada tratamiento necesita una constante revisión por parte del personal autorizado.

Tabla 2. Valores óptimos para el proceso de biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos

Elemento	Nivel
Agua	40 - 80 %
pH	5.8 - 8
Temperatura	18 - 32 °C

Fuente: Pacheco & Muñoz, (2017)

En la Tabla 2, se presentan los valores requeridos para realizar el proceso de remediación de suelos.

2.12.1 Fundamento bioquímico de la biorremediación

Este fundamento está basado especialmente en las diversas reacciones del óxido – reducción, pues cuyo objetivo es obtener energía, que se va produciendo a través de lo que se conoce como cadena respiratoria o transporte efectivo de electrones, iniciando desde las células, en donde esta cadena empieza por un sustrato orgánico, que es uno de los compuestos de hidrocarburos, pues ésta funciona como un emisor de electrones tanto que la actividad metabólica de dichas células finaliza por degradar y desintegrar esa sustancia (Suarez, 2013). El oxígeno, sulfatos, dióxido de carbono, nitratos y hierro (III), son los aceptores más utilizados por los microorganismos, de esta forma, cuando se usan sulfatos o dióxidos de carbono que aceptan electrones, y también la respiración microbiana que se ejecuta en condiciones anaerobias, no obstante, en el momento que se utiliza oxígeno como el aceptor, respiración de microbios se produzca en condiciones aerobias (Maroto & Rogel, 2004).

Esquema de las reacciones

- **Degradación aerobia**



- **Degradación anaerobia**



La cantidad y la constitución de la red o agrupación microbiana y la tasa de supresión de contaminantes, está directa afectada por numerosos factores como:

- **Estructura química del hidrocarburo:** La biodegradación de un hidrocarburo depende de su respectiva composición química molecular siendo así menos degradable siempre y cuando esté compuesto por ramificaciones, carga nuclear distinta y baja solubilidad en el agua (Mendoza & Flores, 2017).

- **pH del suelo:** El desarrollo de actividades microbianas se confiere en escenarios entre 6 y 8 de pH. Sin embargo, este aspecto perjudica en el traslado de metales pesados a través del suelo por lo que se perjudica activamente en los microbios. (Mendoza & Flores, 2017).

- **Humedad:** El agua actúa como un método de transporte por el cual las mezclas naturales y los suplementos se ensamblan a las células. Un alto grado de agua influirá en el avance bacteriano debido a que la concentración de oxígeno se disminuiría en el suelo (Castellanos, 2010).

- **Nutrientes:** el nitrógeno y fósforo son elementos principales para la descomposición de contaminantes. El rango estándar de C: N: P es 100:10:1 (Mendoza & Flores, 2017).

- **Temperatura:** La temperatura sugerida para incrementar el metabolismo de los microorganismos mesófilos varía entre 15 y 45 °C, mientras que con temperaturas superiores a 40 °C y por debajo de 0 °C estos microorganismos decrecen (Mendoza & Flores, 2017).

2.12.2 Principales microorganismos degradadores de hidrocarburos

Los suelos contaminados tienen dentro considerables sumas de microorganismos que tienen la posibilidad de integrar un determinado grupo de hongos y bacterias que están en capacidad de usar hidrocarburos. Además, los suelos que están contaminados con derivados de petróleo se sujetan más microorganismo que los propios suelos ya contaminados, la variedad de microbios es mínima (Ponce, 2014).

Los microorganismos usan hidrocarburos como sustento alimenticio y energético para poder sobrevivir y de esa manera va desapareciendo los hidrocarburos del suelo por ende disminuye los niveles de toxicidad de cada hidrocarburo en el recurso suelo.

Tabla 3. Géneros de microorganismos degradadores de petróleo

Bacterias			Hongos		
<i>Achromobacter</i>	<i>Leumthrix</i>	<i>Brevebacterium</i>	<i>Allescheria</i>	<i>Oidiodendrum</i>	<i>Gonytrichum</i>
<i>Acinetobacter</i>	<i>Micrococcus</i>	<i>Lactobacillus</i>	<i>Aspergillus</i>	<i>Paecylomyces</i>	<i>Hansenula</i>
<i>Actinomyces</i>	<i>Nocardia</i>	<i>Erwinia</i>	<i>Aureobasidium</i>	<i>Phialophora</i>	<i>Helminthosporium</i>
<i>Aeromonas</i>	<i>Peptococcus</i>	<i>Flavobacterium</i>	<i>Botrytis</i>	<i>Penicillium</i>	<i>Torulopsis</i>
<i>Alcaligenes</i>	<i>Pseudomonas</i>	<i>Streptomyces</i>	<i>Candida</i>	<i>Rhodospiridium</i>	<i>Trichoderma</i>
<i>Bacillus</i>	<i>Sarcina</i>	<i>Coryneforms</i>	<i>Cephalosporium</i>	<i>Rhodotorula</i>	<i>Trichosporon</i>
<i>Spirillum</i>	<i>Spherotilus</i>	<i>Vibrio</i>	<i>Cladosporium</i>	<i>Saccharomyces</i>	<i>Fusarium</i>

Fuente: (Trujillo & Ramírez, 2012).

Los microorganismos detallados en la tabla 3, son los más estudiados ya que se existen una cantidad infinita de microorganismos degradadores de petróleo que podemos encontrar en el suelo. En un estudio realizado por Arenas, (2018) habla sobre las bacterias *Pseudomonas* que son eficaces en cuanto a la desintegración de componentes tóxicos y además dependen del tiempo que estuvieron en contacto con los compuestos, también sus condiciones ambientales.

2.12.3 Factores que limitan la biorremediación

La biodegradación de los compuestos de hidrocarburos que se encuentran en un suelo contaminado dependen de varios componentes, se califican en cuatro grupos: ambientales, físicos, químicos, físicos y microbiológicos.

Tabla 4. Factores que condicionan la biorremediación de un suelo

Factores medioambientales	<p>pH: afecta a la actividad microbiana (bacterias heterótrofas pH 6- 8 Y hongos un pH 4 – 5).</p> <p>Temperatura: influye en el movimiento metabólico de los microorganismos y en el ritmo de biodegradación (20 a 30 °C).</p> <p>Humedad: exceso de humedad privará el desarrollo bacteriano.</p> <p>Oxígeno: no debe ser restrictivo porque los procesos deben ser aerobios.</p> <p>Necesidad de nutrientes orgánicos: la adición de N, P y Fe inorgánicos incrementan las poblaciones microbianas.</p>
Factores físicos	<p>Biodisponibilidad: En las superficies terrestres, uno de los causantes restrictivos para biodegradar es la transferencia de masas.</p> <p>Presencia de agua: la presencia de enormes proporciones de agua puede eliminar el fluido de aire y minimizar la medida de oxígeno fundamental para la respiración microbiana.</p>
Factores químicos	<p>Estructura química: propiedades químicas, físicas y la capacidad que tienen para biodegradar el contaminante.</p>
Factores microbiológicos	<p>Es el componente más importante de la Biorremediación, se considera a la transformación biológica de algunos componentes orgánicos que son catalizados por la acción de enzimas.</p>

Fuente: (Pisfil, 2019).

2.12.4 Ventajas y desventajas de la biorremediación

Algunas ventajas y desventajas de la biorremediación según Rodríguez, (2013), tenemos:

Ventajas

- Es un desarrollo natural, una forma considerable para la superficie que está contaminada.
- Se considera una degradación de compuestos orgánicos en cuanto a productos no tóxicos, agua, biomasa celular y dióxido de carbono.
- Una gran variedad de compuestos que se consideran legales y también peligrosos, que también tienen la posibilidad de ser en productos inocuos biodegradables.
- No es necesario el equipamiento especializado para ser aplicado
- Puede ser aplicada in situ, siendo más económica y eficiente o ex situ.
- Es una técnica de baja estima comparada con otras sistemáticas de bioremediación.
- Posibilidad de recuperar el suelo contaminado.

