



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

COMPONENTE PRÁCTICO DEL EXAMEN DE CARÁCTER COMPLEXIVO

MODALIDAD: “REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA”

**USO DE FABÁCEAS COMO ALTERNATIVA DE
FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS
POR PETRÓLEO EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA**

Previo a la obtención del título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Autor: Iveth Viviana Neira Guale.

LA LIBERTAD, 2022



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

COMPONENTE PRÁCTICO DEL EXAMEN DE CARÁCTER COMPLEXIVO

MODALIDAD: “REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA”

**USO DE FABÁCEAS COMO ALTERNATIVA DE
FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS
POR PETRÓLEO EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA**

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Autor/a: Iveth Viviana Neira Guale.

Tutor/a: Blgo. Javier Soto Valenzuela, Ph.D.

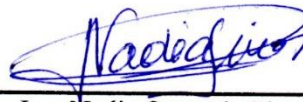
TRIBUNAL DE GRADO

Componente práctico de examen complejo presentado por **IVETH VIVIANA NEIRA GUALE** como requisito parcial para la obtención del grado de Ingeniero/a Agropecuario de la Carrera de Agropecuaria.

Trabajo de Integración Curricular **APROBADO** el: 22/08/2022



Ing. Verónica Andrade Yucailla, Ph.D
DIRECTORA DE CARRERA
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Ing. Nadia Quevedo Pinos, Ph.D
PROFESOR ESPECIALISTA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Blgo. Javier Soto Valenzuela, Ph.D
PROFESOR TUTOR
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Ing. Nadia Quevedo Pinos, Ph.D
PROFESOR GUÍA DE LA UIC
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Liç. Ana Vilfalta Gómez, MSc.
ASISTENTE ADMINISTRATIVO
SECRETARIA

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

El presente Trabajo Práctico de Examen de Grado de carácter complejo Titulado “USO DE FABÁCEAS COMO ALTERNATIVA DE FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR PETRÓLEO EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA” y elaborado por **Iveth Viviana Neira Guale**, declara que la concepción, análisis y resultados son originales y aportan a la actividad científica educativa agropecuaria.

Transferencia de derechos autorales.

"El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena".

Iveth Neira G.

Firma del estudiante

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Rafael Neira y Mercy Guale quienes han sido el motor fundamental para lograr esta meta.

A mi hermana que a pesar de todo nunca dejó que me rindiera y me brindó su apoyo en todo momento para culminar mi carrera profesional.

A mis demás familiares que siempre se preocuparon por mí y me daban ánimos para continuar con mi trayectoria académica.

Y a una persona especial, que, a pesar de ya no estar aquí, sé que estaría orgulloso de mí.

IVETH NEIRA

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por brindarme salud, fortaleza, confianza y sabiduría para lograr mis objetivos en este largo trayecto de mi vida.

A mis padres, quienes se han sacrificado por mí, para brindarme una buena educación, muchas gracias.

A mi tutor el biólogo Javier Soto Valenzuela quien ha sabido guiarme con paciencia en este camino, para culminar con la meta anhelada.

Y a toda mi familia un total y profundo agradecimiento por escucharme siempre y brindarme consejos que me ayudaron en este largo periodo académico.

A mis amigos/as de la universidad que me han brindado su apoyo incondicional en todo mi recorrido académico, muchísimas gracias.

Gracias a todo aquel que de una u otra manera han contribuido para fortalecer mis ideales y poder culminar con éxito mis estudios.

IVETH NEIRA

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue proponer el uso de fabáceas como fitorremediadoras de suelos contaminados por petróleo, con la finalidad de recuperar los suelos afectados por hidrocarburos en la provincia de Santa Elena. Para lograr los objetivos planteados se realizó una revisión bibliográfica a fin de identificar, seleccionar y sugerir las especies vegetales (fabáceas) más empleadas en suelos contaminados por hidrocarburos y/o metales pesados. Por lo tanto, para la elaboración de este estudio se recopilaron veinticuatro documentos científicos de los últimos doce años, obtenidos de bases de datos y gestores bibliográficos como Google académico, Elsevier, Scielo, Redalyc y Repositorios universitarios, de tal forma, como palabra clave de búsqueda se empleó “Fitorremediación con leguminosas en suelos contaminados por hidrocarburos”, a partir de la información encontrada se agruparon los datos obtenidos según las especies vegetales más utilizadas, los tipos de contaminantes y los métodos de fitorremediación más empleados. Por otra parte, en base a la investigación ejecutada se muestra que el método de fitorremediación más eficiente es la fitoextracción y las especies vegetales más concurrentes fueron: *Leucaena leucocephala* y *Medicago sativa*, las cuales tuvieron mejor resultado en la extracción de petróleo crudo e hidrocarburos aromáticos policíclicos como principales contaminantes del ecosistema.

Palabras claves: Fitorremediación, fabáceas, hidrocarburos, metales pesados.

ABSTRACT

The objective of this study was to propose the use of Fabaceae as phytoremediators of soils contaminated by oil, in order to recover soils affected by hydrocarbons in the province of Santa Elena. To achieve the stated objectives, a bibliographic review was carried out in order to identify, select and suggest the most used plant species (fabaceae) in soils contaminated by hydrocarbons and/or heavy metals. Therefore, for the elaboration of this study, twenty-four scientific documents of the last twelve years were collected, obtained from databases and bibliographic managers such as academic Google, Elsevier, Scielo, Redalyc and university repositories, in such a way, as keyword of The search used "Phytoremediation with legumes in soils contaminated by hydrocarbons", based on the information found, the data obtained were grouped according to the most used plant species, the types of contaminants and the most used phytoremediation methods. On the other hand, based on the research carried out, it is shown that the most efficient phytoremediation method is phytoextraction and the most concurrent plant species were: *Leucaena leucocephala* and *Medicago sativa*, which had better results in the extraction of crude oil and aromatic hydrocarbons polycyclic as main contaminants of the ecosystem.

Keywords: Phytoremediation, Fabaceae, hydrocarbons, heavy metals.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
Problema:	3
Objetivos	3
Objetivo general:.....	3
Objetivos Específicos:	3
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1 Origen y formación del petróleo	4
2.2 Propiedades físicas y químicas	4
2.3 Historia del petróleo en la península de Santa Elena.....	5
2.4 Contaminación por petróleo.....	5
2.5 Leguminosas, FBN y su importancia.....	7
2.6 Morfología de las leguminosas	7
2.7 Importancia de la fitorremediación con leguminosas	8
2.8 Fases de fitorremediación	8
2.9 Ventajas y desventajas de la fitorremediación.....	9
2.10 Métodos de fitorremediación	9
2.11 Leguminosas en bosques tropicales	10
2.12 Características físicas de los suelos de la región costa en Ecuador	11
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
3.1 Técnicas y procedimientos de recolección de datos	13
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	14
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	20
5.1 Conclusiones.....	20
5.2 Recomendaciones	20
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Contaminación de compuestos orgánicos.....	6
Tabla 2. Ventajas y desventajas de la fitorremediación	9

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Especies vegetales (fabáceas) utilizadas para la fitorremediación de suelos.....	16
Figura 2. Tipos de contaminantes que mayormente afectan al suelo.	18
Figura 3. Métodos de fitorremediación más empleados en compuestos orgánicos.	19

ÍNDICE DE ANEXOS

Tabla 1A. Nombres de las bases de datos y artículos científicos utilizados para la colecta de información.

Tabla 2A. Tipos de contaminantes y especies vegetales (Fabáceas) utilizadas para la fitorremediación.

1. INTRODUCCIÓN

Martínez y Soto (2017) manifiestan que, el suelo es un recurso imprescindible y no renovable, que a su vez es considerado como una fuente de nutrientes minerales de todo tipo de organismos terrestres. Por otra parte, los hidrocarburos totales de petróleo (HTP) se denominan como una familia conformada por miles de compuestos de hidrocarburos que son originados del petróleo crudo, estos compuestos pueden encontrarse en el suelo durante tiempos prolongados afectando así a la biósfera terrestre.

La contaminación del petróleo a nivel mundial perjudica principalmente los recursos que se encuentran en la superficie y subsuperficie del suelo, cuyo resultado es la alteración del medio donde se desarrolla la vida de plantas, animales y microorganismos. Cabe mencionar que su recuperación es muy costosa y difícil, debido a la cantidad de técnicas y productos a emplear para su reactivación (Hernández *et al.*, 2017).

Yáñez y Bárcenas (2012) mencionan que, el Ecuador es uno de los países que exporta petróleo y es considerado como la principal fuente de ingreso económico dentro del país; sin embargo, esta actividad puede causar derrames en el suelo; es decir, las empresas encargadas de la extracción de este aceite mineral no cumplen con las normativas determinadas por el Ministerio del Ambiente (2010), el cual hace referencia a que “El Estado protegerá el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice un desarrollo sustentable, por lo que declara de interés público y que se regulará conforme a la Ley de preservación del medio ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad e integridad del patrimonio genético del país, así como la prevención de la contaminación ambiental, la explotación sustentable de los recursos naturales y los requisitos que deben cumplir las actividades que puedan afectar al medio ambiente”.

