



**Universidad Estatal Península de Santa Elena**

**Facultad de Ciencias Agrarias**

**Carrera de Agropecuaria**

**COMPONENTE PRÁCTICO DEL EXAMEN DE CARÁCTER COMPLEXIVO**

**FITORREMEDIACIÓN: UNA ALTERNATIVA PARA REDUCIR LA  
CONTAMINACIÓN POR HIDROCARBUROS DE PETRÓLEO EN ECUADOR**

**Previa a la obtención del Título de carrera**

**INGENIERÍA AGROPECUARIA**

**Autor:** Rober Wilsón Suárez Tomalá

**La Libertad, 2021**



**Universidad Estatal Península de Santa Elena**

**Facultad de Ciencias Agrarias**

**Carrera de Agropecuaria**

**FITORREMEDIACIÓN: UNA ALTERNATIVA PARA REDUCIR LA  
CONTAMINACIÓN POR HIDROCARBUROS EN ECUADOR**

Previo a la obtención del Título de:

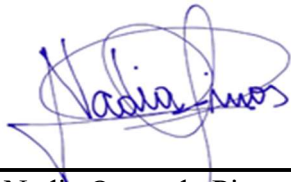
**INGENIERÍA AGROPECUARIA**

**Autor:** Rober Wilson Suárez Tomalá

**Tutor:** Ing. Nadia Quevedo Pinos

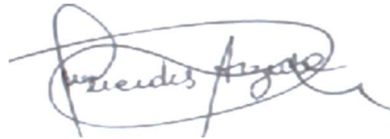
**La Libertad, 2021**

## TRIBUNAL DE GRADO



---

Ing. Nadia Quevedo Pinos, Ph.D  
**DIRECTORA DE CARRERA  
DE AGROPECUARIA  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



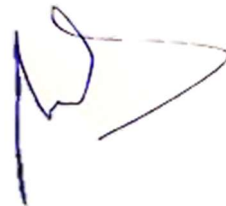
---

Ing. Mercedes Arzube Mayorga, MSc.  
**PROFESOR ESPECIALISTA  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



---

Ing. Idalberto Macías Socarrás, Ph.D  
**PROFESOR TUTOR  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



---

Ing. Andres Drouet Candell, MSc.  
**PROFESOR GUÍA DE LA UIC  
SECRETARIO**

## **RESUMEN**

La fitorremediación tiene la capacidad de aprovechar ciertas plantas que cumplen funciones como absorber, metabolizar, acumular, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos de metales pesados, compuestos orgánicos o derivados del petróleo. Esta Fitotecnología ofrece numerosas ventajas en relación con métodos fisicoquímicos que se usan en la actualidad. Además, es una alternativa en el cual no utiliza productos químicos y es rentable por cuanto es de bajo costo económico. En esta revisión de información de diversos artículos científicos y bibliográficos, se presentan diversas aplicaciones de diferentes plantas acumuladoras de hidrocarburos que se encuentran en el Ecuador y que en la actualidad sirven para restaurar suelos y reducir la contaminación del ecosistema ambiental.

**Palabras claves:** metales pesados, plantas acumuladoras, contaminantes orgánicos, microorganismos

## CARTA DE ORIGINALIDAD

**Ing.**

**NADIA QUEVEDO PINOS, Ph.D**

**DIRECTORA DE LA CARRERA DE AGROPECUARIA**

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**Presente. -**

Cumpliendo con los requisitos exigidos por la Facultad de Ciencias Agrarias, carrera de Agropecuaria, envío a Ud. el componente práctico del examen complejo titulado “**fitorremediación: una alternativa para reducir la contaminación por hidrocarburos en Ecuador**”, para que se considere su sustentación, señalando los siguiente:

1. La investigación es original.
2. No existen compromisos ni obligaciones financieras con organismos estatales y privados que puedan afectar, el contenido, resultados o conclusiones de la presente investigación.
3. Constatamos que la persona designada como tutor/a es el/la responsable de generar la versión final de la investigación.
4. El/la tutor/a certifica la originalidad de la investigación y el desarrollo de la misma, cumpliendo con los principios éticos.



---

Rober Wilson Suárez Tomalá

**AUTOR**

**Email:**

robertwilsonsuareztomala60@gmail.com

**Número Celular:** 0996228687



---

Ing. Nadia Quevedo Pinos, PhD

**TUTORA**

**Email:**

nquevedo@upse.edu.ec

**Número Celular:**0960012136

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
Problema:.....	2
<b>OBJETIVOS: .....</b>	<b>3</b>
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
2.1. Desarrollo Sostenible y gestión ambiental .....	4
2.2. Industrias y contaminación .....	5
2.3. Explotación de petróleo y técnicas para la reducción de impactos en Ecuador.....	6
2.3.1. Características del petróleo y sus derivados.....	7
2.3.2. Biodegradación de compuestos de petróleo .....	8
2.4. La Fitorremediación .....	9
2.4.1. Proceso de Fitorremediación en áreas afectadas por hidrocarburos.....	10
2.4.2. Ventajas y Limitaciones de la Fitorremediación .....	11
2.5. Las plantas y su rizosfera.....	12
2.6. Especies vegetales que participan en la Fitorremediación de compuestos de petróleo ..	13
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>15</b>
3.1. Ubicación y descripción del lugar del experimento .....	15
3.2. Materiales .....	15
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSION.....</b>	<b>16</b>
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>18</b>
5.1 Conclusiones .....	18
5.2 Recomendaciones .....	19
<b>6. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>20</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de contaminantes .....	5
Tabla 2. Derivados del petróleo .....	8
Tabla 3. Ventajas y limitaciones de la fitorremediación .....	11
Tabla 4. Especies utilizadas en Fitorremediación.....	13