Desventajas

- Existen riesgos de que las degradaciones de un espacio de los contaminantes generan metabolitos que sean tóxicos
- El desarrollo es sumamente sensible a superficies tóxicas y propiedades medioambientales.
- Se concretan los procesos biológicos
- Los ciclos orgánicos son igualmente inconfundibles.
- Es difícil extrapolar los efectos posteriores de los análisis de microcosmos en el laboratorio a los tratamientos de gran alcance en el campo.
- Una investigación es fundamental para el crear y analizar avances adecuados para aquellos lugares con una mezcla de contaminantes.
- Un extenso monitoreo se requiere para calcular la agilidad de biodegradación.
- Resulta complicado examinar las mezclas naturales imprevisibles durante la biorremediación ex situ

- Se necesita de periodos largos en el procedimiento, comparando con otras técnicas de biorremediación.
- Se precisa de datos e información determinantes del lugar y tipificación para mejorar resultados.

2.13 Estrategias de biorremediación

Se han creado diferentes tácticas con el objetivo de devolver el suelo y la particularidad ambiental las cuales explicamos a continuación (Itzel, 2013; Orosco & Soria, 2010; Torrez & Zuluaga, 2014).

- Degradación de contaminantes: este tipo de tecnología busca modificar los componentes químicos del contaminante.
- Separación, los contaminantes se separan del entorno contaminado, en el que usan características físicas o químicas.
- Inmovilización del espacio contaminado: así son estabilizados con el uso de procesos físicos o químicos.

2.14 Técnicas de biorremediación

El término biorremediación describe una variedad de sistemas que “consiste sobretudo en el uso de los microorganismos de forma natural que están presentes en el medio ambiente y su función es la de descomponer aquellas sustancias tóxicas en sustancias menos peligrosas para la salud y el medio ambiente” (Maroto & Rogel, 2004); además, la biorremediación nace por la premura de mitigar el impacto ambiental, con el propósito de eliminar la toxicidad contaminante en los diversos entornos principalmente el suelo (Itzel, 2013). Por otra parte, Trujillo & Ramírez, (2012) definen a la biorremediación como “el proceso de aceleración de la tasa natural de degradación de los hidrocarburos mediante la adición de nutrientes.”

2.14.1 Tipos de biorremediación

Se definen tres tipos de biorremediación (Biotecnología, 2006).

- **Degradación enzimática:** se basa en el uso de enzimas en sitios contaminados para degradar sustancias nocivas.
- **Remediación microbiana:** se utilizan microorganismos de manera directa en el foco de contaminación, los microorganismos a usar pueden ser ya los que están en el espacio contaminado o tienen la posibilidad de proceder de diversos entornos, en este caso pueden ser vinculados o no.
- **Biorremediación animal:** hay especies animales que trabajan como actores descontaminantes, dado que tienen la posibilidad de realizarse en espacios con fuerte toxicidad y tienen dentro suyos microorganismos que son capaces de sostener los metales pesados.

2.15 Métodos de biorremediación Ex-situ

Los procesos de biorremediación ex-situ incluyen: procesos de biodegradación en etapa de rezago, donde el suelo se mezcla con agua (para conformar un lodo), microorganismos y nutrientes; y de biodegradación en etapa sólida, donde los suelos se colocan en una celda de procedimiento (composteo) o en capas impermeables, en donde se expande el agua y nutrientes (Sepulveda & Velasco, 2009).

2.15.1 Tratamiento por lechos o landfarming

“Este método es el más usado para la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos o desechos del sector industrial petrolero. Consiste en encontrar los suelos afectados por la contaminación, colocarlos sobre un sector extenso y alentar las variables de incidencia en el desarrollo para fomentar la actividad de los microorganismos encargados de degradar los hidrocarburos” (Suarez, 2013). Ponce y

Contreras, (2014) afirman que esta técnica se trabaja para todos los derivados de petróleo, tomando en cuenta que es menos efectiva para petróleos pesados. Antes de extender los suelos contaminados se deben mejorar las condiciones de estado de las superficies que controlen las aguas lluvias y lixiviados. (Torrez & Zuluaga, 2014).

Este tratamiento es una técnica que se aplica en suelos con desechos de hidrocarburos utilizando microorganismos biológicos que metabolizaran a los metales que forman al hidrocarburo convirtiendo en agua y anhídrido carbónico, por lo tanto, este tratamiento es utilizado para degradar varios tipos de hidrocarburos con diferentes niveles de toxicidad, es una tecnología factible para los fines de preservación y mejoramiento del ambiente.

2.15.2 Biopilas

Ponce, (2014) definió a las biopilas como “un proceso de biorrecuperación en situaciones insaturadas, que se basa en el uso de la biodegradación para reducir la proliferación de contaminantes que brotan del petróleo en superficies excavadas por medio de la utilización de la biodegradación desde la creación de un sistema cerrado que permite el monitoreo de lixiviados, hidrocarburos volátiles y algunas interfaces a través del aporte de oxígeno y nutrientes a través de la fuente del suelo.”

Según Roldán & Iturbide (2014), “ la biopila debe tener un sistema de aireación para ,mantener suficiente suministro de oxígeno, los mismos microorganismos pueden degradar compuestos. Se puede utilizar para la generalidad de los compuestos orgánicos y eficiente en propiedades más rápidas, como los hidrocarburos no halogenados y tienen que estar presentes en el suelo en concentraciones inferiores a los 50.000ppm.”

El proceso de la técnica de biopilas se considera muy similar al del compostaje, pero la diferencia consiste en la ausencia de agentes de origen animal o vegetal y la eliminación de la aireación por movimiento de un lado a otro, estos permanecen fijos manteniendo una aireación en sus capas internas mediante tuberías y los costos para realizar esta operación se debería considerar antes de empezar dicho tratamiento.

Entre los factores más destacados que inciden en el uso de biopilas, Maroto & Rogel, (2004), tenemos:

- Los hidrocarburos deben estar libres de halógenos y la concentración en el suelo debe ser menor a 50.000 ppm.
- Debida a la exigencia de excavar y posteriormente depositar en el suelo contaminado, y así se requiere un espacio de trabajo grande que depende del volumen del suelo manejable.
- Se requiere un espesor de población microbiana (>1.000 UFC/gramo de suelo), condiciones de humedad (40-85% del límite del campo), temperatura (10 y 45°C), superficie (poca extensión de arcilla), suficiente pH del suelo (6 y 8) y baja presencia de metales pesados (< 2.500 ppm).
- El rango normal de C: N: P en la superficie está en una concentración de nutrientes de 100:10:1.
- Se estima que el tiempo de ejecución podría alargarse de meses e incluso años, y por consecuencia es de costos bajos.

2.16 Métodos de biorremediación In-situ

Incluye tratar el agua, el suelo o la arena intoxicada sin mover del espacio en que se localizan. Por ello, en las técnicas de bioestimulación y bioaumentación, se pueden utilizar redes de bombeo de nutrientes o un sistema de contaminación, también se puede realizar simple aireación del terreno (Herrero, 2016). Esta clase de tratamiento se considera la elección más acertada para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos, y el gasto del tratamiento in situ es generalmente bajo.

Los métodos que se pueden realizar en este tratamiento son: sistema de Bioventilación, atenuación natural, bioestimulación, fitorremediación.

2.16.1 Bioventing

Esta técnica estimula la biodegradación natural de algunos compuestos del suelo a través de la degradación aeróbica y proporciona oxígeno a los microorganismos presentes en el suelo (Rodríguez, 2013). Debido a la aireación, la volatilización y traslado de la fase más impalpable de los contaminantes en donde se facilitará la degradación de los hidrocarburos y mediante la biodegradación, porque al aumentar la oxidación del suelo, estimulará la actividad microbiana (Itzel, 2013).