Yagual (2020) manifiesta que, en la provincia de Santa Elena existen sectores que están contaminados por petróleo, encontrados cerca de los yacimientos de pozos petrolíferos. La contaminación de los suelos trae problemas para los agricultores peninsulares, puesto que no todos los cultivos se pueden adaptar a un suelo contaminado por hidrocarburos, de igual forma produce desastres ecológicos que causan un gran impacto ambiental.

Por otro lado, la fitorremediación es considerada una técnica que se emplea para la recuperación de suelos contaminados mediante el uso de plantas que ayudan a retener, volatilizar, acumular y absorber los elementos potencialmente tóxicos que se hallan en el

suelo. Entre los métodos más empleados para la fitorremediación por compuestos orgánicos están la fitoextracción, fitodegradación y rizodegradación.

Cabe mencionar que, una ventaja de la fitorremediación es que los metales pesados absorbidos por las plantas de los suelos contaminados por hidrocarburos pueden ser extraídos y posteriormente reciclados e incinerados. Es así como, ha crecido mucho el interés de las plantas hiperacumuladoras, ya que estas especies son capaces de acumular y tolerar altas cantidades de metales pesados, siendo de gran utilidad para poder limpiar los ecosistemas afectados por contaminantes volátiles (Ramírez *et al.*, 2019).

Esta propuesta recoge información sobre los métodos de fitorremediación, como alternativa para enmendar y restaurar los suelos contaminados por petróleo en la península de Santa Elena, con énfasis en la capacidad fitorremediadora de las leguminosas en respuesta a la contaminación por hidrocarburos.

Problema:

La contaminación del suelo por hidrocarburos de petróleo causa un gran problema mundial; puesto que, en los últimos años, el suelo ha sido el más afectado por las actividades antropogénicas procedentes de explotaciones petroleras, industriales, mineras y agropecuarias. Estos elementos potencialmente tóxicos afectan las características propias del suelo, generando un impacto negativo en el medio donde se desarrolla la actividad agropecuaria.

Objetivos**Objetivo general:**

Proponer el uso de fabáceas como una alternativa de fitorremediación de suelos contaminados por petróleo en la provincia de Santa Elena.

Objetivos Específicos:

1. Identificar las fitotecnologías empleadas para recuperar suelos contaminados.
2. Seleccionar información referente a la fitorremediación en suelos contaminados de petróleo.
3. Sugerir las especies vegetales (fabáceas) que podrían ser adecuadas para la fitorremediación de suelos contaminados de petróleo, acorde a las características de la provincia de Santa Elena.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Origen y formación del petróleo

El vocablo petróleo proviene de voces latinas que significa petro (roca) y óleum (aceite o aceite de roca). El petróleo se originó por medio de la descomposición de la materia orgánica y disgregación de la roca madre durante largos períodos. Por otra parte, cuando la Tierra se encontraba inestable en la era mesozoica, los restos de seres vivos que se alojaban en esa época fueron enterrados y transformados por medio de los procesos geológicos y la acción de las bacterias, dando como resultado la degradación y transformación de los restos orgánicos en petróleo crudo (Poveda *et al.*, 2015).

2.2 Propiedades físicas y químicas

El Servicio Geológico Mexicano (2017) menciona que, las propiedades físicas de hidrocarburos líquidos son las siguientes:

Densidad: Al petróleo se lo considera más liviano que el agua, en donde su peso se lo relaciona con los factores físicos y composición química del crudo.

Olor: Se caracteriza por la naturaleza y composición del aceite crudo, ya que los hidrocarburos no saturados tienen un olor desagradable, a diferencia de los hidrocarburos saturados que poseen olor aromático.

Color: Los colores son variados de los cuales van desde amarillo al rojo pardo y negro, en algunos casos es de color verde debido a la luz reflejada.

Viscosidad: Se da por medio del tiempo en que una cantidad de petróleo fluya en una abertura pequeña.

Volatilidad: Va a depender de la ebullición de los componentes en base al petróleo crudo.

Fluorescencia: Se da por medio de los rayos infrarrojos, presentes en hidrocarburos líquidos o gaseosos.

Composición química

El petróleo se compone de carbono e hidrógeno con un total de 83 o 87% de carbono y un 11 o 14% de hidrógeno. Además, presentan abundantes impurezas que se obtienen de compuestos orgánicos los cuales son el azufre, oxígeno, nitrógeno, SO₂, H₂S, entre otros. Por otro lado, se presentan impurezas de sales minerales como cloruros y sulfatos de Ca, Mg y Fe.

2.3 Historia del petróleo en la península de Santa Elena

Es conocido que, en la provincia de Santa Elena fue donde se desarrollaron las primeras actividades petroleras nacionales, realizadas por compañías extranjeras. En el año 1911, se perforó el primer pozo petrolero llamado Ancón 1, sitio que le confirió su nombre. En 1955 se registró un promedio de 10 mil barriles diarios (Ventura, 2013).

En 1916 se formó en Guayaquil la compañía Mine Williamson y Co., para explotar el petróleo en la península. Mientras que, en 1919 se funda Anglo Ecuatorian en Londres, que luego obtuvo los derechos de la compañía Mine Williamson y para 1940, edificó la primera refinería en La Libertad, constituida por dos plantas de destilación primaria, las cuales podían procesar mil barriles de crudo al día. Consecuentemente, en 1960 la actividad petrolera en la provincia alcanzó 2 mil pozos perforados por Anglo, que solo serían para el consumo interno y en baja cantidad para la exportación.

Para 1967, Anglo manifiesta que los yacimientos de la península de Santa Elena se encontraban casi agotados, por tal motivo la compañía se iba a dedicar solo a la refinación mediante la importación de mezcla de crudos y distribución de gasolina de 64 y 80 octanos.

El Ecuador, hacia 1972 había producido un total de 104 326 000 barriles de petróleo en la provincia de Santa Elena. En el mes de enero de 1976, la Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana (CEPE) tomó a cargo los yacimientos petroleros de la península, debido a que la compañía Anglo había completado su reversión y de esta forma el Gobierno Nacional opta por administrar y controlar los recursos hidrocarburíferos, a beneficio del país.

2.4 Contaminación por petróleo

Bravo (2007) menciona que, la contaminación del suelo por hidrocarburos puede darse por derrames petroleros o los derivados del mismo, como medida para combatir esta contaminación se debe considerar el tipo de derrame, la cantidad y ambiente afectado; en base a estos factores se puede determinar el grado de toxicidad y permanencia en el suelo, para luego recomendar el método de fitorremediación que contribuirá a recuperar el ecosistema afectado.

La contaminación por petróleo causa la impregnación de metales pesados que se derivan de este hidrocarburo en la corteza terrestre, provocando un desequilibrio en el ecosistema debido a las altas concentraciones que se pueden encontrar en el suelo, entre los principales

metales se encuentran: plomo, mercurio, antimonio, níquel, cadmio, selenio y cobalto (Catagña, 2016).

Los cinco metales pesados más comunes son:

Plomo: Se halla en bajas concentraciones en el suelo, inofensivo para los microorganismos de la tierra, pero en altas concentraciones se esparce en el suelo causando alteraciones en el medio terrestre como en la síntesis clorofílica de la planta, perjudicando su crecimiento.

Cadmio: Este elemento puede permanecer en altas concentraciones en el suelo por varios años, de tal forma que, si no se toman medidas adecuadas para la recuperación del suelo, las especies vegetales del lugar tienden a morir. También causan daño a los microorganismos del suelo.

Cobalto: Es un micronutriente indispensable para las plantas, sin embargo, si aumenta su concentración en el suelo, puede afectar más a la capa terrestre que a la propia planta y esto dará como resultado un severo daño en el ecosistema.

Mercurio: La contaminación por mercurio en el suelo causa severas afectaciones en los microorganismos del suelo, lo cual provocará un gran desequilibrio en el medio ambiente, afectando a la microfauna terrestre responsables de descomponer la materia orgánica y determinados tipos de materia inorgánica.

Cromo: Es un metal que se lo puede encontrar en suelos arcillosos y rocas ígneas de forma natural, pero en altas concentraciones en el suelo perjudica la flora y fauna terrestre.

Las principales prácticas realizadas por la industria petrolera se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Contaminación de compuestos orgánicos

Contaminación por hidrocarburos
Emanaciones de compuesto volátiles.
Petróleo crudo por derrames o goteo.
Contaminación de agua por oleoductos, sumideros y drenaje.
Fluidos provenientes de pozos.
Fluidos de perforaciones.
Fluidos por producción de gas natural, combustible.
Contaminación por aditivos de químicos y biocidas.
Contaminación por agua de escorrentías como aceites y grasas.

Fuente: Bravo (2007).

2.5 Leguminosas, FBN y su importancia

La FAO (2016) indica que, las leguminosas existen desde hace millones de años, son más antiguas que el maíz; esta familia se encuentra distribuida por todo el mundo, con excepción de los polos y desiertos estériles. No obstante, se considera a las leguminosas como la tercera familia más grande de especies vegetales, cuya característica única se basa en establecer una asociación simbiótica con las bacterias que se encuentran en el suelo, dando como resultado la fijación biológica de nitrógeno (FBN) que es el principal elemento que requiere una planta para su crecimiento y desarrollo (Landeró, 2010).

La FBN comprende entre un 60% de nitrógeno fijado en la biósfera terrestre, por lo cual se lo considera como el más importante para que se desarrolle la vida en el ecosistema. También se conoce que, en tiempos antiguos los romanos aprovechaban las leguminosas, para realizar rotación de cultivos (Barrios, 2014).