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa del Ecuador donde existe derrame de hidrocarburo .....	15
---	----

## 1. INTRODUCCIÓN

La explotación de hidrocarburos de petróleo constituye la principal fuente de desarrollo económico de un país, sin embargo, también se ha convertido en el origen de la contaminación ambiental ya sea por derrames del crudo o de los productos derivados del mismo (Pérez, 2020).

En Ecuador la exportación de hidrocarburos ocupa el cuarto lugar en relación con América Latina y gran parte de su economía se basa en esta actividad, las prácticas industriales que se realizan constantemente en esta área de producción nacional han tenido efectos negativos para el medio ambiente y de manera muy particular en el suelo (Chamorro, 2017).

Según López, (2006) en el suelo los hidrocarburos impiden el intercambio gaseoso con la atmósfera, iniciando procesos fisicoquímicos como evaporación y penetración que, dependiendo del tipo de hidrocarburo, temperatura, humedad, textura del suelo, puede ocasionar toxicidad. El mismo autor argumenta que las leyes del país otorgan a la naturaleza remediar los daños causados al momento de hacer las extracciones, emprender estudios para mitigar los efectos de la contaminación a menor y corto plazo.

Actualmente la sociedad moderna es catalogada como la causante del aumento cotidiano de sustancias contaminantes al medio ambiente, producidas por actividades industriales, mineras, agropecuarias, artesanales y domésticas, por lo que se han desarrollado métodos con el objetivo de dar solución al impacto causado. Estos métodos por lo general suelen ser costosos y llegar a afectar las propiedades del suelo, agua y ecosistema (Domínguez, 2015).

Una de las alternativas sustentables de bajo costos y que contribuye a mitigar la contaminación del ecosistema por hidrocarburos es la fitorremediación, la cual tiene como objetivo principal reducir in situ o ex situ las concentraciones de diversos compuestos mediante procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a ellas. La fitorremediación utiliza las plantas para remover, reducir, transformar, degradar y mineralizar contaminantes a través de especies hiperacumuladoras y tolerantes que



tienen la capacidad de extraer metales pesados del suelo mediante sus raíces (Prieto, 2011).

El caso de contaminación mas conocido a nivel Nacional es el de “La mano sucia de chevron” en la Amazonía Ecuatoriana ocasionado por la transnacional petrolera Chevron Texaco al registrar un derrame de 16.800 millones de galones de crudo. Tomando en cuenta la ferviente afectación provocada al país en los últimos años el presente trabajo es una recopilación de información científica que se acoge a los principales metodos de fitorremediación para suelos contaminados con hidrocarburos, el estudio investigativo de criterios esenciales reflejados en cada una de las alternativas aplicadas en su desarrollo y a su relevante validez de acuerdo a las características del lugar, por otro lado, los diferentes tipos de plantas que pueden utilizarse de acuerdo a las propiedades del contaminante (Loya, 2013).

### **Problema:**

Se enfatiza que los derrames producidos radican en suelos con cobertura vegetal, ríos o lugares cercanos donde se realiza la refinación del petróleo, lo cual afecta no solo a las instalaciones, también genera daños al ecosistema debido a que penetran el suelo y llegan a fuentes de ríos, impidiendo el flujo de oxígeno y perjudicando la flora y fauna del sector.

El impacto ambiental suma aproximadamente 15.000 barriles de petróleo en la Amazonía ecuatoriana entre las provincias de Sucumbíos y Napo, dejando miles de hectáreas damnificadas entre los ríos Coca y Napo, deteriorando directamente a suelos, aire, fauna y vegetación, esto debido a la mala manipulación del hombre o del resultado de la extracción del petróleo.

Cabe recalcar que los derrames de petróleo y sus derivados han provocado una catastrófica contaminación en Ecuador y daños severos a los habitantes de la Amazonía, puesto que de ello se derivan compuestos tóxicos para los seres vivos llegando a ser los promotores de enfermedades cancerosas. Por consiguiente, se pretende evaluar la Fitorremediación como alternativa para la recuperación de suelos mediante el análisis de investigación

bibliográfica enfocados a este nuevo método y así reducir el uso de químicos o tratamientos fisicoquímicos.

## **OBJETIVOS:**

### **Objetivo general**

Sintetizar los resultados de los estudios científicos sobre el uso de la fitorremediación como una alternativa para reducir los niveles de contaminación por hidrocarburos en el Ecuador

### **Objetivos específicos**

- Identificar información bibliográfica referente al uso de la fitorremediación en la reducción de contaminación por hidrocarburos en el Ecuador.
- Ejemplificar las características de las plantas con potencial para ser usadas como fitorremediadoras de áreas contaminadas por hidrocarburos en Ecuador.
- Evaluar la factibilidad de la Fitorremediación en Ecuador para la recuperación de contaminación por hidrocarburos de petróleo.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Desarrollo Sostenible y gestión ambiental

Según Nieto *et al.*, (2011), el desarrollo sostenible tiene por finalidad reunir conocimientos y habilidades para satisfacer las necesidades actuales, desarrollando y evaluando propuestas y proyectos, de conformidad con Velazco, (2013) de esta manera proteger los recursos de las futuras generaciones y contribuir en el porvenir de la humanidad, sin comprometer al medio ambiente más allá de sus posibilidades (Johannesburgo, 2002). Debemos estar sensibilizados e informados sobre los efectos y causas de la explotación de los recursos naturales al ecosistema, acoplar economía con ecología y lograr en el desarrollo económico, tecnológico, social, político e institucional.