El Bioventing es una tecnología nueva, el objetivo de esta técnica es incitar la biodegradación de manera natural en varios compuestos que se encuentre en condiciones aerobias, esta técnica se realiza mediante pozos para luego inyectar aire y de alguna manera sacar los contaminantes mediante el vapor para luego ser tratados simultáneamente eliminando los contaminantes.

Los factores a considerar al aplicar Bioventing o inyección de aire natural son (Maroto & Rogel, 2004):

- Las moléculas más pequeñas (hasta CO₂) tienen más probabilidades de degradarse, la parafina o los compuestos lineales son degradables en cuanto a los impuestos aromáticos. En general, los compuestos muy volátiles (coacción de vapor superior a 10 mm de Hg a 20°C) son favorables.
- La superficie debe tener un bajo contenido de arcilla y ser lo más homogéneo posible, con una adecuada aireación (> 10 – 20 cm²)
- El inconveniente presentado de manera principal se encuentra en la biodisponibilidad que tienen los microorganismos.
- El aporte de oxígeno, como la presencia de fuentes de carbono, un aceptor de electrones y suficiente energía deben ser aptos para el tratamiento.
- Los productos no deben estar libres flotando sobre el nivel del agua subterránea.
- Deben ser accesibles en estados ideales de pH entre 6 y 8, humedad entre 12-30% en peso, potencial redox destacado entre - 50 mV, temperatura en algún punto del rango de 0 y 40 °C y los nutrientes del suelo en proporción N: P de 10:1.
- Necesidad de tiempos de actividad cortos (meses) y gasto medio-significativo.

2.16.2. Atenuación natural

Esta técnica es en el mismo sitio de contaminación, económica. Se utilizan procesos físicos y químicos para interactuar entre los contaminantes del suelo usado y aquellos procesos de descomposición, la biodegradación ocurre de manera natural

(Itzel, 2013). La capacidad de asimilación intrínseca por otro lado es un método que depende de las capacidades del metabolismo que tienen los microorganismos locales, según el tipo de tóxicos contenidos y la lógica que se presenta en la geoquímica y la hidrogeología encontrada en el medio (Orosco & Soria, 2010).

El atenuar de manera natural se ha vuelto un método de tratamiento biológico natural, forma parte de la limpieza de un sitio donde se produjo un derrame de crudo o también existe otra fuente de contaminación. Una de las ventajas de esta técnica que la podemos utilizar en el suelo productivamente mientras se realiza la limpieza del sitio, pero se requiere tener un estudio constante de las condiciones ambientales del lugar.

La eficacia y la viabilidad que influyen como factores de la atenuación natural se recalcan en lo siguiente (Itzel, 2013; Maroto & Rogel, 2004):

- Las condiciones favorables geológicamente y geoquímicamente,
- La necesidad de disminuir la masa de impurezas en un plazo razonable, tanto en la superficie del suelo como en la zona más superficial de la tierra.
- La confirmación de la presencia de los tipos y el número de poblaciones de microorganismos que hacen que las impurezas naturales sean biodegradables,
- Deben existir condiciones óptimas de pH de 6 a 12, humedad de 12 a 30 % en peso, temperatura en algún lugar del rango entre los 0 y 40 °C, así como los nutrientes en el suelo en relación con N: F de 10:1.
- La producción y la conservación del medio ambiente en subproductos que la naturaleza permitirá o será más tóxica que los originales producidos, durante y después de la degradación de manera natural.
- No se debe tener un producto libre en flotando sobre los niveles freáticos,
- Por otro lado, las condiciones que se encuentran aeróbicas deberán tener la condición ambiental óptima que permita que el oxígeno disuelto en el haga sea de manera superior al 0,5 mg/l.

2.16.3 Bioestimulación

El agua que encontramos bajo tierra es traída a tierra superior a través de una extracción por sistemas de pozos, pues se prepara en un aparato la reinyección y estimulación de la degradación de las bacterias y de los componentes encontrados bajo tierra y en las aguas subterráneas (Suárez, 2013), en el reactor se agrega al agua: nutrientes, oxígeno, y microorganismos seleccionados y adaptados y se devuelve al suelo mediante inyección o filtración distribuidos por todo el lugar que necesita ser remediado (Itzel, 2013).

Para que los microorganismos eliminen los productos químicos nocivos, el componente deberá tener una temperatura, nutrientes y oxígeno adecuados. Los ambientes permitirán que los microorganismos se desarrollen y se dupliquen y así equiparen los núcleos artificiales (Orosco & Soria, 2010). La bioestimulación se utiliza específicamente para biorremediar el suelo contaminado con derivados del carburante, pesticidas y demás enjundias químicas orgánicas, hay que tener en cuenta el tipo de suelo para realizar esta tecnología, específicamente no se utiliza en suelos arcillosos porque no favorecen al crecimiento microbiano, en esta técnica se utiliza microorganismos nativos del mismo sitio y como desventaja principal hay que basarse

en la geología local del suelo porque al utilizar aditivos no son fácilmente disponibles en el suelo.

Características determinantes de esta técnica de biorremediación (Suarez, 2013):

- El tipo de suelo debe ser homogéneo, con el suficiente suelo poroso y además debe ser permeable al aire.

- Las condiciones deben estar en óptimo estado para que el pH (6 y 8), la humedad (12-30% en peso), la temperatura 0 y 40°C y con los nutrientes del suelo son los que prevalecen en una proporción de N: P de 10:1

2.16.4 Fitorremediación

Es una ecotecnología factible que utiliza el límite de ciertas plantas para utilizar, asimilar, equilibrar, agregar o volatilizar los tóxicos naturales e inorgánicos que suceden en el suelo, el agua e incluso el aire a través de ciclos bioquímicos que se acumulan o evaporar (Mendoza & Flores, 2017). Con la Fitorremediación las plantas verdes extraen del suelo ciertos contaminantes de manera peligrosa para el medio ambiente y se acumulan en sus tejidos. Algunos ejemplos de fitorremediación de hidrocarburos se llevan a cabo con pastizales misma que son plantas herbáceas, pero, en ecosistemas semiáridos se caracterizan por el predominio de arbustos perennes individuales o plantas herbáceas (Rodríguez, 2013).

El proceso para la recuperación de suelos dependerá del tipo de planta que se utiliza, los factores medioambientales, el tipo de contaminante y la concentración del mismo, por lo tanto, se debe realizar un estudio profundo de esta técnica para obtener buenos resultados.

a) Aplicaciones de la fitorremediación

Puede usarse de manera eficiente para trabajar en superficies contaminadas con componentes naturales y orgánicos como xilenos, benceno, tolueno y etilbenceno; residuos de nitrotolueno, agroquímicos clorados que además contienen fosfato; así como mezclas inorgánicas como el Cd, Cr (VI), Co, Cu, Pb, Ni, Se y Zn. Además, se demuestra ser eficaz en la eliminación de metales tóxicos y radioactivos del suelo y el agua.

Especies como el rábano, mimosa, festuca, sauce, cebada, trébol, frijoles, alfalfa, entre otras, se les conoce como degradadoras de hidrocarburos. Y también para extraer metales se usan la colza, el lirio acuático, girasoles, etc. (Itzel, 2013).