2.6 Morfología de las leguminosas

Las leguminosas al tener una diversidad de familias y de ser también cosmopolita han llegado a tener mucha variabilidad, conformándolos así por tres grandes grupos morfológicos, que a su vez se subdividen en tres subfamilias.

La primera subfamilia es Mimosoideae, que la conforman árboles y arbustos con las hojas alternadas, compuestas y bipinnadas, aunque existen algunas que solo son pinnadas y compuestas; por otro lado sus flores se pueden encontrar en forma de racimos o espigas, siendo más llamativa a las flores simples, además poseen un solo gineceo que está formado por un carpelo. Esta subfamilia la representan géneros como las acacias con más de 1 200 especies (Llamas y Acedo, 2018).

La segunda subfamilia es Caesalpinoideae, también se conforma por árboles y arbustos cuya diferencia radica en las hojas pinnadas compuestas y simples, sus flores en racimos o espigas son medias irregulares y bisexuales, presenta un gineceo conformado por un solo carpelo.

La tercera subfamilia es Faboideae, este grupo se conforma por plantas trepadoras o arbustivas, sus hojas son alternadas en su mayoría, incluso se encuentran más de forma compuestas que simples, sus flores son bisexuales en forma de racimos o espiga, por otro lado su corola se presenta con cinco pétalos y su gineceo lo conforma un solo carpelo formado por varios óvulos campilótropos.

2.7 Importancia de la fitorremediación con leguminosas

La fitorremediación es considerada un mecanismo de bajo costo, encargada de mejorar las condiciones del suelo; mediante el uso de plantas. Las leguminosas con su microbiota pueden retener, remover o reducir los contaminantes del suelo. Además, su importancia radica en aportar materia orgánica, incluso su sistema radical es poco ramificado pero profundo, lo cual permite absorber por diversos mecanismos fisiológicos los contaminantes localizados en las capas más profundas del suelo. Por tal motivo, se destaca la importancia de las leguminosas a diferencia de otras especies vegetales, ya que pueden fijar nitrógeno al suelo, dependen de menos fertilizantes para su requerimiento nutricional, realizan simbiosis con bacterias/hongos y son capaces de tolerar suelos contaminados por metales pesados (Noguez *et al.*, 2017).

2.8 Fases de fitorremediación

Para que las plantas acumulen los contaminantes del suelo mediante la fitorremediación deben cumplir tres fases que son:

La absorción, realizada por parte de las raíces jóvenes de la planta, aunque su función también va a depender de los factores externos como la temperatura y el pH; sin embargo, existen otros factores que se deben tomar en cuenta como el peso molecular e hidrofobicidad, de modo que los contaminantes al cruzar la membrana sean distribuidos por toda la planta (Bonilla, 2013).

La excreción, se da cuando las plantas absorben los contaminantes por las raíces y son excretadas mediante las hojas, pero se debe verificar que cuando se presentan pequeñas fracciones de estos contaminantes en la planta, se excretan sin ningún cambio en su estructura, esto se da cuando tienen un porcentaje del 5% o menos.

La desintoxicación de los compuestos orgánicos se da cuando las plantas tienen altas concentraciones de moléculas orgánicas en sus tejidos, para posteriormente realizar la incineración controlada y eliminar estos contaminantes, pero tomando en cuenta que se deben depositar las cenizas en un lugar adecuado. La ventaja de la fitorremediación consiste en el mejoramiento del suelo contaminado, aunque su remediación puede ser muy lenta (Barrios, 2014).

2.9 Ventajas y desventajas de la fitorremediación

Por otro lado, se debe tomar en cuenta que al aplicar la fitorremediación puede haber ventajas y desventajas en su ejecución, ya que pueden existir cuatro factores relevantes al momento de seleccionar la especie vegetal para la recuperación del suelo, los cuales son:

1. Elegir la profundidad de la raíz de la especie vegetal.
2. Conocer el tipo de contaminante que se desea extraer.
3. Verificar de donde se está produciendo la contaminación (suelo o agua).
4. El tiempo juega un papel importante para determinar el estado contaminado del suelo y el que tardará la fitorremediación.

Las ventajas y desventajas de la fitorremediación están detalladas en la Tabla 2.

Ventajas	Desventajas
Las plantas son empleadas como bombas extractoras de contaminantes del suelo y agua.	Se limita la profundidad de penetración de las raíces de las plantas.
La fitorremediación es un método que se ejecuta para recuperar áreas pequeñas, medianas y grandes.	La fitotoxicidad es un limitante, debido a que las especies vegetales elegidas no serán utilizadas como fuente de alimento.
Es una metodología amigable con el ambiente.	La recuperación de las áreas afectadas puede ser un proceso muy largo.
La fitorremediación genera menos residuos secundarios en el suelo.	No todas las especies vegetales son resistentes a los contaminantes que se hallan en el suelo.

Fuente: Arias (2017).

2.10 Métodos de fitorremediación

Un método que se emplea como fitorremediación por hidrocarburos es la fitoextracción, cuyo propósito es la absorción de los metales pesados que se encuentran en el suelo contaminado, en donde la planta extrae estos elementos tóxicos para acumularlos en sus raíces, hojas o tallos. Para poder determinar la especie vegetal que se debe emplear en fitorremediación del suelo, primero se deben conocer los metales que se quieren extraer del lugar (Canales, 2021).

Bonilla (2013) menciona que, otro método que se usa para combatir suelos contaminados por compuestos orgánicos es la fitodegradación, el cual se basa en la ruptura de los

contaminantes a través de la absorción, ya que se emplean los procesos metabólicos por parte de la planta.

Otro método es la rizodegradación, la cual se basa en el uso de las plantas y microorganismos asociados para degradar los contaminantes, en algunos casos se dice que la degradación de estos elementos ayuda al crecimiento vegetal, pero es considerado también como un método más lento que la fitodegradación (Figuroa, 2014).

Cabe señalar que, la inoculación de los suelos se realiza para restaurar los suelos perturbados por contaminantes, mediante la aplicación de hongos micorrízicos que ayudan a trasladar elementos trazas a la parte aérea o raíz de la planta y/o bacterias que ayudan a tomar y fijar nitrógeno atmosférico en simbiosis con la planta, este método ayuda a desarrollar una vegetación diversa y aumenta el rendimiento de plantas con algún proceso tardío. Además, este mecanismo se puede emplear en diversos tipos de suelos que presenten las características para aceptar este método de fitorremediación (Sarango y Villacís, 2021).

La fitoestabilización es el empleo de las plantas biorremediadoras del suelo para evitar que los contaminantes se esparzan hacia las aguas subterráneas, cuyo mecanismo es la retención o reducción de los metales pesados. Esta técnica no se la considera permanente, de modo que solo evita que dichos contaminantes se dispersen aún más en el suelo, por tal motivo se emplea mayormente para estabilizar a los contaminantes altamente tóxicos (Sanz, 2015).

El método de rizofiltración se basa en la utilización de ciertas plantas acuáticas además de algas, bacterias y hongos que suelen ser buenos absorbentes de metales pesados en el agua, pero esta técnica a gran escala no es tan prometedora.

La fitovolatilización hace referencia a que las plantas absorben de forma volátil los contaminantes del suelo, para luego ser liberado en la atmósfera, esto absorbe compuestos orgánicos o ciertos metales pesados como el mercurio (Hg) y selenio (Se), disminuyendo así su toxicidad y haciéndolos menos peligrosos para el ambiente (Suárez, 2021).

El método de fitodesalinación se realiza mediante el uso de plantas halófitas para poder eliminar el cloruro de sodio que se encuentra en los suelos salinos, esta técnica se emplea para permitir un crecimiento normal de las plantas.

2.11 Leguminosas en bosques tropicales

Gei (2018) menciona que, en los bosques secos tropicales los árboles de la familia de las leguminosas son muy adaptables a estas zonas, debido a que, aparte de fijar nitrógeno en el

suelo, ciertas leguminosas conservan agua para así poder soportar las sequías y las altas temperaturas, por tal motivo se cree que las leguminosas en Latinoamérica podrían ser el futuro de la regeneración de los bosques secos tropicales (BST).

Por otro lado, se conoce que no todas las leguminosas se pueden adaptar en los BST, debido a las condiciones que la planta requiere; por esta razón, las leguminosas que se consideran adaptables a este clima son caupí, alfalfa tropical, siratro, soya perenne, guaje, entre otras (Agreda, 1986).

2.12 Características físicas de los suelos de la región costa en Ecuador

Rivera (2019) menciona que las características físicas de los suelos de la región costa en Ecuador son de gran importancia, debido a que permiten conocer sobre los tipos de cultivos que pueden ser establecidos por su estructura. Los tipos de suelos que se encuentran en la región costa son vertisoles, aridisoles, alfisoles, entisoles, molidisoles, andisoles e inceptisoles, se detallan las características de cada uno de estos suelos:

Los vertisoles son suelos que presentan como característica un color negro, con agregados en forma de cuña y arcilla expandible, además es un suelo no apto para todos los cultivos, puesto que, es difícil de tratar en el momento de cultivar. Los cultivos que se pueden establecer en este suelo es el arroz, ya que el suelo almacena una gran cantidad de agua y en la época lluviosa se tiende a inundar por su permeabilidad e hinchamiento.