Ecuador cuenta con una gran diversidad biológica y variedad de ecosistemas convirtiéndolo en un país de grandes potencialidades para incitar el desarrollo sostenible. Su ubicación geográfica y topográfica ofrecen excelentes condiciones para el uso sostenible de varias fuentes de energía y riqueza natural, un ecosistema único representado por las Islas Galápagos, Los Andes, la Amazonía y la Cuenca del Pacífico. Sin embargo, el país enfrenta desequilibrio interno que de una u otra forma limitan la potenciación de sus recursos humanos y naturales, según Navarrete, (2005) se debe permitir y promover la venta de productos naturales, plantaciones con sello verde y la protección del medio ambiente dirigida por el estado.

Según Martínez (2010), la gestión ambiental tiene por finalidad dejar en claro la importancia del ambiente durante las actividades socio-desarrollo, comprender la relación de los factores biológicos y físicos, la evolución y modificación del mismo a través del tiempo. El mismo autor menciona que este proceso está orientado a prevenir y mitigar los problemas ambientales, con la participación de diferentes actores sociales en la conservación de los recursos naturales.

Según Cáceres *et al.*, (1993) La Constitución Política del Ecuador en su capítulo 3. Tratados y leyes preferidas al medio ambiente en el **Art.19** “*Garantiza el derecho a vivir en un ambiente libre de contaminación*”, el Estado en coordinación con las

Municipalidades establecerían restricciones para proteger el Medio Ambiente, más tarde la misma Constitución de la República del Ecuador, (2008) lo corrobora en su **Art. 66 Derechos de libertad** (punto 27) donde manifiesta “*El derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza*”.

## 2.2. Industrias y contaminación

Según García, (2015) la contaminación industrial hace referencia a la quema de combustibles fósiles (petróleo, carbón, gas, aguas residuales) que afectan negativamente el suelo, aire, ríos y lagunas. El sobreuso de fertilizantes y pesticida sin control, el manejo y almacenamiento inadecuado de desperdicios orgánicos e inorgánicos como plásticos, desperdicios de fábrica, hospitales, la baja calidad de los procesos de refinación del petróleo que causan pequeñas partículas de humo y gases que se evaporan a la atmósfera.

Cabe recalcar que la contaminación industrial, es la incontrolable degradación del medio ambiente por el crecimiento industrial no planeado, el cual está directamente relacionado con la descarga a la atmósfera de sustancias contaminantes sin ningún control de la cantidad, densidad y composición química (Reyes, 2006).

Por otro lado, Delgadillo *et al.*, (2011) mencionan que de manera general los contaminantes se clasifican en:

**Tabla 1. Tipos de contaminantes**

CONTAMINANTES ORGÁNICOS	CONTAMINANTES INORGÁNICOS
<i>idrocarburos aromáticos policíclicos (PAH's)</i>	<i>Metales pesados (Co, Cr o Cu)</i>
<i>PCB's</i>	<i>No metálicos (As y B)</i>
<i>Dioxinas</i>	
<i>Hidrocarburos de petróleo</i>	<i>Radionúclidos (<sup>60</sup>Co y <sup>137</sup>Cs)</i>
<i>Disolventes colorados</i>	
<i>Compuestos aromáticos</i>	<i>Elementos trazas para nutrición y crecimiento de plantas (B, Cu, Fe, Mn, Mo y Zn)</i>
<i>Explosivos</i>	
<i>Productos farmacéuticos</i>	
<i>Plaguicidas (herbicidas, insecticidas y fungicidas)</i>	<i>Elementos trazas para animales (As, Cu, Co, Fe, Mn, Mo, Zn, Cr, F, Ni, Se, Sn y V)</i>
<i>Sulfactantes</i>	

**Fuente:** Delgadillo *et al.*, (2011).

Según (Moreira, 2018), en Ecuador el 80% de las empresas no registran inversión en protección ambiental e impacto ambiental, por tal motivo la contaminación del aire es uno de los principales problemas que existe en las ciudades del país como: Guayaquil, Cuenca, Ambato, Esmeraldas y Quito. Mientras que en la Amazonia la contaminación se debe a la producción y extracción de petróleo y por emisiones de gas CO<sub>2</sub>.