Criterios para seleccionar plantas a utilizar en la biorremediación de suelos con la técnica de fitorremediación (Castrillón & Navarro, 2016):

- Tolerancia a altas concentraciones de metales,
- Tipo de contaminante,
- Almacenamiento de metales,
- Especies de hábitat local, que representen de la comunidad natural,
- Tener una tasa de crecimiento rápido y alta productividad,
- Tiempo: es de gran importancia ya que conocer el tiempo transcurrido desde la contaminación hasta el inicio de la fitorremediación que permite valorar la profundidad de introducción del contaminante y así optar el mejor tipo adecuado.

b) Ventajas y desventajas de la fitorremediación

La fitorremediación es una alternativa que se puede considerar una tecnología rentable y sostenible, Velásquez (2017), describe algunas ventajas y desventajas:

Ventajas

- Se usan las plantas para extraer, purificar y limpiar los suelos y aguas que estén contaminadas
- El humedal artificial es una técnica apropiada para eliminar residuos contaminantes en grandes superficies o para completar la descontaminación de áreas limitadas durante largos periodos,
- La fitorremediación que consiste en usar un método de aprobación pública
- La fitorremediación además crea disminución en residuos secundarios
- Las plantas utilizan la energía del sol

Desventajas

- El proceso hace que se impida llegar a introducir a las raíces o aguas profundas
- La fitotoxicidad se considera un limitante en espacios muy contaminados. Riesgo para la cadena alimentaria, si se escogen diversas especies usadas como fuente alimenticia.
- El tiempo de procesos pueden ser muy largos
- Se necesita una mejor comprensión del origen natural de los productos de descomposición
- No todas las plantas son resistentes al crecimiento en contacto con contaminantes.

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA

La revisión bibliográfica es clave en el desarrollo del conocimiento porque sistematiza, descubre y aporta nuevos conocimientos dando respuesta a la pregunta de investigación que le dio origen (Méndez Rodríguez & Astudillo Moya, 2008), que sin ser original recopila la información más relevante sobre un tema científico (Pulido, 2010). Se ha llevado a cabo una revisión sistemática de documentos, se accedió a publicaciones académicas en línea indexadas en Google Académico, Dianelt, Scielo, ScienceDirect, Springer Link, Elsevier”, que contienen información específica y para la búsqueda de información se utilizó palabras claves como: compost, vermicompost, microorganismos benéficos y biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos, etc. Se accedió a un número ilimitado de documentos de los cuales se fue sacando parte de la información de cada punto a tratar.

3.1 Desarrollo de la investigación

- Se planteó el tema de trabajo y objetivos en función a los intereses que tenía sobre alternativas biológicas para biorremediar suelos contaminados con hidrocarburos debido que hoy en día existe mucha contaminación en suelos y cada vez se va deteriorando y no existe un control adecuado para el mismo.
- Para la búsqueda de revisión de selección de información se recurrió a fuentes secundarias y a la bibliografía de otros trabajos ya realizados.
- Se seleccionó la bibliografía que contenía información de los objetivos planteados del trabajo investigativo
- Para la organización de la información se distinguen 2 apartados: la primera se agrupan los trabajos de carácter más general sobre la información requerida, la segunda los documentos con la información de las metodologías realizadas para evaluar la eficiencia de cada alternativa.
- Finalmente se procedió a la redacción del trabajo a partir de la bibliografía seleccionada y revisada, dando respuesta así a los objetivos planteados y realizando una conclusión precisa.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados de análisis del compost, vermicompost y microorganismos benéficos

Durante años se vienen dando la contaminación del suelo por derivados del petróleo, por las diferentes actividades realizadas por los seres humanos, para contrarrestar este problema se viene investigando alternativas biológicas para la biorremediación de suelos. Existen estudios que demuestran la eficiencia de utilizar estas enmiendas orgánicas y que no solo sirven para remediar suelos si no para mejorar la calidad del suelo para ser producida.

4.1.1 Resultados de la eficiencia aplicando compost para la remediación de suelos contaminados con derivados de hidrocarburos

En la tabla 5 se demuestra resultados de estudios realizados con el compost como alternativa biológica donde Chen et al., (2015) y Šašek y col. (2003b) citado por Antizar, Lopez, & Beck, (2004), analizaron la biodegradación de hidrocarburos aromáticos y la eficiencia es de un 60% a 80%. El estudio de Sayara, Sarrà, & Sánchez, (2010) y Van, Mergaert, Swings, Coosemans, & Ryckeboer (2003), analizaron derivados del petróleo y la eficiencia es de mas del 80% utilizando diferentes dosis, por lo cual se puede decir que al utilizar el compost para remediar suelos sea los escenarios diferentes tienen una eficiencia muy buena.

Tabla 5. Resultados de estudios usando compost.

Sustrato	Contaminante orgánico	Dosis	Duración	Efectividad de la remediación	Estudio
Compost	Hidrocarburo aromático policíclicos, petróleo, pesticidas, clorofenoles y metales pesados	Diferentes dosis. Proporción optima mínima de suelo enmienda va de 1: 0,5	60 días	Se ha demostrado que la incorporación de compost en el suelo contaminado ha mejorado significativamente la degradación de los hidrocarburos de petróleo un 80%.	(Chen et al., 2015)
Compost	Productos petrolíferos nigerianos	12% de sustrato	21 días	Las reducciones de TPH variaron de 40% al 75,87%.	(Adekunle, 2011)
Compost	Hidrocarburos de petróleo	Diferentes dosis	30 días	Se logró una tasa de degradación de 92% de hidrocarburos aplicando mayor porcentaje de sustrato.	(Sayara et al., 2010)
Compost	Hidrocarburos aromáticos policiclicos	La mezcla comprendida entre 64% de suelo y 36% de compost	54 días	La degradación de los HAP individuales estuvo en el rango de 20 a 60% al final de los 54 días de compostaje,	Šašek y col. (2003b) citado por (Antizar et al., 2004)
Compost	Aceite, diésel	Diferentes dosis. 100 kg y 90 kg de sustrato	12 semanas	Represento el 82% de reducción de diésel con mayor dosis de compost.	(Van, Mergaert, Swings, Coosemans, & Ryckeboer, 2003)

4.1.2 Resultados de la eficiencia del vermicompost aplicado para la remediación de suelos contaminados con derivados de hidrocarburos

En la tabla 6, los resultados obtenidos por Abdollahinejad, Pasalari, Jafari, Esrafil, & Farzadkia, (2020), Hickman & Reid, (2008) y O. A. Ekperusi & Aigbodion, (2015) que utilizaron un cierto número de lombrices de tierra para la descomposición de diferentes hidrocarburos la eficiencia es más del 80%, a diferencia del estudio de (Lin et al., 2016) y (Wang et al., 2012) que utilizaron una cierta cantidad de sustrato de vermicompost para la descomposición de contaminantes de petróleo la eficiencia no es tan alta, estos estudios dependen del tipo de suelo, las condiciones ambientales y el tipo de contaminante que se va a degradar.

Tabla 6. Resultados de estudios utilizando vermicompost

Sustrato	Contaminante orgánico	Dosis	Duración	Efectividad de la remediación	Estudio
Vermicompost (lombrices)	Diésel y gasolina	10 y 20 lombrices por 10 y 30 gr de suelo contaminado	90 días	Es un método eficaz para degradar los compuestos con un porcentaje de 90% de eficiencia.	(Abdollahinejad et al., 2020)
Vermicompostaje	Pentaclorofenol	40 mg de sustrato	60 días	La degradación de PCP en los tratamientos fue significativamente encontrando una concentración de 37.1%.	(Lin et al., 2016)
Vermicompost (lombrices)	Hidrocarburos de petróleo	10 lombrices por 1 kg de suelo contaminado	12 semanas	Hubo una disminución significativa en el TPH (84,99%), benceno (91,65%), tolueno (100,00%), etilbenceno (100,00%) y xileno (100,00%).	(Ogheneruemu Abraham Ekperusi & Aigbodion, 2015)
Vermicompost de estiércol de cerdo	Cadmio e hidrocarburos aromáticos policíclicos	5 % de sustrato	90 días	La aplicación de vermicompost al suelo contaminado con Cd y PAHs mejoró significativamente.	(Wang et al., 2012)
Vermicompost (lombrices)	Contaminantes orgánicos	5 lombrices por 2 kg de suelo	28 días	Debido a la actividad física de las lombrices se libera un mayor grado de residuos	Gevao et al. (2001) citado por (Hickman & Reid, 2008)

4.1.3 Resultados de la eficiencia aplicando microorganismos benéficos para la remediación de suelos contaminados con derivados de hidrocarburos

En la tabla 7, se evidencia que los microorganismos benéficos para la biorremediación de hidrocarburos en el suelo demuestran un alto potencial de remoción (60%), según Bisht et al., (2015) utilizando los microorganismos de la rizosfera de las plantas tubo una eficacia de 48% y 1 12% estos resultados dependen del tiempo de duración y de la dosis puesta, Shen et al., (2016) utilizo bacterias para degradar petróleo crudo y la eficiencia es del 64% en cambio Roy et al., (2014) obtuvo como resultado 80%, estos resultados dependieron del tiempo de exposición. Silva et al., (2009) uso microorganismos nativos para remover compuestos aromáticos no obtuvo buenos resultados pero mejoró la calidad del suelo y Santhini, Myla, Sajani, & Usharani, (2009) aplicaron microorganismos sp para degradar aceites y obtuvieron resultados buenos con una viabilidad alta.