Los suelos alfisoles contienen arcilla y son ricos en minerales, estos se encuentran ubicados en relieves montañosos, praderas, bosques y pastizales. Se dice también que, se caracterizan por su dureza, por tal motivo se establecen plantas con raíces cortas, las cuales aprovechan la presencia de los nutrientes que se encuentran en el lugar, este suelo es ideal para el establecimiento de cultivos de ciclo corto y forrajes.

Los entisoles son suelos que presentan problemas de erosión, pedregosidad excesiva e inundaciones; causando menos aprovechamiento de su suelo para la actividad agrícola, pero en algunos sectores donde existe la presencia de aluviones hace posible que se puedan establecer cultivos como cacao y banano. Estos suelos son considerados de baja evolución debido a que no presentan casi la formación de horizontes en su estructura.

Los aridisoles son suelos sódicos y petrocálcicos, presentan una humedad árida, ya que se encuentran en zonas áridas o semiáridas con una baja cantidad de vegetación, es desértica y

con suelos poco fértiles. Además, presentan un epipedón ócrico que, con un adecuado tratamiento de abonado se podrían establecer cultivos como mango, cítricos u otros frutales.

Los suelos molisoles se caracterizan por tener un régimen climático que va desde secos a húmedos, en este lugar se pueden encontrar vegetación forestal o cubiertas de pastizales. Como cultivos se emplean el maíz, cacao, papa, caña de azúcar, entre otros. Son considerados como suelos que se pueden manipular fácilmente, además de que se logran establecer variedades de cultivos por su alto contenido de nutrientes.

Los andisoles tienen un buen drenaje, retención de humedad, alto contenido de nutrientes, pero esto va a depender del lugar en que se encuentren, ya que si están en la costa su textura es fina como limosa o franca, en estos suelos se pueden realizar actividades agrícolas de ciclo corto.

Por último, se encuentran los suelos inceptisoles que están ubicados en todo el Ecuador, se caracterizan por almacenar agua, diversidad de cultivos de ciclo corto y largo, debido a que son más desarrollados que los entisoles.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Técnicas y procedimientos de recolección de datos

Para la ejecución de esta revisión bibliográfica se rescataron veinticuatro documentos científicos de estudios realizados en diferentes partes del mundo, sobre la fitorremediación con fabáceas en suelos contaminados por hidrocarburos y/o metales pesados, durante los últimos doce años. Esta información se la obtuvo mediante bases de datos y gestores bibliográficos como Google académico, Scielo, Elsevier, Redalyc y Repositorios universitarios. Por otro lado, como palabras claves se empleó “Fitorremediación con leguminosas en suelos contaminados por hidrocarburos” en inglés y español, a partir de la información encontrada se agruparon en Microsoft Excel los datos obtenidos según las especies vegetales (fabáceas) más utilizadas, los tipos de contaminantes de petróleo crudo o derivados del mismo y los métodos de fitorremediación más empleados en compuestos orgánicos como fitoextracción, fitodegradación y rizodegradación.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se detalla la información recolectada sobre los métodos de fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos (Tabla 2A), en base al uso de leguminosas que pueden ser adaptables en la provincia de Santa Elena.

Método de Fitoextracción

Según Landero (2010), evaluando la aplicación del método de fitoextracción en un invernadero, con suelos contaminados de petróleo, menciona que la leguminosa *Leucaena leucocephala*, presentó resultados favorables en cuanto a la extracción de contaminantes procedentes de petróleo como Ni, V, Pb, Zn, Cd y Cr. Además, de ser la más apta para implementar en climas tropicales; mientras que la leguminosa que presentó mejores resultados en clima templado fue *Lupinus leptophyllus*; en la extracción de metales pesados que rodean los pozos petroleros.

Sanderson *et al.* (2018), estudiaron los severos daños en el suelo de los fluidos dieléctricos, empleando aceite vegetal (FR3) y mineral (Lubrax) para la simulación de suelos contaminados. Emplearon como fitotecnología a la especie *Glycine max* L., la cual presentó resultados favorables en los suelos contaminados por aceite vegetal, con eliminación del 35, 60 y 90%, mientras que en los suelos contaminados de aceite mineral con eliminación del 25, 40 y 70% de los contaminantes. Por lo que se considera a *G. max*, como una de la especies vegetales con gran potencial de fitorremediación efectiva.

Los herbicidas son subproductos derivados del petróleo, los cuales causan severas contaminaciones ambientales, debido a su uso en la agricultura. Por otro lado, los herbicidas como el diurón, hexazinona y sulfometurón-metil son productos que mayormente se utilizan en los cultivos, como ejemplo de aquello es la caña de azúcar. Por lo que, en un estudio realizado con *Canavalia ensiforme*, *Stilizobium aterrimum* L., *Raphanus sativus* L., *Crotalaria spectabilis* Röth, *Lupinus albus* L. y *Pennisetum glaucum* empleadas como especies fitorremediadoras tolerantes a estos herbicidas, resultó que *C. ensiforme* mostró una alta fitoextracción, con una remoción del 11,2 % del contaminante en el suelo afectado (Teófilo *et al.*, 2020).

Método de Fitodegradación

La leguminosa empleada por Arreola *et al.* (2015), en proceso de fitodegradación fue *Mimosa púdica*, la cual absorbió los contaminantes del suelo para producir metabolitos que van a ser utilizados por la planta para su crecimiento, esta planta presentó buenos resultados referente a los suelos contaminados por hidrocarburos, removiendo un total de 150 mg/kg.

Según Marques *et al.* (2020) manifiestan que, la utilización de frejol (*Phaseolus vulgaris*) para la fitorremediación de suelo contaminado de aceite residual automotriz mediante el método de fitodegradación, dió un buen resultado en cuanto a la reducción del acetileno (ARA) en un valor de 1 152 ppm como mecanismo para combatir suelos contaminados por subproductos derivados de petróleo.

Pérez *et al.* (2020) evaluaron a *Mimosa pigra*, para combatir suelo contaminado por antraceno y fenantreno, presentando los mejores resultados de remoción del 92% de fenantreno y 80% de antraceno, por lo cual es recomendada como la mejor fitodegradadora de suelos contaminados por hidrocarburos.

Método de Rizodegradación

En cuanto al método de rizodegradación, se utilizó a la leguminosa guaje en consorcio con bacterias (*Pseudomonas* sp. y *Serratia marcescens*) y los hongos (*Aspergillus* sp. y *Trichoderma* sp.), que mediante simbiosis ayudaron a recuperar suelos contaminados por petróleo, en concentraciones de 50 000 mg Kg⁻¹ de petróleo crudo tuvieron resultados favorables en cuanto a la fitorremediación con un porcentaje de 81% y 75% de degradación, cabe mencionar que los mejores resultados fueron con la inoculación de *Leucaena leucocephala* en consorcio con las bacterias *Pseudomonas* sp. y *Serratia marcescens* (Maldonado *et al.*, 2010).

Ramos (2019) menciona que, estudió el uso de dos leguminosas *Phaseolus vulgaris* y *Arachis hypogaea* inoculado con el hongo micorrízico *Rhizophagus intraradices* en suelo contaminado por petróleo crudo, el que obtuvo mejores resultados en base a la fitorremediación del suelo contaminado por hidrocarburos fue el tratamiento de *A. hypogaea* en simbiosis con *R. intraradices*, con un promedio del 86 % de reducción de petróleo a los 90 días evaluados.

Walakulu *et al.* (2021) hacen referencia al suelo contaminado por aceites lubricantes usados, el cual trae severas afectaciones ambientales, por tal motivo, evaluaron la fitorremediación con *Crotalaria retusa* L. e *Impatiens balsamina*, cuyo resultado mostró que *C. retusa* L. presentó mejores resultados en cuanto a la eliminación de contaminante en el suelo con ayuda de bacterias que degradan a los hidrocarburos como *Pseudomonas aeruginosa*, *Serratia* y *Rubidae*.

Especies de fabáceas más utilizadas para la fitorremediación

En la Figura 1, se presentan las especies de fabáceas utilizadas como fitotecnologías para combatir suelos contaminados por hidrocarburos de los cuales, la leguminosa con mayor utilización es el Guaje (*Leucaena leucocephala*) con un 17%, seguido de dos especies que tienen un porcentaje de 13% como son la alfalfa (*Medicago sativa*) y campanita (*Clitoria ternatea* L.), posteriormente con 9% el frejol (*Phaseolus vulgaris*), después le sigue con el 8% el frejol machete (*Canavalia ensiformis*) y con 4% las fabáceas menos empleadas.