### **2.3.Explotación de petróleo y técnicas para la reducción de impactos en Ecuador**

Según Vásquez (2015), en la Provincia de Santa Elena en el año 1925 fue descubierto el primer pozo petrolero del país, donde comienza la producción y exportación en pocas cantidades. Sin embargo, en la década de los cincuenta los campos petroleros del litoral comenzaban a decaer su producción y en el año 1967 los pozos de petróleo de Santa Elena iniciaban a declinar, entonces se iniciaron estudios para buscar nuevas fuentes de explotación, encontrando en la Amazonía el pozo Lago Agrio, el mismo que causó interés de las compañías extranjeras, en donde el Estado ecuatoriano otorgó más de 4 millones de hectáreas a siete compañías como son: Shell, Estándar Oil, California Oil, Tennessee, Western Geophysical Co, entre otros para la exploración y explotación de petróleo en la zona. Todas estas exploraciones y explotaciones se realizaron sin ningún tratamiento de las zonas, ocasionando problemas de impacto ambiental que en la actualidad son deplorables, su ambiente está completamente contaminado y se refleja en aguas, aire y ecosistemas.

Para diagnosticar los impactos de la industria petrolera, se debe conocer el funcionamiento de la misma y cómo influye la extracción del crudo en la biodiversidad de los ecosistemas, se conoce que los procedimientos existentes alteran la estabilidad de las especies y al final siguen causando perjuicios, aunque tengan mecanismo de control técnico. Estudios sobre el destino ambiental del petróleo demuestran que, aunque la toxicidad del crudo disminuye con la degradación, esta sigue siendo una fuente de contaminación para los organismos del medio ambiente por un largo tiempo (Bravo, 2007).

Según Pizarro y Vergara, (1981) mencionan que en Estados Unidos para reducir los derrames de petróleo se han desarrollado ductos de conducción más duraderos y la adopción de técnicas de reinyección de petróleo. El petróleo no es la única materia prima

de donde se pueden obtener fuentes de energía, existen otras como el aceite de palma, considerado como una posible alternativa y entre sus ventajas crece bien en tierras boscosas. El mismo autor argumenta que en Brasil se está desarrollando el proyecto nacional Proalcool para generar energía a base de alcohol hidratado derivado de la caña de azúcar, abasteciendo a más de dos millones de automóviles brasileños el cual no produce benceno o azufre y muy pocas de dióxido y monóxido de carbono lo que ha ocasionado que hoy en día el etanol constituya el 20% del mercado de combustible brasileño.

### **2.3.1. Características del petróleo y sus derivados**

Según Poveda (2013), las características del petróleo se detallan a continuación:

**Densidad.** - Es más liviano que el agua, su peso específico depende de factores físicos y composición del crudo.

**Olor.** - Depende de la naturaleza y composición del aceite crudo, los hidrocarburos no saturados dan olor desagradable, debido al ácido sulfhídrico y otros compuestos de azufre.

**Color.** - Varía de amarillo al rojo pardo y negro. En la luz el aceite crudo es de color verde, debido a la fluorescencia.

**Volatilidad.** - Depende de los puntos de ebullición de los diversos componentes.

**Composición.** - Carbono (83-87%) e hidrógeno (11-14%). Contiene abundantes impurezas de compuestos orgánicos como el azufre, oxígeno, nitrógeno, mercaptanos, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, alcoholes mezclados también con agua salada, ya sea libre o emulsionada, en cantidad variable.

**Tabla 2. Derivados del petróleo**

<b>DERIVADO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<i>Gas natural (20 °C)</i>	Gases hidrocarbúricos combustibles como el etano, propano.
<i>Nafta o ligroína (150 °C)</i>	También llamada bencina o éter de petróleo, es una mezcla de compuestos muy inflamables y volátiles, empleada como disolvente no polar y como base para elaborar otros compuestos orgánicos.
<i>Gasolina (200 °C)</i>	El combustible más popular para motores de combustión interna, como los de los vehículos automotores, que varía en rango de acuerdo a su octanaje o pureza.
<i>Keroseno (300 °C)</i>	El querosén es un combustible de baja pureza y poco rendimiento, pero mucho más económico y fácil de obtener que la gasolina, ya que no requiere tantas intervenciones posteriores.
<i>Gasóleo (370 °C)</i>	También llamado diésel, es un combustible hecho casi totalmente de parafinas.
<i>Fueloil (400 °C)</i>	Es empleado para alimentar calderas, hornos y también como material de destilación, en la obtención de asfaltos, aceites lubricantes, etc.

**Fuente:** Poveda (2013).

### **2.3.2. Biodegradación de compuestos de petróleo**

Según Cando, (2011), existen microorganismos (hongos, bacterias, protozoos, entre otros) en la naturaleza que tienen capacidad degradativa; utilizan los hidrocarburos como fuente de energía y carbono, de esta manera contribuyen a la eliminación de ciertos contaminantes a través de la digestión y devolviendo los compuestos al ambiente en forma mineral y CO<sub>2</sub>, proceso denominado biorremediación. La biodegradación de petróleo es compleja, depende de las características de la mezcla de hidrocarburos, de los factores ambientales y del tipo de microorganismo. El mismo autor señala a bacterias del género

*Streptomyces* tales como: *Streptomyces griseoflavus*, *Streptomyces parvus*, *Streptomyces plicatus* especies se catalogan como especializadas en la biorremediación de hidrocarburos.

En la Amazonia Ecuatoriana se realizó la biodegradación de hidrocarburos de petróleo a nivel de laboratorio utilizando hongos endófitos (133) aislados de 23 plantas provenientes del ambiente contaminado de la zona. Se registró una capacidad degradadora del 90% en las especies; *Clonostachys sp.*, *Aspergillus sp.*, *Verticillum sp.*, *Collectotrichum sp.*, *Phomopsis sp.* y *Xylaria sp.* Las tasas máximas de remoción de hidrocarburos totales de petróleo fueron del 99.6% (IR) y 99.8% (CG), correspondiente a los hongos del género *Verticillium sp.* y *Aspergillus sp.* respectivamente (Marín, 2018).