Tabla 7. Resultados de estudios utilizando microorganismos benéficos

Sustrato	Contaminante orgánico	Dosis	Duración	Efectividad de la remediación	Estudio
Rizosfera	Hidrocarburos poliaromaticos	Diferentes dosis sustratos	de De 7 a 48 días	A los 7 días un 48% y a los 40 días 1 12% de degradación.	(Bisht et al., 2015)
Bacterias	Petróleo crudo	Diferentes sustrato	dosis de 40 días	Degradación del contaminante 64.4 %	(Shen et al., 2016) citado por (S. Santos & Urquiaga, 2013)
Bacterias pseudomonas aeruginosa y Achcrobacter xylooxidans	Petróleo crudo	100 gr microorganismos	de 24 semanas	Degradación del contaminante del 80%	(Roy et al., 2014)
Microbiota del suelo nativa	Compuestos aromáticos	Diferente dosis	12 semanas	Los HAPS son metabolizados como fuente de carbono y energía por lo que se dice que es eficiente el tratamiento	(Silva et al., 2009) citado por m(Mrozik & Piotrowska-Seget, 2010).
Microorganismos Sp	Aceites	Diferentes sustrato	dosis de 21 días	Es eficiente la degradación de aceites con microorganismos Sp	(Santhini, Myla, Sajani, & Usharani, 2009)

En la tabla 5, 6 y 7 se aprecia los resultados de estudios por diferentes autores los cuales son estudios usados como alternativas biológicas al compost, vermicompost y microorganismos benéficos, pero con diferentes contaminantes orgánicos, dosis y periodo de tiempo, por lo tanto, la eficiencia del tratamiento es diferente, estas enmiendas orgánicas actúan dependiendo las condiciones ambientales de acuerdo al lugar donde están siendo tratados el suelo.

4.2 Resultados de bioensayos con semillas

La germinación de semillas es una técnica para medir el nivel de toxicidad después de remediar el suelo, en la tabla 8 se evidencia los resultados realizados de las investigaciones analizadas, lo que se puede apreciar que utilizando cualquier enmienda orgánica ya sea el compost, vermicompost o microorganismos benéficos la eficiencia es buena, en el análisis del estudio de Nava, Valenzuela, & Rodríguez, (2019) que es sobre el vermicompost demuestra que no solo sirve para remediar el suelo si no que en la prueba mejora la calidad y la viabilidad impidiendo la mortalidad del mismo al rato de ser plantada en el suelo.

Tabla 8. Resultados de la germinación de semillas

Sustrato	Semilla	Eficiencia	Referencia
Compost	rábano (<i>Raphanus sativos L.</i>),	97%	Bustamante & Silva (2019)
Vermicompost	rábano (<i>Raphanus sativos L.</i>),	97%	Nava, Valenzuela, & Rodríguez, (2019)
Microorganismos benéficos	rábano (<i>Raphanus sativos L.</i>),	97%	Vázquez et al., (2019),

Los artículos revisados y sus hallazgos presentan una fuerte evidencia de que, al utilizar el compost, vermicompost y microorganismos benéficos son eficientes para la remediación de suelos contaminados con derivados de petróleo cada uno con un 97% de factibilidad, sin embargo, se necesita más estudios para confirmar la eficiencia de cada tratamiento. No existen estudios realizados degradando el mismo contaminante por lo que no se tienen resultados para comparar.

El derrame de hidrocarburos en el suelo es altamente difundido, por lo que se genera un grave problema de contaminación de los suelos, y por medio de esto afecta a los seres vivos, gracias a estos problemas se han desarrollado alternativas biológicas para volver a reconstruir parámetros físicos, biológicos y químicos del suelo. En las siguientes tablas se detallan algunas características de estudios realizados utilizando el compost, vermicompost y microorganismos benéficos que han dado buenos resultados como restauradores de suelos contaminados con hidrocarburos.

Tabla 9. Características de la eficiencia del compost.

Referencia	Características
Chen et al., (2015)	El compostaje o la adición de compost pueden aumentar simultáneamente el contenido de materia orgánica del suelo y la fertilidad del suelo además de la biorremediación, y por lo tanto se cree ser uno de los métodos más rentables para la remediación del suelo.
Adekunle, (2011).	Los residuos compostados tienen el potencial de biorremediación de suelos contaminados con petróleo y productos derivados del petróleo. Sin embargo, un mayor desarrollo de esta técnica para lograr un TPH residual cero es recomendado.
Sayara, Sarrà, & Sánchez, (2010)	Los diferentes comportamientos observados durante los primeros 10 días de compostaje demuestran que el compost menos estable no es adecuado para este tipo de remediación, pero las más estables pueden promover la degradación rápidamente cuando el proceso está bien controlado
Antizar, Lopez, & Beck, (2004)	El compostaje y el uso de compost se han aplicado con éxito a la biorremediación de suelos contaminados con HAP. Los principales mecanismos de la remoción de HAP bajo ambos regímenes de biorremediación es la mineralización, la unión y la volatilización. El compostaje, independientemente del enfoque utilizado, es una buena tecnología ambiental que puede usarse para eliminar la HTP del suelo
Van, Mergaert, Swings, Coosemans, & Ryckeboer, (2003).	Se sabe que las sustancias orgánicas aumentan con el aumento de materia orgánica especialmente se descubrió que los hidrocarburos poliaromáticos (HAP) se adsorben fuertemente al compost. Observaron que la volatilización de los n-alcanos disminuyó cuando la aumentó la cantidad de enmienda orgánica al suelo.

De acuerdo a la información obtenida y analizada sobre los casos estudiados se puede decir que presentan una fuerte certeza de que la utilización del compost aplicado a suelos contaminados con petróleo es un componente eficiente de degradación de los hidrocarburos.

Tabla 10. Características de la eficiencia del vermicompost

Referencia	Características
Abdollahinejad, Pasalari, Jafari, Esrafili, & Farzadkia, (2020)	El vermicompostaje de lodos activados para la biorremediación de suelos contaminados, es una tecnología factible y prometedora para la biorremediación de alto contenido de contaminantes orgánicos petrolíferos y biorrefractarios de las matrices del suelo
Lin et al., (2016)	El vermicompost es un enfoque eficaz y respetuoso con el medio ambiente para la limpieza de la contaminación orgánica del suelo. Tiene el potencial de mejorar la biorremediación de los suelos contaminados con pentaclorofenol.
Ogheneruemu Abraham Ekperusi & Aigbodion, (2015)	Ha demostrado que la lombriz de tierra <i>H. africanus</i> tiene el potencial de bioacumular y biodegradar hidrocarburos de suelos contaminados con petróleo crudo. La adición de aditivos o nutrientes para las lombrices de tierra aumentará y mejorará el proceso de biorremediación.
Wang et al., (2012)	La aplicación del vermicompost de cerdo en suelos contaminados con Cd e hidrocarburos de petróleo mejoro significativamente la eficiencia de biorremediación, estos pueden ser evaluados a largo plazo incluyendo la eficiencia de remoción de contaminantes, el destino de los contaminantes y la carga y perdidas de nutrientes fuera del sitio.
Hickman & Reid, (2008)	Se ha demostrado que la biorremediación asistida por el vermicompost es adecuada para una alta gama de compuestos orgánicos, es un enfoque viable para la aplicación a contaminantes tales como agroquímicos, aceites crudos , hidrocarburos de petróleo y bifenilos policlorados.