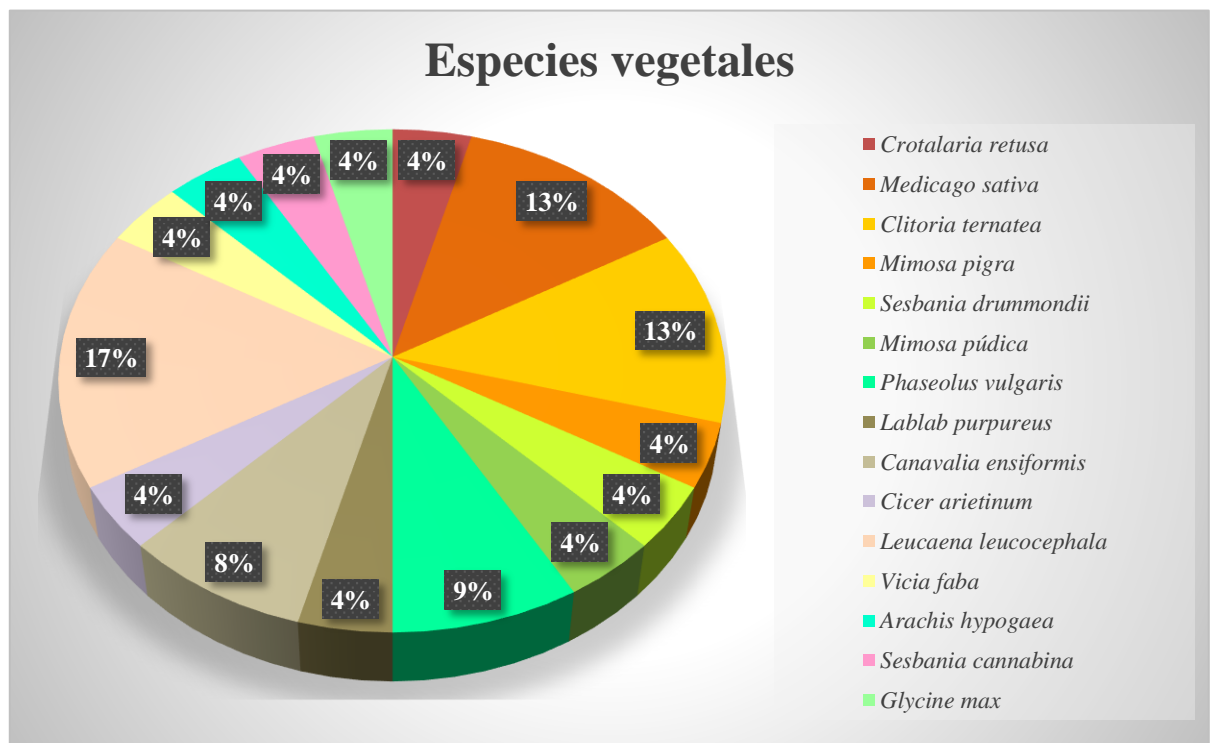


Figura 1. Especies vegetales (fabáceas) utilizadas para la fitorremediación de suelos.

Según Vázquez (2015) menciona que, en un estudio realizado en hidrocarburos totales de petróleo (HTP) con leguminosas *Crotalaria incana* L. y *Leucaena leucocephala*, la que presentó mejores resultados en la disminución del contaminante en el suelo, con la influencia

de los microorganismos fijadores de nitrógeno fue *L. leucocephala*, como una de las mejores plantas arbóreas empleadas para la fitorremediación de hidrocarburos.

Pradhan *et al.* (2010) realizaron estudios con leguminosa (*Clitoria ternatea*, *Medicago sativa*, *Phaseolus coccineus* y *Cicer arietinum*) y gramíneas (*Schizachyrium scoparium* y *Panicum virgatum*), en un suelo contaminado por hidrocarburos aromáticos policíclicos, dando como resultado que *M. sativa* tuvo una reducción del 50% a diferencia de las otras especies vegetales empleadas.

Santoyo *et al.* (2019) manifiestan que, *Phaseolus vulgaris* en conjunto con *Micromonospora echinospora* y *Streptomyces griseus*, obtuvieron un mejor resultado en la disminución de 1 492 ppm de aceite residual automotriz, que afectaba al suelo contaminado por un subproducto derivado del petróleo.

Acuña y Céspedes (2021) mencionan que, en los estudios realizados con diferentes plantas como *Helianthus annuus* L., *Cucurbita pepo* sp. y *Canavalia ensiformes* en suelos contaminados por pesticidas, la leguminosa *C. ensiformes* dió mejores resultados con una removición del 65% del herbicida sulfentrazona.

Con los resultados obtenidos, en base al uso de las leguminosas *L. leucocephala*, *Medicago sativa*, *Phaseolus vulgaris* y *Canavalia ensiformes* como especies vegetales más empleadas como fitorremediadoras para recuperar los suelos contaminados por compuestos orgánicos.

Tipos de contaminantes de hidrocarburos que afectan al suelo

En la Figura 2, se muestran los contaminantes que mayoritariamente afectan al suelo, donde el 13% se encuentran los hidrocarburos aromáticos policíclicos y el petróleo crudo; seguido del aceite residual automotriz, Cd y Pb con el 8% y los demás contaminantes se presentan en el menor porcentaje (4%).

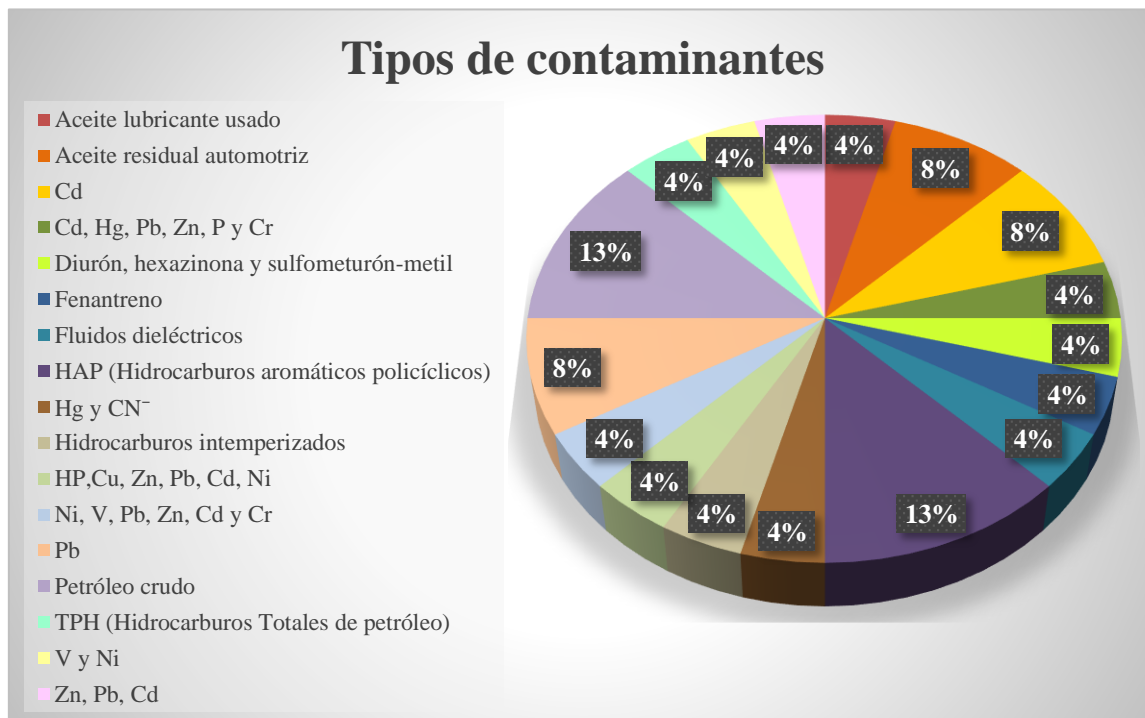


Figura 2. Tipos de contaminantes que mayormente afectan al suelo.

Hidronor (2017) manifiesta que, la contaminación del suelo se da principalmente por hidrocarburos, plaguicidas y la minería. Por tal motivo, en la contaminación por compuestos orgánicos se destacan al petróleo crudo, hidrocarburos aromáticos policíclicos y derivados como aceite residuales o pesticidas, que son los principales elementos que causan la disminución del pH en el suelo, provocando así la obtención de un suelo no apto para el crecimiento y desarrollo de cultivos.

El mismo autor menciona que, los plaguicidas y herbicidas son los principales contaminantes del suelo, agua y aire, con un impacto entre el 95 y 98%. Por último, se nombra a la minería que es la responsable de la contaminación de plomo, cadmio, mercurio, arsénico, cobre, entre otros elementos; que provocan alteraciones de los recursos naturales y con el tiempo degradan los ecosistemas del planeta. Por lo cual, se corroboran los resultados obtenidos en la Figura 2, sobre los principales tipos de contaminantes que afectan al suelo por derrames de hidrocarburos.

Métodos de fitorremediación mas empleados para combatir contaminantes orgánicos

En la Figura 3, se presentan los porcentajes de los métodos de fitorremediación más empleados para controlar los derrames de compuestos orgánicos, donde el mayor porcentaje fue el 46% con fitoextracción, seguido del 37% con el método de rizodegradación y el menor porcentaje, de 17% con el método de fitodegradación.