#### **2.4. La Fitorremediación**

Según (Vital, 2019) la fitorremediación hace referencia al uso de diferentes plantas y árboles para volatizar o estabilizar metales pesados del suelo y agua, las plantas actúan como filtros biológicos o mediante el uso de microorganismos que facilitan la extracción de ciertos elementos a través de la planta. Esto lo corrobora Shutterstock, (2018) al mencionar que la fitorremediación es un sistema tecnológico basado en la capacidad bioquímica de ciertas plantas para absorber y sustraer sustancias contaminantes del medio ambiente y recuperarlo, esta técnica también se destaca por estabilizar contaminantes presentes en sedimentos como metales, plaguicidas, hidrocarburos, compuestos derivados del petróleo, etc., lo cual resulta ventajoso frente a otras técnicas fisicoquímicas puesto que es sustentable, no requiere consumo de energía, es de bajo costo, no necesita personal especializado para su empleo y es amigable con el medio ambiente.

La utilización de plantas y microorganismos asociados a su rizosfera ha surgido como una alternativa más económica, en asociación llevan a cabo el proceso de degradación estableciendo complejas interacciones que aparentemente están mediadas por los exudados que liberan las raíces de las plantas según Muños *et al.*, (2010).



#### **2.4.1. Proceso de Fitorremediación en áreas afectadas por hidrocarburos**

**Fitoextracción:** Este mecanismo radica en la absorción del contaminante a través de las raíces y depósito en hojas y tallos, utilizando plantas de acorde al metal pesado en extracción ya que no todas tienen tolerancia al mismo elemento. Por lo tanto, la selección de las plantas debe realizarse considerando el tamaño de las raíces, la tasa de crecimiento, acumulación de contaminantes, biomasa y potencial de evapotranspiración. Los pastos, musgos y helechos son el género que presentan mayor adaptabilidad a las diferentes condiciones ambientales y pueden captar gran cantidad de contaminante (Delgadillo *et al.*, 2011).

**Fitoestabilización:** Según Aldama (2014), consiste en el uso de plantas de abundante sistema radicular para reducir la biodisponibilidad de metales en el ambiente por medio de lignificación o humidificación. La planta crea resistencia en el área contaminada, succiona la humedad de suelos manteniéndola constante, mejorando las propiedades físicas y químicas del medio.

**Fitoimmobilización:** En este proceso las plantas tienen la finalidad de paralizar el movimiento de los contaminantes del suelo mediante la producción de compuestos químicos, los cuales reaccionan inactivando las sustancias tóxicas, es decir usa las raíces de las plantas para la fijación (Tito, 2019).

**Fitovolatilización:** Según Núñez *et al.*, (2004) las plantas pueden retirar ciertos contaminantes (mercurio y selenio) presentes en suelos y agua por medio de la volatilización, donde; la raíz absorbe el contaminante, lo transporta a sus partes superiores para posteriormente ser liberados a través de la transpiración a la atmósfera en formas volátiles, disminuyendo su toxicidad y por ende ser menos peligrosas.

**Rizo filtración:** Consiste en la desintoxicación por metales pesados, trazas, compuestos orgánicos y radiactivos en el agua y de otros efluentes acuosos, la técnica de absorber, concentrar y precipitar la poseen ciertas especies vegetales y también abarca los microorganismos que se encuentren en la rizosfera (Parra, 2017).

**Fitoestimulación:** De acuerdo con Bonilla, (2013) las plantas producen exudados de las raíces durante las actividades metabólicas y fisiológicas, que favorecen el crecimiento de microbios contrarrestando principalmente contaminantes de origen orgánico.

**Fitodegradación:** Se basa en degradar contaminantes orgánicos como hidrocarburos aromáticos polinucleares, hidrocarburos totales del petróleo, plaguicidas (herbicidas, insecticidas y fungicidas), compuestos clorados, explosivos y surfactantes (detergentes). A través de reacciones enzimáticas que llevan a cabo plantas y microorganismos en la rizosfera, es decir, la zona del suelo estrechamente asociada con las raíces de las plantas, dichos contaminantes son parcial o completamente degradados o transformados. De esta manera son asimilados por las plantas y secuestrados en sus vacuolas o fijados a estructuras celulares insolubles, como la lignina (Sandoval, 2019).