Los artículos revisados y sus hallazgos presentan una fuerte evidencia de que la inducción de vermicompost aplicado a suelos contaminados con hidrocarburos es un mecanismo eficiente de degradación de los contaminantes, pero se necesita más estudios para confirmar la información obtenida.

Tabla 11. Características de la eficiencia de microorganismos benéficos

Referencia	Características
Santos & Maranhó, (2018)	La biorremediación presentada por la estrategia de microorganismos rizosféricos se destaca por sustentabilidad, ya que es una técnica que reúne aspectos económicos implicando menores costos de aplicación y operación, aspectos ecológicos permitiendo la integración de varios factores en el ambiente a recuperar, esta técnica es muy efectiva siendo capaz de remediar hasta un 100% reduciendo el tiempo de residencia de los hidrocarburos en el suelo.
Bisht et al., (2015)	Estudios adicionales de la selección de bacterias o comunidades de rizosfera adecuadas, capaces de sustentar y proliferar en el sistema de raíces de una planta que sea adecuada para la rizorremediación o la fitorremediación, pueden producir sistemas novedosos útiles para la eliminación de hidrocarburos del suelo.
Roy et al., (2014)	Demuestran que el uso combinado de bacterias que degradan el petróleo crudo junto con suplementos de nutrientes podría revivir el suelo contaminado con petróleo crudo de manera efectiva a gran escala. También concluye que el suelo contaminado con petróleo crudo es un buen hábitat para potentes degradadores de hidrocarburos del género. <i>Lysinibacillus</i> , <i>Brevibacillus</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Paenibacillus</i> , <i>Stenotrophomonas</i> , <i>Alcaligenes</i> , <i>Delftia</i> , <i>Achromobacter</i> y <i>Pseudomonas</i> y estas bacterias, individualmente y en consorcios, contribuyen a mejorar la calidad del suelo contaminado con hidrocarburos.
Mrozik & Piotrowska-Seget, (2010)	El paso más importante para una bioaumentación exitosa es la selección de cepas microbianas, la eliminación más eficaz de contaminantes se puede lograr mediante el uso de inoculantes microbianos aislados de entornos donde la contaminación ha ocurrido durante varias décadas. Otros enfoques que se consideran más efectivos que el bioaumentación celular involucran microorganismos inmovilizados, suelo activado y bioaumentación genética
(Santhini et al., 2009)	La capacidad de aislar un gran número de ciertos microorganismos que degradan el aceite de un ambiente contaminado por petróleo se toma comúnmente como evidencia de que estos microorganismos son los degradadores activos del medio ambiente. Aunque, se puede esperar que los degradadores de hidrocarburos se aislen fácilmente de un ambiente asociado al petróleo, el mismo grado de aislamiento de un ambiente relacionado total como el suelo.

En base a la información analizada sobre el uso de microorganismos benéficos en los suelos contaminados con hidrocarburos para la biorremediación, cada estudio analizado demuestra un enfoque positivo de degradación de contaminantes y es evidente utilizar para futuras investigaciones.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES

De acuerdo a la revisión bibliográfica de los casos prácticos realizados por cada autor se puede concluir lo siguiente:

- La creciente demanda poblacional y el desarrollo sostenible requiere la implementación de nuevas alternativas de descontaminación en el ambiente y su control, los métodos biológicos de biorremediación se han convertido en una alternativa rentable ya que pueden degradar selectivamente los contaminantes sin dañar las propiedades del suelo.
- La utilización del compost dentro de la remediación biológica de los pisos que se encuentran contaminados con hidrocarburos de petróleo (HTP) siendo eficiente ya que contienen microorganismos degradadores de petróleo estos aceleran la descomposición de los metales pesados, dependiendo de la dosis que se incorpora en cada tratamiento mientras más compost más rápido es el proceso de biorremediación. En algunos estudios realizados demuestran que la técnica aplicada de biorremediación en los suelos que se encuentra contaminados con butano aplicando compost es eficiente y económica.
- Dentro de la biorremediación el vermicompost se lo ha tomado como elección para la protección de las superficies contaminadas con materia petrológica siendo este eficiente y económicamente, un sustrato enriquecido en microorganismos beneficiosos los cuales ayudan a la degradación de hidrocarburos, en los estudios realizados en comparación con el compost, el vermicompost no tarda mucho en degradar los contaminantes.
- La aplicación de microorganismos benéficos (MOBs) debido a la variedad que contienen y al ser añadidos a la tierra contaminada favorecen al deterioro de las sustancias petroquímicas disminuyendo la cantidad de toxicidad de los hidrocarburos de petróleo (TPH), demostrando la capacidad de biorremediación y siendo una herramienta amigable con el ambiente que al usar estas enmiendas naturales ayudan que el suelo se vuelva fértil y este en la capacidad para ser cultivados.
- El bioensayo con semillas demuestra el nivel toxico de cada suelo, al analizar los resultados de esta prueba de toxicidad de la germinación de semillas en cada tratamiento analizado ya sea el compost, vermicompost y microorganismos benéficos los resultados son significativos, en los tres tratamientos estudiados se evidencia el 90% de semillas germinadas lo que quiere decir que, al aplicar estas sustancias orgánicas en suelos contaminados con hidrocarburos se corroboró una efectividad en remediación de las alternativas analizadas.

CAPITULO VI

6. RECOMENDACIONES

- Después de analizar cada tratamiento de la utilización de compost, vermicompost y microorganismos benéficos (MOBs), indican que los tres tratamientos son eficientes y eco amigable con el ambiente, pero se recomienda el uso de MOBs debido al tiempo necesario para la obtención de este producto natural ya que para la obtención del compost y vermicompost se necesita un periodo de tiempo más largo.
- Según el análisis de germinación de semillas se recomienda utilizar el vermicompost en dosis alta ya que esta sustancia no solo mejora las propiedades del suelo si no también la calidad y resistencia de la plántula.
- También en base de la información analizada, se recomienda realizar futuras investigaciones para remediar suelos contaminados con hidrocarburos aplicando compost, vermicompost y microorganismos benéficos dentro del entorno con tratando diferentes contaminantes.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdollahinejad, B., Pasalari, H., Jafari, A. J., Esrafil, A., & Farzadkia, M. (2020). Bioremediation of diesel and gasoline-contaminated soil by co-vermicomposting amended with activated sludge: Diesel and gasoline degradation and kinetics. *Environmental Pollution*, 263. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114584>
- Adekunle, I. M. (2011). Bioremediation of soils contaminated with Nigerian petroleum products using composted municipal wastes. *Bioremediation Journal*, 15, 230–241. <https://doi.org/10.1080/10889868.2011.624137>
- Alvarez-Vera, M., Vázquez, J., Castillo, J., Tucta, F., Quispe, E., & Meza, V. (2018). Potential of the flora of the province of Azuay (Ecuador) as a source of beneficial microorganisms. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 561–568. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.12>
- Alvarez, M. (2018). *Caracterización de microorganismos benéficos provenientes de tres pisos altitudinales de Azuay - Ecuador y su influencia en el cultivo de fresa*. 342. Retrieved from <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3097>
- Antizar, B., Lopez, J. M., & Beck, A. J. (2004). Bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH)-contaminated waste using composting approaches. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 34, 249–289. <https://doi.org/10.1080/10643380490434119>
- Arenas, D. (2018). Proceso de biodegradación para el tratamiento de derrames de petróleo por medio de Pseudomonas. *Fundación Universidad de América Facultad de Educación Permanente y Avanzada Gestión Ambiental*, 372(2u), 2499–2508.
- Aviles, M. (2005). Química del Carbono Hidrocarburos. *Química Del Carbono*, (1), 1–9. Retrieved from <https://fisquiweb.es/Apuntes/Apuntes2Qui/Organica1.pdf>
- Becerra, S., Paichard, E., Sturma, A., & Maurice, L. (2013). Vivir con la contaminación petrolera en el Ecuador: percepciones sociales del riesgo sanitario y capacidad de respuesta. *Revista Lider*, 23, 102–120.
- Biotecnología, P. (2006). Biorremediación: organismos que limpian el ambiente. *El Cuaderno de Por Qué Biotecnología*, 36, 10.
- Bisht, S., Pandey, P., Bhargava, B., Sharma, S., Kumar, V., & Krishan, D. (2015). Bioremediation of polyaromatic hydrocarbons (PAHs) using rhizosphere technology. *Brazilian Journal of Microbiology*, 46(1), 7–21. <https://doi.org/10.1590/S1517-838246120131354>
- Bustamante, G., & Silva, J. S. (2019). Efecto de la materia orgánica en la biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos de petróleo en establecimientos de servicios. *Tesis de Grado. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo*, 66.
- Cando, R. M. Á. (2011). “Determinación Y Análisis De Un Proceso De Biorremediación De Suelos Contaminados Por Hidrocarburos.” *Tesis de Pregrado. Universidad Politécnica Salesiana*, 196.
- Castellanos, C. (2010). Evaluación de Pretratamientos Físicoquímicos en la biodegradación de Hidrocarburos de Petróleo en Suelo de la Ex – Refinería 18 de Marzo Azcapotzalco México D.F.. *Tesis de Grado. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro*.