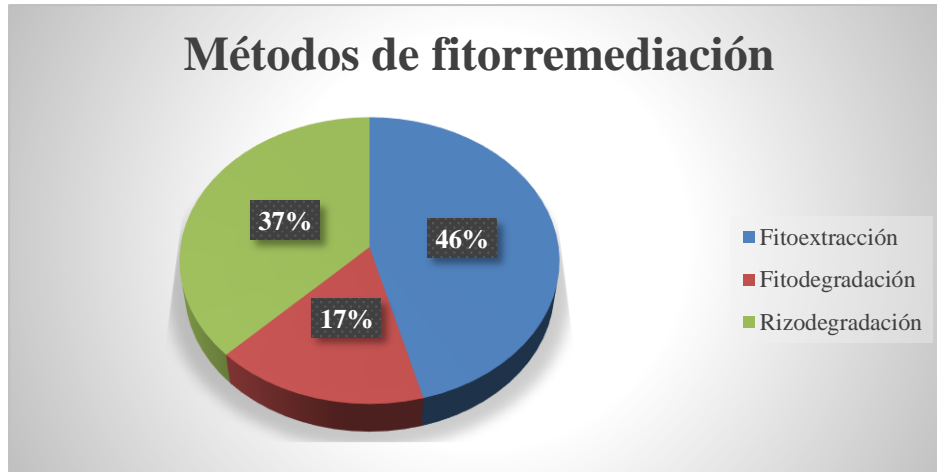


Figura 3. Métodos de fitorremediación más empleados en compuestos orgánicos.

Pérez y Sulca (2021) manifiestan que, el método más empleado para la fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos o metales pesados es la fitoextracción, debido a que las diferentes especies empleadas, tienen la capacidad de poder acumular los contaminantes presentes en el suelo en sus diferentes tejidos, sean raíces, tallos y hojas.

Por lo tanto se confirma que, acorde a los resultados obtenidos en base a la contaminación de suelos por hidrocarburos, con énfasis en la fitorremediación, el método de la fitoextracción fue el más empleado.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se pudo obtener información en el uso de fitotecnologías, la cual aplica ciencia e ingeniería como alternativas para combatir algún derrame y contaminación mediante el uso de plantas. Cabe mencionar que la finalidad de este trabajo, consiste en dar soluciones a daños que puedan existir en el ecosistema y su restauración por la fitorremediación.
- Con la ayuda de las bases de datos se recogió información científica sobre el uso de la fitorremediación en suelos contaminados por los hidrocarburos, el método de fitorremediación es considerado como el más factible y amigable con el medio ambiente, además de ser un mecanismo de bajo costo una vez implementado.
- Se puntualiza que, los tipos de contaminantes y las leguminosas empleados para eliminar los hidrocarburos presentes en el suelo por derrames son subproductos del petróleo crudo y de hidrocarburos aromáticos policíclicos, señalados como principales contaminantes en el ecosistema.
- Finalmente se concluye que, en base a los resultados obtenidos las leguminosas *Leucaena leucocephala* y *Medicago sativa* son las mejores plantas fitorremediadoras que se pueden emplear en suelos contaminados por petróleo o derivados del mismo; lográndose establecer dentro de la península de Santa Elena, ya que existen estudios de lugares similares en donde se han utilizado géneros de leguminosas localizadas en la península; además de tomar en cuenta la adaptación de las condiciones climáticas de la zona, con grandes posibilidades de obtener resultados favorables para combatir derrames de hidrocarburos.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar investigaciones a gran escala para la recuperación de los suelos y aguas contaminadas por hidrocarburos en la zona.
- Probar y experimentar métodos de fitoextracción, fitodegradación y rizodegradación que contribuyan y/o permitan recuperar los suelos contaminados por petróleo.
- Se debe determinar el origen de la contaminación para así elegir entre los métodos que ayuden a la recuperación del suelo y también sean adaptables a las condiciones climáticas del lugar.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acuña, Y. y Céspedes, J., 2021. *Evaluación de las especies fitorremediadoras aplicadas en suelos agrícolas contaminados con pesticidas*. Tesis Ingeniería en Medio Ambiente. Universidad César Vallejo.

Agreda, O., 1986. *Posibilidades de la utilización de leguminosas forrajeras en la selva peruana*. Lima: IICA.

Arias, J., 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), pp. 151-167.

Arreola, Y., Rojas, A. y Valdez, R., 2015. *Contaminación de suelos por hidrocarburos*. Tesis inédita. Universidad Tecnológica del Valle de Toluca.

Barrios, M., 2014. *La simbiosis rizobio-leguminosa. Árboles fijadores de nitrógeno y su importancia en los ecosistemas..* Maestría en Microbiología. Universidad de la Laguna.

Bonilla, S., 2013. *Estudio para tratamientos de biorremediación de suelos contaminados con plomo, utilizando el método de fitorremediación*. Tesis Ingeniería en Medio Ambiente. Universidad Politécnica Salesiana.

Bravo, E., 2007. Los impactos de la explotación petrolera en ecosistemas tropicales y la biodiversidad. *Acción ecológica*, 24(1), pp. 35-42.

Canales, J., 2021. *Revisión sistemática de diferentes métodos de fitorremediación en suelos contaminados con metales pesados*. Tesis Ingeniería en Medio Ambiente. Universidad César Vallejo.

Catagña, J., 2016. *Evaluación de especies gramíneas locales para la remediación de suelos contaminados por metales pesados en la empresa Triboilgas*. Tesis Ingeniería en Medio Ambiente. Universidad técnica de Cotopaxi.

Chan, J., Cach, M. y López, M., 2021. Especies vegetales con uso potencial en la remediación de zonas contaminadas en México. *Revista Forestal del Perú*, 36(1), pp. 22-46.

FAO, 2016. *Legumbres semillas nutritivas para un futuro sostenible*. Canadá: AU Press.

Figueroa, A., 2014. Fitorremediación en la recuperación de suelos: una visión general. *RIAA*, 5(2), pp. 245-258.

Gei, M., 2018. *Porqué las leguminosas son tan abundantes en los bosques Neotropicales en regeneración*. Disponible en: <https://www.acguanacaste.ac.cr/38-espanol/noticias/noticias-programa-de-investigacion/4200-porque-las-leguminosas-son-tan-abundantes-los-bosques-neotropicales-en-regeneracion>

[Consultado: 09/01/2022].

Hariyo, D., 2020. *Comunidades microbianas asociadas a la remoción de fenantreno en suelo: efecto de la aplicación de Medicago sativa L. en el proceso de biorremediación*. Tesis de doctorado en Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de la Plata.

Hernández, I., Navas, G. e Infante, C., 2017. Fitorremediación de un suelo contaminado con petróleo extra pesado con *Megathyrus maximus*. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 33(2), pp. 495-503.

Hidronor, 2017. *Los Principales Contaminantes del Suelo*. Disponible en: <https://www.hidronor.cl/los-principales-contaminantes-del-suelo/>

[Consultado: 22/07/2022].

Ibrahim, B., Teyab, M., Hasan, N., Samarraie, M., Hashim, S. y Ahdullah, H., 2021. Petróleo crudo que afecta el crecimiento de las plantas (ricino: *Ricinus communis* y frijol: *Vicia faba*) y algunas propiedades del suelo. *Materiales y Actas*, 42(5), pp. 3068-3071.

Juárez, G., Hernández, J., Nevárez, G. y Sánchez, J., 2016. Bioestimulación de suelo contaminado con 10000 ppm de aceite residual automotriz y fitorremediación con *Cicer arietinum* potenciado con *Bacillus cereus* y *Rhizobium etli*. *Revista de la Sociedad de Investigación Selva Andina*, 7(2), pp. 66-74.

Kafle, A., Timilsina, A., Gautam, A., Adhikari, K., Bhattarai, A. y Aryal, N., 2022. Fitorremediación: Mecanismos, selección de plantas y mejora por agentes naturales y sintéticos. *Avances Ambientales*, 8(1), p. 100203.

Kang, Z., Gong, M., Li, Y., Chen, W., Yang, Y., Qin, J. y Li, H., 2021. El cultivo intercalado de arroz con baja acumulación de Cd con *Sesbania cannabina* L. reduce el Cd del grano al

mismo tiempo que promueve la fitorremediación del suelo contaminado con Cd. *Ciencia del Medio Ambiente*, 800(2), p. 149600.

Landero, N., 2010. *Especies de leguminosas como fitorremediadoras en suelos contaminados*. Tesis de doctorado en Ciencias. Institución de enseñanzas e investigación en Ciencias Agrícolas.

Li, Y., Ma, J., Xiao, C., Shen, X., Chen, J. y Xia, X., 2022. La adición de nitrógeno facilita la fitorremediación del suelo del vertedero contaminado con PAH-Cd al alterar el crecimiento de la alfalfa y las comunidades de la rizosfera. *Ciencia del Medio Ambiente Total*, 806(2), p. 150610.

Llamas, F. y Acedo, C., 2018. Las leguminosas (Leguminosae o Fabaceae): una síntesis de las clasificaciones, taxonomía y filogenia de la familia a lo largo del tiempo. *Ambiociencias*, 14(1), pp. 5-18.

Maldonado, E., Rivera, M., Izquierdo, F. y Palma, D., 2010. Efectos de rizosfera, microorganismos y fertilización en la biorremediación y fitorremediación de suelos con petróleos crudo nuevo e intemperizado. *Universidad y ciencia*, 26(2), pp. 121-136.

Marques, L., Modesto, D., Sucedo, B., Rico, J., Bribiesca, L. y Sánchez, J., 2020. Phaseolus vulgaris en el tratamiento de suelo un agrícola contaminado por hidrocarburos. *Revista de la sociedad de investigación Selva Andina*, 11(2), pp. 94-102.

Martínez, M. y Soto, C., 2017. Remoción de hidrocarburos de petróleo de un suelo de baja permeabilidad: biorremediación y Electrorremediación. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 16(3), pp. 955-970.