#### 2.4.2. Ventajas y Limitaciones de la Fitorremediación

**Tabla 3. Ventajas y limitaciones de la fitorremediación**

VENTAJAS	LIMITANTES
<p>El costo es mucho menor que el de los procedimientos tradicionales in situ et ex situ.</p> <p>Son especialmente útiles en grandes superficies, con contaminantes relativamente inmóviles o con niveles de contaminación relativamente bajos.</p> <p>Al formar una cobertura vegetal mejora las propiedades físicas y químicas del suelo.</p> <p>No requiere la transportación del sustrato contaminado, evitando así la diseminación de contaminantes a través del aire o agua.</p> <p>Las plantas pueden ser fácilmente objeto de seguimiento.</p>	<p>La fitorremediación se limita a la superficie y a la profundidad ocupada por las raíces</p> <p>Un crecimiento lento y baja biomasa requieren una inversión considerable en tiempo o/y a veces la adición de agentes quelantes u otras sustancias (para los contaminantes inorgánicos como los metales pesados).</p> <p>No se puede, con un sistema de remediación a base de plantas, evitar</p>

<p>Recuperación y reutilización de metales valiosos, biomasa y agua (las empresas que se especializan en la fitominería).</p> <p>No requiere personal especializado para su manejo, debido a que se utilizan prácticas agronómicas convencionales.</p> <p>No requiere energía eléctrica.</p> <p>Evita la excavación y tráfico pesado.</p> <p>Es el método menos destructivo, ya que utiliza los organismos naturales y preserva el estado natural del medio ambiente (en comparación con el uso de procesos químicos que afectan negativamente la fertilidad de la tierra).</p>	<p>completamente el paso de contaminantes a la capa freática (esto solo es posible mediante la eliminación total del suelo).</p> <p>El nivel y el tipo de contaminación afecta a la fitotoxicidad de los contaminantes.</p>
---	---

**Fuente:** (Bárceñas y Yáñez, 2012).

## 2.5. Las plantas y su rizosfera

Según Probanza (2012), la rizosfera es la parte de suelo más cercana a las raíces de la planta casi imperceptible a simple vista, está constituido por: planta, suelo y microorganismos. El mismo autor argumenta que el suelo funciona como sostén vital aportando nutrientes necesarios al ecosistema, la planta tiene una influencia vital en el ecosistema, un ejemplo es que las leguminosas no producen nodulación del rizobios cuando hay abundante cantidad de N en el suelo ya que no lo necesitan, así mismo los hongos micorrícicos no colonizan las raíces cuando se aplica fertilización fosfórica.

Hoy en día se considera a la rizosfera como el segundo genoma de la planta, debido a la gran cantidad de microorganismos que interactúan con ella. Se puede considerar que en los 5 años se está suscitando un crecimiento en el sector de los biofertilizantes y bioestimulante en el mercado agrícola, donde la mayoría de estos productos influyen directamente en la rizosfera de las plantas, mejorando el rendimiento, estrés biótico (enfermedades y plagas) y abióticos (heladas, exceso de sal, sequía) (Pedraza *et al.*, 2014).






Se evaluó la presencia de algas y cyanobacterias en rizósfera de plantas acumuladoras de plomo y se observaron efectos negativos en las plantas evaluadas, sin embargo, las



especies *Trebouxia parmelidae*, (Chloroplastida) y *Vaucheria sp.* (Xanthopiceae) se mantuvieron persistentes en el suelo pese a la gran cantidad de plomo a la que estaban expuestas (Becerra *et al.*, 2021).

## 2.6. Especies vegetales que participan en la Fitorremediación de compuestos de petróleo

Según Bonilla, (2013) la planta o la microflora asociada a las plantas, pueden transformar ciertos hidrocarburos en formas no tóxicas. Durante el metabolismo normal de las plantas y vegetales, las raíces exudan a la rizosfera compuestos orgánicos que estimulan la actividad metabólica de los microorganismos asociados a las raíces, favoreciendo la degradación de los compuestos tóxicos orgánicos.

**Tabla 4. Especies utilizadas en Fitorremediación**

Nombre científico	Nombre común	Metales que absorbe	Figura
<i>Zea mays</i>	Maíz	Cadmio y plomo	
<i>Helianthus annuus</i>	Girasol	Uranio	
<i>Phaseolus vulgaris</i>	Frijol	Plomo y cadmio	
<i>Medicago sativa</i>	Alfalfa	Plomo	
<i>Agrostis canina</i>	Heno gris	Plomo y níquel	

<i>Agrostis capillaris</i>	Pasto quila	Zinc Níquel Arsénico	
<i>Anthyllis vulneraria</i>	hierba de la cuchillada	Zinc plomo y cadmio	

**Fuente:** Bonilla, (2013).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación y descripción del lugar del experimento

Se desarrollará en las Regiones del Ecuador en donde existan suelos contaminados con hidrocarburos, en los cuales se aplicará el proceso de fitorremediación utilizando plantas acumuladoras de contaminantes y que sean propias del lugar.



Figura 1. Mapa del Ecuador donde existe derrame de hidrocarburo

#### 3.2. Materiales

- **Materiales de campo**
- Baldes
- Bandejas plásticas
- Guantes
- Palas
- Mascarillas
- Botas
- Cuadernos de apuntes
- Fundas de Pasticos
- Computador
- Etiqueta para codificación de muestras
- Calculadora
- **Materiales utilizables para el experimento**
- Macetas
- Semillas
- Materia orgánica
- Agua para riego
- Bandeja para preparación de prueba de germinación
- Muestras de suelo contaminado por hidrocarburos en diferentes concentraciones
- Muestra de suelo puro contaminado por hidrocarburos

## 4. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1 La Fitorremediación en Ecuador

A nivel de invernadero se evaluaron los niveles de tolerancia y potencial fitorremediador de *Ludwigia perruviana*, *Mimosa polydactyla*, *Tessaria integrifolia* y *Verbena litoralis* en suelo contaminado por petróleo (3 y 6% de concentración) en la ciudad de Quito, donde las especies *Tessaria integrifolia* (especie arbórea) y *Verbena litoralis* (especie herbácea) tuvieron un mayor crecimiento radicular y mejor capacidad fitorremediadora con la adición de fertilizante en el suelo y a bajas concentraciones de petróleo (3%) ya que degradaron el hidrocarburo en forma significativa a diferencia de las otras especies (Bárcenas y Yáñez, 2012).