- Castillo, R. P. (2009). Aplicación De La Técnica De Landfarming Para La Remediación De Suelos Contaminados Con Hidrocarburos. *Tesis de Maestría. Universidad de Piura.*
- Castrillón, K., & Navarro, L. (2016). Evaluación de la Fitorremediación como Alternativa para el Tratamiento de Aguas Residuales Contaminadas con Mercurio Producto de la Minería Aurífera (artesanal y pequeña escala). *Monografía. Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD*, 1–106.
- Chen, M., Xu, P., Zeng, G., Yang, C., Huang, D., & Zhang, J. (2015). Bioremediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons, petroleum, pesticides, chlorophenols and heavy metals by composting: Applications, microbes and future research needs. *Biotechnology Advances*, 33, 745–755. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.05.003>
- Díaz, G., & Ramos, A. (2012). Elaboración de un manual de procedimiento para el manejo de desechos tóxicos y desarrollo de un programa de gestión ambiental para la implementación de la norma ISO 14001 en un taller automotriz. *Tesis de Grado. Universidad Internacional Del Ecuador*, 7, 1–25.
- Ekperusi, O. A., & Aigbodion, F. I. (2015). Bioremediation of petroleum hydrocarbons from crude oil-contaminated soil with the earthworm: *Hyperiodrilus africanus*. 3 *Biotech*, 5(6), 957–965. <https://doi.org/10.1007/s13205-015-0298-1>
- Ekperusi, Ogheneruemu Abraham, & Aigbodion, I. F. (2015). Bioremediation of heavy metals and petroleum hydrocarbons in diesel contaminated soil with the earthworm: *Eudrilus eugeniae*. *SpringerPlus*, 4(1). <https://doi.org/10.1186/s40064-015-1328-5>
- FAO. (2013). Manual de compostaje del agricultor. In *Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe*. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
- Foti, M. N., Billard, C., & Hallana, H. V. (2005). Bioensayos de germinación con semillas de rucula y lechuga para monitoreo de calidad de agua. *Revista Científica Agropecuaria*, 9(1), 47–53. Retrieved from http://www.fca.uner.edu.ar/rca/Volumenes Anteriores/Vol Ante 9/rca_9_1_pdf/rca_91_f.PDF
- Hernández, A. (2003). La Composta , su Elaboración y Beneficio. *Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.*
- Herrero, M. J. (2016). Comparativa de métodos de descontaminación de suelos afectados por hidrocarburos. *Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.*, 1–104. Retrieved from http://oa.upm.es/39774/1/MARIA_JOSE_HERRERO_PENA.pdf
- Hickman, Z. A., & Reid, B. J. (2008). Earthworm assisted bioremediation of organic contaminants. *Environment International*, 34(7), 1072–1081. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2008.02.013>
- Itzel, D. (2013). Tecnologías para la restauración de suelos contaminados por hidrocarburos. *Tesis de Grado. Universidad Veracruzana*, (Tesina para obtención de especialista en gestión e impacto ambiental), 94.
- Lin, Z., Bai, J., Zhen, Z., Lao, S., Li, W., Wu, Z., ... Zhang, D. (2016). Enhancing pentachlorophenol degradation by vermicomposting associated bioremediation. *Ecological Engineering*, 87, 288–294. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.12.004>

- Liñan, R. I. (2015). Desarrollo de Biofiltros de residuos orgánicos para la eliminación de contaminantes orgánicos emergentes. *Tesis de Maestría. Universidad Miguel Hernández de Elche.*
- López, J., Torres, N., Saldivar, R., Reyes, I., & Argüello, B. (2016). Técnicas Para Evaluar Germinación, Vigor y Calidad Fisiológica de Semillas Sometidas a Dosis de Nanopartículas. *Centro de Investigación En Química Aplicada (CIBQ). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro*, 129–140.
- Maroto, M. E., & Rogel, J. M. (2004). Aplicación de sistemas de biorremediación de suelos y aguas contaminadas por hidrocarburos. *Protección Ambiental de Suelos*, 297–305.
- Martínez, A., Pérez, M. E., Pinto, J., Gurrola, B., & Osorio, A. (2011). Bioremediation of hydrocarbon polluted soil using sewage sludge as alternative source of nutrients. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27(3), 241–252. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992011000300009
- Martinez, D., Ferrera-Cerrato, R., & Ortega, H. (2016). Composting in Bio-Piles for the Clean-Up of Soils. *Agroproductividad*, 9(8), 45–51.
- Martínez, S. J. A., Sánchez, Y. J. M., Volke, S. T., Vallejo, Q. V. E., Pérez, J. L. M., Duarte, B. P. A., ... Casallas, M. (2019). Remediación de suelos contaminados: fundamentos y casos de estudio. In *Remediación de suelos contaminados: fundamentos y casos de estudio*. <https://doi.org/10.21158/9789587566116>
- Méndez Rodríguez, A., & Astudillo Moya, M. (2008). La Investigación en la era de la Información. Guía para realizar la bibliografías y fichas de trabajo. *Trillas*, p. 181. Retrieved from <http://www.economia.unam.mx/academia/inac/pdf/inac1/u1l5.pdf>
- Mendoza, J., & Flores, C. (2017). *Biorremediación De Suelo Contaminado Con Hidrocarburos Por Derrames De La Estación De Servicio En El Campamento De Guarumales-Celec.* Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27211/1/tesis.pdf>
- Mrozik, A., & Piotrowska-Seget, Z. (2010). Bioaugmentation as a strategy for cleaning up of soils contaminated with aromatic compounds. *Microbiological Research*, 165(5), 363–375. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2009.08.001>
- Muñoz, S. D. (2016). Evaluación de la eficacia de *Trichoderma* sp y *Pseudomona* sp para biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos.
- Nava, P. E., Valenzuela, Q. W., & Rodríguez, Q. G. (2019). El vermicompost como sustrato sustituido en la germinación de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Agrociencia. Instituto Politecnico Nacional CIDIR.*, 53, 869–880.
- Orosco, V. V. P., & Soria, G. M. M. (2010). Biorremediación de Vegetación Contaminada con Petróleo por Derrames en el Campamento Guarumo - Petroproduccion. Retrieved from <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/225>
- Ortiz, D., & Silva, J. (2019). Efectos ambientales de los hidrocarburos. Una revisión. *Especialización En Control de La Contaminación Ambiental. Universidad Santiago de Chile*, 1–11.
- Pacheco, M. M., & Muñoz, V. J. M. (2017). Colonias bacterianas presentes en el estiércol de gallinas blancas de la cepa Leghorn responsables de la biodegradación de petróleo en suelos contaminados.