Ministerio del Ambiente, 2010. Reglamento ambiental de actividades hidrocarburíferas. *Lexis*, 1(3), pp. 1-54.

Morales, G., 2017. *Biorremediación de suelo contaminado con petróleo intemperizado mediante bioestimulación y bioaumentación en presencia de Clitoria ternatea L*. Tesis de doctorado en Ciencias. Institución de enseñanzas e investigación en ciencias agrícolas.

Morales, G., Alarcón, A., Ferrera, R., Rivera, M., Torres, L. y Mendoza, M., 2020. Efecto de bacterias emulsificantes en la atenuación de la fitotoxicidad de suelos contaminados con petróleo intemperizado. *Revista de Biología Tropical*, 68(2), pp. 692-703.

Noguez, A., López, A., Carrillo, R. y González, M., 2017. Uso de leguminosas (Fabaceae) en fitorremediación. *Agroproductividad*, 10(4).

Pérez, R. y Sulca, I., 2021. *Revisión Sistemática de la Identificación de Especies Vegetales con Potencial de Remediación (Fitorremediación) de Suelos Contaminados por Metales Pesados*. Tesis Ingeniería en Medio Ambiente. Universidad César Vallejo.

Pérez, V., Ventura, L., Gutiérrez, F., Pérez, I., Hernández, M. y Enciso, M., 2020. El potencial de *Mimosa pigra* para restaurar suelos contaminados con antraceno y fenantreno. *Terra Latinoamericana*, 38(4), pp. 755-769.

Poveda, R., Merizalde, P., Calvopiña, M. y Pareja, C., 2015. *El petróleo ecuator en el Ecuador la nueva era petrolera*. Primera ed. Quito : EP PETROECUADOR.

Pradhan, S., Conrad, J., Paterek, R. y Srivastava, V., 2010. Potencial de la fitorremediación para el tratamiento de PAHs en suelo en sitios de MGP. *Revista de contaminación del suelo*, 7(4), pp. 467-480.

Rai, K., Pandey, N., Meena, R. y Rai, S., 2021. Estrategias biotecnológicas para mejorar la tolerancia a los metales pesados en cultivos de leguminosas desatendidos e infrautilizados: una revisión exhaustiva. *Ecotoxicología y Seguridad Ambiental*, 208(1), p. 111750.

Ramírez, R., García, M., Álvarez, V., González, G. y Hernández, V., 2019. Potencial fitorremediador de la chicura (*Ambrosia ambrosioides*) en suelos contaminados por metales pesados. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(7), pp. 1529-1540.

Ramos, A., 2019. *Efectos de la asociación simbiótica entre *Rhizophagus intraradices* (NC Schenck & GS SM.) C. Walker & A. Schübler y fabáceas nativas en el tratamiento de suelos contaminados con petróleo*. Tesis en ingeniería Ambiental. Universidad Católica Sedes Sapientae.

Rivera, R., 2019. *Características físicas, ubicación geográfica y calidad del suelo agrícola en la provincia de la Costa Ecuatoriana*. Tesis de Licenciado en Ciencias. Universidad Técnica de Machala.

Sanderson, K., Nivaldo, A., Espinoza, F., Goes, D., Zañao, L., Schuelter, A. y Dimitrov, A., 2018. Evaluación de la toxicidad a base de plantas de soja y fitorremediación de suelos

contaminados por aceites vegetales y minerales utilizados en transformadores eléctricos de potencia. *Quimiosfera*, 197(1), pp. 228-240.

Santoyo, G., Higareda, A., Marquez, J., De la Cruz, J. y Sánchez, J., 2019. Biorremediación y fitorremediación de suelo impactado por 85,000 ppm de aceite residual automotriz. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 15(1), pp. 17-23.

Sanz, S., 2015. *Aplicación De La Fitorremediación A Suelos Contaminados Por Metales Pesados*. Trabajo de fin de grado Departamento de Edafología. Universidad Complutense.

Sarango, M. y Villacís, J., 2021. *Efecto de la inoculación microbiana sobre la dinámica de nutrientes en hojarasca de tres especies arbóreas en suelos perturbados y no perturbados en la Amazonía del Ecuador*. Tesis de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias. Universidad de las Fuerzas Armadas.

Servicio Geológico Mexicano, 2017. *Características del petróleo*. Disponible en: https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Caracteristicas-del-petroleo.html

[Consultado: 23/02/2022].

Souza, B., Vasconcelos, S., Rodrigues, A., Couto, B. y Nascimento, L., 2021. Fitorremediación de diferentes contaminantes del suelo. *Ingeniería Ambiental*, 2(1), p. 43.

Suárez, R., 2021. *Fitorremediación: Una alternativa para reducir la contaminación por hidrocarburos de petróleo en Ecuador*. Tesis de grado. Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Teófilo, T., Ferreira, K., Chaves, B., Sarmiento, F., Severo, T. y Souza, M., 2020. Fitoextracción de diurón, hexazinona y sulfometurón-metilo del suelo por especies de abono verde. *Quimiosfera*, 256(2), p. 120.

Vázquez, D., 2015. Índices biológicos de toxicidad en leguminosas tropicales cultivadas en suelos contaminados con petróleo. *Indicadores ecológicos*, 53(1), pp. 43-48.

Ventura, L., 2013. *Identificación, evaluación, análisis y prevención de los riesgos para mitigar el impacto en la salud de los habitantes de la ciudadela Las Minas provocadas por la cercanía de los pozos petroleros en el cantón La Libertad*. Tesis de grado. Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Vidal, J., 2012. *Respuesta de la simbiosis tripartita Rhizobium-Leguminosa-Micorriza arbuscular ante vanadio y níquel*. Tesis de Maestría en Ciencias. Institución de enseñanzas e investigación en ciencias agrícolas.

Villegas, I., 2011. *Respuestas de Leucaena leucocephala en simbiosis con Rhizobium y/o micorriza en diferentes etapas de desarrollo durante la fitorremediación de fenantreno*. Tesis de Maestría en Ciencias. Institución de enseñanzas e investigación en ciencias agrícolas.

Walakulu, S., Masakorala, K., Brown, M. y Widana, K., 2021. Potenciales comparativos de fitorremediación de *Impatiens balsamina* L. y *Crotalaria retusa* L. para suelos contaminados con aceite lubricante usado. *Environmental Advances*, 5(1), p. 195.

Xiao, N., Liu, R., Jin, C. y Dai, Y., 2015. Eficiencia de cinco especies de plantas ornamentales en la fitorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP). *Ingeniería Ecológica*, 75(3), pp. 384-391.

Yagual, K., 2020. *Técnicas de recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos aplicables en el cantón Salinas*. Tesis de grado. Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Yáñez, P. y Bárcenas, M., 2012. Determinación de los niveles de tolerancia a hidrocarburos y potencial de fitorremediación de cuatro especies vegetales del sector Baeza-El Chaco, Ecuador. *La Granja*, 15 (1), pp. 30-48.

Yousaf, U., Aqib, A., Farooqi, A., Muhammad, Y., Barros, R., Tamayo, J. y Iqbal, M., 2022. Efecto interactivo de biocarbón y compost con plantas Poaceae y Fabaceae en la remediación de hidrocarburos totales de petróleo en suelos contaminados con petróleo crudo. *Quimiosfera*, 286(2), p. 131782.

ANEXOS

Tabla 1A. Nombres de las bases de datos y artículos científicos utilizados para la colecta de información.

N°	Artículos científicos	Referencias	Bases de datos
1	Nitrogen addition facilitates phytoremediation of PAH-Cd cocontaminated dumpsite soil by altering alfalfa growth and rhizosphere communities	(Li <i>et al.</i> , 2022)	Elsevier ScienceDirect
2	Phytoremediation: Mechanisms, plant selection and enhancement by natural and synthetic agents	(Kafle <i>et al.</i> , 2022)	Elsevier ScienceDirect
3	Interactive effect of biochar and compost with Poaceae and Fabaceae plants on remediation of total petroleum hydrocarbons in crude oil contaminated soil	(Yousaf <i>et al.</i> , 2022)	Elsevier ScienceDirect
4	Comparative phytoremediation potentials of <i>Impatiens balsamina</i> L. and <i>Crotalaria retusa</i> L. for soil contaminated with used lubricating oil	(Walakulu <i>et al.</i> , 2021)	Elsevier ScienceDirect
5	Crude oil affecting growth of plants (castor: <i>Ricinus communis</i> , and bean: <i>Vicia faba</i>) and some soil properties	(Ibrahim <i>et al.</i> , 2021)	Elsevier ScienceDirect
6	Fitorremediação de diferentes contaminantes do solo	(Souza <i>et al.</i> , 2021)	Scielo
7	Especies vegetales con uso potencial en la remediación de zonas contaminadas en México	(Chan <i>et al.</i> , 2021)	Google académico
8	Biotechnological strategies for enhancing heavy metal tolerance in neglected and underutilized legume crops: A comprehensive review	(Rai <i>et al.</i> , 2021)	Elsevier ScienceDirect