Se estudió el proceso de fitorremediación con la especie *Eicchornia crassipes* (Mart.) Solms una planta micrófito acuática en 130 kg de suelo obtenidos de la cuenca baja del Río Guayas proveniente de una finca destinada al cultivo de caña de azúcar y se determinó que, aunque la mayor acumulación de metal pesado se almacenó en la radícula los tratamientos alcanzaron alturas mayores a los 20 cm/planta, no hubo diferencias significativas entre el pH inicial (6.41) y final (6.1) del sustrato e incluso se observaron inflorescencias al terminar el ensayo (octava semana). La especie funciona bien en suelos con Cd aplicando Fitorremediación y se destaca que con 8 mg/kg de cadmio hubo una disminución del contaminante de 23.63% (López P. A., 2020).

Se realizó el tratamiento de aguas residuales extraídas de granjas porcícolas para exponerlas a distintas concentraciones de extracto de semillas de *M. olifera* (0; 150; 250 ml/L) y se mostró eficacia con la concentración de 250 ml/L al presentar decrecimiento de las colonias de Coliformes totales y fecales (inferiores a 400 DTS), el pH antes (7.3) y después (7.7) de la fitorremediación se mantuvo en neutro y la conductividad eléctrica inicial (2257,7  $\mu\text{S/cm}$ ) y final (1891,5  $\mu\text{S/cm}$ ) dentro del grado de restricción (Gonzaga *et al.*, 2019).

Según Coyago y Bonilla, (2019) indican que el proceso de fitorremediación no depende únicamente del tipo de planta utilizada, sino también del tiempo, cuanto más contacto

tenga el metal pesado con el suelo puede existir depuración o re-contaminación, es por ello que se debe conocer la cinética de absorción del metal para someter una especie vegetativa al proceso. Al evaluar 3 especies vegetales (alfalfa, acelga y amaranto) determinó una mayor capacidad de absorción de plomo con alfalfa, capacidad media con acelga y capacidad menor con amaranto a los 60 días, también registró plantas con mayor biomasa cuya etapa de desintoxicación fue de 10 días y porcentajes de fitorremediación del 90%, mientras que especies con menor biomasa luego de 70 días no lograron recuperar su poder de absorción y reportaron fitorremediación de 25%. Lo cual indica que las plantas que no presenten abundante biomasa tienden a intoxicarse más rápido.

La col registró una disminución de azufre de 1327.62 mg/kg siendo la especie de mayor capacidad de Fitoextracción a nivel del suelo en comparación a la cebolla blanca que tuvo una disminución de azufre de 857.02 mg/kg y el tallo fue el órgano de mayor acumulación de este elemento para ambas especies vegetales según mencionan Haro *et al.*, (2020).

Los problemas de contaminación que existen actualmente requieren de tecnologías costo-efectivas y ambientalmente amigables, la fitorremediación estabiliza o volatiliza contaminantes orgánicos y/o inorgánicos a través del uso de plantas tolerantes, en la medida que este conocimiento se incremente, será posible una aplicación más eficiente y a gran escala.



## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

- ✓ Es necesario seguir investigando sobre los procesos que determinan la disponibilidad de los contaminantes, su absorción, traslocación, quelación, degradación y volatilización en la planta, con el fin de transmitir a la sociedad de manera clara, este conocimiento para su aceptación y concientización. Hasta ahora, la mayoría de los trabajos relacionados con la Fito corrección se han llevado a cabo a escala de laboratorio e implementadas en lugares donde existen contaminación con plantas cultivadas en condiciones ideales. Es primordial realizar las gestiones necesarias para aplicar este conocimiento en casos reales que permitan demostrar la eficiencia de esta técnica.
- ✓ Es importante resaltar que la fitorremediación es una técnica nueva en el país, aunque las experiencias de otros países garantizan que se trata de un método prometedor, de manera general las especies vegetales deben tener una rápida tasa de crecimiento y alta productividad de biomasa, ser acumuladoras y tolerantes a altas concentraciones de metales, ser locales y fáciles de cosechar, muchas son acuáticas. Hay que considerar que las condiciones del lugar son totalmente distintos, no todas las plantas tienen la capacidad de absorber el mismo metal pesado, por lo que se requiere más información sobre las interacciones planta-microorganismos rizosféricos, así como del papel que juegan ciertas enzimas en el proceso de fitorremediación.
- ✓ De acuerdo a la bibliografía revisada ensayos previos indican que se ha estudiado la fitorremediación en Ecuador, a nivel de laboratorio se ha demostrado la eficiencia, capacidad y tolerancia de plantas en suelos contaminados por petróleo y en el tratamiento de aguas residuales. Pese a que se trata de una técnica nueva, es económicamente rentable (se trabaja con especies de ciclo corto), realizar el proceso de fitorremediación en Ecuador es factible para el tratamiento de contaminación por hidrocarburos de petróleo en la recuperación de ecosistemas deteriorados.