- Pardá, A. C. (2014). *Biodesulfuración de fracciones petrolíferas: tratamiento de dibenzotiofeno en distintas condiciones de operación*. 55. Retrieved from <http://dspace.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/477/E.INTRODUCCI?N.pdf?sequence=4>
- Pastor, M. J. (2014). *Efecto del Uso del Vermicompost para la Biorremediación de Suelos Salinos - Sódicos del Estado Falcón*. (F-1-02-041-01), 28–29. <https://doi.org/10.13140/2.1.1007.9046>
- Pisfil, C. Y. R. (2019). Remediación de suelos contaminados en operaciones de perforación en nor-oeste y selva. *Tesis de Grado. Universidad Nacional de Piura*, 1–110.
- Ponce, C. D. (2014). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos.
- Priya, S., & Santhi, S. (2014). Effect of vermicomposts on the growth of amaranthus plants and soil fertility. *Departamento of Zoolog. Pelagfia Research Library*, 5(1), 231–240.
- Pulido, M. (2010). El artículo de revisión. *Medicina Clínica*, 93(19), 745–746. <https://doi.org/10.1590/s0864-34662008000400011>
- Ramírez, V. (2010). "Caracterización y Posterior Remediación Electro-cinética de Suelo Tipo Vertisol Pélico Contaminado con Hidrocarburo Procedente de una Zona Industrial."
- Rodríguez, A. I. (2013). Reciclado en suelos de lodos de refinería: nuevas aproximaciones para la biodegradación de hidrocarburos mediante el manejo de enmiendas orgánicas. *Proyecto de Investigación. Unuiversidad de Murcia*.
- Rodríguez, N., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2019). La contaminación del suelo: una realidad oculta. In *Organizacion de las Naciones Unidas para la alimentacion y la agricultura FAO*. Retrieved from <http://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf>
- Roldán, M. A., & Iturbide, A. R. (2014). Saneamiento de suelos contaminados con hidrocarburos mediante biopilas. *Trabajo de Investigación. Instituto de Ingenieria, UNAM*, 2, 16.
- Roy, A. S., Baruah, R., Borah, M., Singh, A. K., Deka Boruah, H. P., Saikia, N., ... Chandra Bora, T. (2014). Bioremediation potential of native hydrocarbon degrading bacterial strains in crude oil contaminated soil under microcosm study. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 94, 79–89. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.03.024>
- Santhini, K., Myla, J., Sajani, S., & Usharani, G. (2009). Screening of Micrococcus Sp from Oil Contaminated Soil with Reference to Bioremediation. *Botany Research International*, 2(4), 248–252.
- Santos, J. J., & Maranhão, L. T. (2018). Rhizospheric microorganisms as a solution for the recovery of soils contaminated by petroleum: A review. *Journal of Environmental Management*, 210(2018), 104–113. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.01.015>
- Santos, S., & Urquiaga, R. (2013). Compostaje y vermicompostaje domesticos. *Centro Nacional de Educadores Ambiental*, (Metodología del vermicompostaje), 10. Retrieved from www.siempreenmedio.org
- Sauri, M., & Castillo, E. (2002). Utilización de la composta en procesos para la remoción

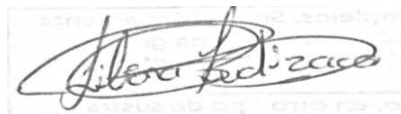
- de contaminantes. *Trabajo de Investigación*, 3, 55–60.
- Sayara, T., Sarrà, M., & Sánchez, A. (2010). Effects of compost stability and contaminant concentration on the bioremediation of PAHs-contaminated soil through composting. *Journal of Hazardous Materials*, 179, 999–1006. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.03.104>
- Sepulveda, T. V., & Velasco, J. A. (2009). *Tecnologías de remediación para suelos contaminados*.
- Serrano, G. M. F., Torrado, G. L. M., & Pérez, R. D. D. (2013). Impact of Oil Spills on the Mechanical Properties of Sandy Soils. *Revista Científica General José María Córdova*, 11(12), 233–244.
- Shen, W., Zhu, N., Cui, J., Wang, H., Dang, Z., Wu, P., ... Shi, C. (2016). Ecotoxicity monitoring and bioindicator screening of oil-contaminated soil during bioremediation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 124, 120–128. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.10.005>
- Silva, Í. S., Santos, E. da C. dos, Menezes, C. R. de, Faria, A. F. de, Franciscon, E., Grossman, M., & Durrant, L. R. (2009). Bioremediation of a polyaromatic hydrocarbon contaminated soil by native soil microbiota and bioaugmentation with isolated microbial consortia. *Bioresource Technology*, 100(20), 4669–4675. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.03.079>
- Sobrero, M. C., & Ronco, A. (2004). Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga *Lactuca sativa* L. *Imta*, 55–67. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Suarez, B. R. M. (2013). *Guía de Métodos de Biorremediación para la Recuperación de Suelos Contaminados por Hidrocarburos*.
- Torrez, K., & Zuluaga, T. (2014). Biorremediación de suelos Contaminados por Hidrocarburos. <https://doi.org/10.15957/j.cnki.jjdl.2009.07.004>
- Trujillo, T. M. A., & Ramírez, Q. J. F. (2012). Biorremediación en suelos contaminados con hidrocarburos en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 3(2), 37. <https://doi.org/10.22490/21456453.952>
- Van, K., Mergaert, J., Swings, J., Coosemans, J., & Ryckeboer, J. (2003). Bioremediation of diesel oil-contaminated soil by composting with biowaste. *Environmental Pollution*, 125(3), 361–368. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(03\)00109-X](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(03)00109-X)
- Vázquez, J., González, J., Castillo, J., & Álvarez, M. (2019). Microorganismos benéficos MOBs obtenidos de plantas, como promotores en la germinación de semillas. *Artículo de Investigación. Dominio de Las Ciencias*, 5(1), 615–628.
- Velasco, A., & Volke, T. (2010). El composteo: una alternativa tecnológica para la biorremediación de suelos en México. *Transactions, Institution of Mining & Metallurgy, Section B*, (Special Issue), 44–46.
- Velásquez, J. A. (2017). Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(1), 151–168.

- Vera, C. D. F. (2016). *Carrera De Ingeniería Ambiental Tesis Previa a La Obtención Del Título De : Ingeniero En Medio Ambiente Tema : Composición De Microorganismos Eficientes Hidrocarburos Autor : Darío Fabián Vera Cedeño Tutor : Retrieved from <http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/279/1/TMA81.pdf>*
- Viñas, M. (2005). Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos: caracterización microbiológica , química y ecotoxicológica.
- Wang, K., Zhang, J., Zhu, Z., Huang, H., Li, T., He, Z., ... Alva, A. (2012). Pig manure vermicompost (PMVC) can improve phytoremediation of Cd and PAHs co-contaminated soil by *Sedum alfredii*. *Journal of Soils and Sediments*, 12(7), 1089–1099. <https://doi.org/10.1007/s11368-012-0539-4>

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, **Mercy Liliana Ludizaca Velecela** portador de la cédula de ciudadanía N.º 0302293246 En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Compost, vermicompost y microorganismos benéficos como alternativas para la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 03 de febrero de 2022.



.....

Mercy Liliana Ludizaca Velecela

C.I. 0302293246