9	Low Cd-accumulating rice intercropping with <i>Sesbania cannabina</i> L. reduces grain Cd while promoting phytoremediation of Cd-contaminated soil	(Kang <i>et al.</i> , 2021)	Elsevier ScienceDirect
10	Effect of emulsifying bacteria on phytotoxicity attenuation of soils contaminated with weathered petroleum hydrocarbons	(Morales <i>et al.</i> , 2020)	Redalyc
11	Comunidades microbianas asociadas a la remoción de fenantreno en suelo: efecto de la aplicación de <i>Medicago sativa</i> L. en el proceso de biorremediación	(Hariyo, 2020)	Google académico
12	The potential of <i>Mimosa pigra</i> to restore contaminated soil with anthracene and phenanthrene	(Pérez <i>et al.</i> , 2020)	Redalyc
13	Phytoextraction of diuron, hexazinone, and sulfometuron-methyl from the soil by green manure species	(Teófilo <i>et al.</i> , 2020)	Elsevier ScienceDirect
14	<i>Phaseolus vulgaris</i> en el tratamiento de suelo un agrícola contaminado por hidrocarburos	(Marques <i>et al.</i> , 2020)	Scielo
15	Efectos de la asociación simbiótica entre <i>Rhizophagus intraradices</i> (N.C. Schenck & G.S.SM.) C. Walker & A. Schübler y fabáceas nativas en el tratamiento de suelos contaminados con petróleo	(Ramos, 2019)	Google académico
16	Soybean plant-based toxicity assessment and phytoremediation of soils contaminated by vegetable and mineral oils used in power electrical transformers	(Sanderson <i>et al.</i> , 2018)	Elsevier ScienceDirect
17	Biorremediación de suelo contaminado con petróleo intemperizado mediante bioestimulación y bioaumentación en presencia de <i>Clitoria ternatea</i> L.	(Morales, 2017)	Google académico

18	Bioestimulación de suelo contaminado con 10000 ppm de aceite residual automotriz y fitorremediación con <i>Cicer arietinum</i> potenciado con <i>Bacillus cereus</i> y <i>Rhizobium etli</i>	(Juárez <i>et al.</i> , 2016)	Scielo
19	Efficiency of five ornamental plant species in the phytoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH)-contaminated soil	(Xiao <i>et al.</i> , 2015)	Elsevier ScienceDirect
20	Contaminación de suelos por hidrocarburos	(Arreola <i>et al.</i> , 2015)	Google académico
21	Respuesta de la simbiosis tripartita <i>Rhizobium</i> -Leguminosa-Micorriza arbuscular ante vanadio y níquel	(Vidal, 2012)	Google académico
22	Respuestas de <i>Leucaena leucocephala</i> en simbiosis con <i>Rhizobium</i> y/o micorriza en diferentes etapas de desarrollo durante la fitorremediación de fenantreno	(Villegas, 2011)	Google académico
23	Especies de leguminosas como fitorremediadoras en suelos contaminados	(Landro, 2010)	Google académico
24	Efectos de rizosfera, microorganismos y fertilización en la biorremediación y fitorremediación de suelos con petróleos crudo nuevo e intemperizado	(Maldonado <i>et al.</i> , 2010)	Scielo

Tabla 2A. Tipos de contaminantes y especies vegetales (Fabáceas) utilizadas para la fitorremediación.

N°	Artículos científicos	Especies vegetales	Tipos de contaminantes	Referencias
1	Nitrogen addition facilitates phytoremediation of PAH-Cd cocontaminated dumpsite soil by altering alfalfa growth and rhizosphere communities	Alfalfa (<i>Medicago sativa</i>)	Cd	(Li <i>et al.</i> , 2022)
2	Phytoremediation: Mechanisms, plant selection and enhancement by natural and synthetic agents	Cascabel (<i>Sesbania drummondii</i>)	Pb	(Kafle <i>et al.</i> , 2022)
3	Interactive effect of biochar and compost with Poaceae and Fabaceae plants on remediation of total petroleum hydrocarbons in crude oil contaminated soil	Guaje (<i>Leucaena leucocephala</i>)	TPH	(Yousaf <i>et al.</i> , 2022)
4	Comparative phytoremediation potentials of <i>Impatiens balsamina</i> L. and <i>Crotalaria retusa</i> L. for soil contaminated with used lubricating oil	Ala de pico (<i>Crotalaria retusa</i> L.)	Aceite lubricante usado	(Walakulu <i>et al.</i> , 2021)
5	Crude oil affecting growth of plants (castor: <i>Ricinus communis</i> , and bean: <i>Vicia faba</i>) and some soil properties	Haba (<i>Vicia faba</i>)	Petróleo crudo	(Ibrahim <i>et al.</i> , 2021)
6	Fitorremediação de diferentes contaminantes do solo	Frijol machete (<i>Canavalia ensiformis</i>)	Pb	(Souza <i>et al.</i> , 2021)
7	Especies vegetales con uso potencial en la remediación de zonas contaminadas en México	Campanita (<i>Clitoria ternatea</i> L.)	HP, Cu, Zn, Pb, Cd, Ni	(Chan <i>et al.</i> , 2021)

8	Biotechnological strategies for enhancing heavy metal tolerance in neglected and underutilized legume crops: A comprehensive review	Frijol jacinto (<i>Lablab purpureus</i> L.)	Cd, Hg, Pb, Zn, P y Cr	(Rai <i>et al.</i> , 2021)
9	Low Cd-accumulating rice intercropping with <i>Sesbania cannabina</i> L. reduces grain Cd while promoting phytoremediation of Cd-contaminated soil	Sesbania (<i>Sesbania cannabina</i> L.)	Cd	(Kang <i>et al.</i> , 2021)
10	Effect of emulsifying bacteria on phytotoxicity attenuation of soils contaminated with weathered petroleum hydrocarbons	Campanita (<i>Clitoria ternatea</i> L.)	Zn, Pb, Cd	(Morales <i>et al.</i> , 2020)
11	Comunidades microbianas asociadas a la remoción de fenantreno en suelo: efecto de la aplicación de <i>Medicago sativa</i> L. en el proceso de biorremediación	Alfalfa (<i>Medicago sativa</i>)	HAP	(Hariyo, 2020)
12	The potential of <i>Mimosa pigra</i> to restore contaminated soil with anthracene and phenanthrene	Carpichera (<i>Mimosa pigra</i> L.)	HAP	(Pérez <i>et al.</i> , 2020)
13	Phytoextraction of diuron, hexazinone, and sulfometuron-methyl from the soil by green manure species	Frijol machete (<i>Canavalia ensiformis</i>)	Diurón, hexazinona y sulfometurón- metil	(Teófilo <i>et al.</i> , 2020)
14	<i>Phaseolus vulgaris</i> en el tratamiento de suelo un agrícola contaminado por hidrocarburos	Frejol (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	Aceite residual automotriz	(Marques <i>et al.</i> , 2020)

15	Efectos de la asociación simbiótica entre <i>Rhizophagus intraradices</i> (N.C. Schenck & G.S.SM.) C. Walker & A. Schübler y fabáceas nativas en el tratamiento de suelos contaminados con petróleo	Maní (<i>Arachis hypogaea</i>)	Petróleo crudo	(Ramos, 2019)
16	Soybean plant-based toxicity assessment and phytoremediation of soils contaminated by vegetable and mineral oils used in power electrical transformers	Soja (<i>Glycine max</i> L.)	Fluidos dieléctricos	(Sanderson <i>et al.</i> , 2018)
17	Biorremediación de suelo contaminado con petróleo intemperizado mediante bioestimulación y bioaumentación en presencia de <i>Clitoria ternatea</i> L.	Campanita (<i>Clitoria ternatea</i> L.)	Hidrocarburos intemperizados	(Morales, 2017)
18	Bioestimulación de suelo contaminado con 10000 ppm de aceite residual automotriz y fitorremediación con <i>Cicer arietinum</i> potenciado con <i>Bacillus cereus</i> y <i>Rhizobium etli</i>	Garbanzo (<i>Cicer arietinum</i>)	Aceite residual automotriz	(Juárez <i>et al.</i> , 2016)
19	Efficiency of five ornamental plant species in the phytoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH)-contaminated soil	Alfalfa (<i>Medicago sativa</i>)	HAP	(Xiao <i>et al.</i> , 2015)
20	Contaminación de suelos por hidrocarburos	Dormilona (<i>Mimosa púdica</i>)	Hg y CN ⁻	(Arreola <i>et al.</i> , 2015)
21	Respuesta de la simbiosis tripartita <i>Rhizobium</i> -Leguminosa-Micorriza arbuscular ante vanadio y níquel	Frejol (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	V y Ni	(Vidal, 2012)

22	<p>Respuestas de <i>Leucaena leucocephala</i> en simbiosis con <i>Rhizobium</i> y/o micorriza en diferentes etapas de desarrollo durante la fitorremediación de fenantreno</p>	<p>Guaje (<i>Leucaena leucocephala</i>)</p>	Fenantreno	(Villegas, 2011)
23	<p>Especies de leguminosas como fitorremediadoras en suelos contaminados</p>	<p>Guaje (<i>Leucaena leucocephala</i>)</p>	Ni, V, Pb, Zn, Cd y Cr	(Landro, 2010)
24	<p>Efectos de rizosfera, microorganismos y fertilización en la biorremediación y fitorremediación de suelos con petróleos crudo nuevo e intemperizado</p>	<p>Guaje (<i>Leucaena leucocephala</i>)</p>	Petróleo crudo	(Maldonado <i>et al.</i> , 2010)