## 5.2 Recomendaciones

- ✓ Se recomienda realizar pruebas de recuperación de suelos y ríos contaminados por petróleo a mayor escala, llevar los estudios de laboratorio a campo abierto.
- ✓ Probar primero con los procesos de Fito estimulación o Fito degradación ya que son los recomendados para contaminantes de origen orgánico como el hidrocarburo de petróleo.
- ✓ Determinar el origen del contaminante para poder elegir una o varias especies que se adapten a las condiciones del suelo a recuperar.
- ✓ El tiempo que las plantas actúan sobre el lugar es variable ya que como se vio antes no solo depende del tipo de planta sino también del tiempo y cantidad de biomasa que esta pueda generar por lo cual, se debe monitorear los niveles de contaminación asimilada en las plantas, esto mediante toma de muestra de las hojas, raíces o tallos que deberán ser llevados a laboratorio para ser analizados por distintas técnicas.

## 6. BIBLIOGRAFIA

Aldama, E. (2014). *Remoción de Aluminio en aguas residuales industriales usando especies macrófitas*. Colombia. Universidad Católica de Manizales, Facultad de ingeniería y arquitectura.

Bárcenas, P. y Yáñez, M. (2012). *Determinación de los niveles de tolerancia a hidrocarburos y potencial de fitorremediación de cuatro especies vegetales del sector Baeza-El Chaco, Ecuador*. Quito, Ecuador: La granja, Revista de Ciencias de la vida, vol. 15, n. 1, pp. 27-48.

Becerra, A., Daga, C., Murialdo, R., Faggioli, V., Menoyo, E. y Salazar, J. (2021). *Algas y Cyanobacterias presentes en la rizósfera de plantas acumuladoras de plomo*. Córdoba: Boletín de la sociedad Argentina de botánica, vol. 56, n. 1, pp.

Bonilla, S. (2013). *Estudio para tratamiento de biorremediación de suelos contaminados con plomo, utilizando el método de fitorremediación*. Quito: Universidad Politécnica de Salesiana.

Bravo, E. (2007). *Los impactos de la explotación petrolera en ecosistemas tropicales y la biodiversidad*. Ecuador: Academia.edu.

Caceres R. C., Rojas R., M. y Camacho T.R. (1993). *El desarrollo sostenible del Ecuador y la conservación de su medio ambiente*. Ecuador: Instituto de altos estudios Nacionales.

Cando, M. (2011). *Determinación y análisis de un proceso de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos*. Cuenca, Ecuador: Carrera de Ingeniería Ambiental.

Chamorro, A. (2017). *El Petróleo en el Ecuador la nueva era Petrolera*. Ecuador.  
Delgadillo López, A. E., González Ramírez, C. A., Prieto García, F., Villagómez Ibarra J. R. y Acevedo Sandoval, O. (2011). *Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación*. México: vol. 14, n. 2, p. 597-612.

Domínguez, M. (2015). *La contaminación ambiental, un tema con compromiso social*. Colombia .

Ecuador, C. d. (2008). *Elementos constitutivos del estado, Constitución 2008*. Ecuador: Publicada en el Registro oficial N. 449.

Coyago, E. y Bonilla, S. (2019). *Cinética de absorción de plomo en especies vegetativas previo a procesos de fitorremediación de suelos altamente contaminados*. Quito,

Ecuador: Revista de investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias. vol. 3, n. 7, pp. 47-58 .

García, S. (2015). Disponible en: *Contaminación Industrial*. <https://www.elfinanciero.com.mx/opinion/salvador-garcia-linan/contaminacion-industrial/>. Consultado: 15/04/2021.

Gonzaga, S., Fernández, Y., Bernal, M., & Moreno, A.. (2019). *Fitorremediación de aguas residuales porcícolas mediante el uso de semillas Moringa oleífera LAM*. Machala, Ecuador: Revista científica Agroecosistemas, Sexta edición., vol. 7, n. 2, pg. 132-139.

Pizarro, F. y Vergara, I. (1981). *Control de derrames de petróleo*. Santiago, Chile: Versión preliminar, primera Edición.

Haro Altamirano, J. P., Osorio Rivera, M. Á., Zambrano Cárdenas, G. O., Osorio Pillajo, D. J. (2020). *Evaluación de la fitorremediación en suelos agropecuarios, con altas concentraciones de azufre, la matriz, Guano, provincia de Chimborazo*. Chimborazo: Revista Científico-Académica Multidisciplinaria.

Johannesburgo. (2002). *¿Qué es el desarrollo sostenible?*. Disponible en: <https://www.un.org/spanish/conferences/wssd/desarrollo.htm>. Consultado: 04/04/2021.

López, J. (2006). *Bioremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo*. Colombia .

López, P. A. (2020). *Fitorremediación de suelo agrícola contaminado con cadmio con la especie Eichhornia crassipes (Mart.) Solms en la cuenca baja del río Guayas*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil, Facultad Ciencias Naturales.

Loya, D. (2013). *Tecnologías para la restauración de suelos contaminados por hidrocarburos*. México .

Marín, F. (2018). *Biodegradación de hidrocarburos totales de petróleo por hongos endófitos de la Amazonia Ecuatoriana*. Quito, Ecuador: Facultad de ciencias exactas y naturales.

Martínez, R. (2010). *La importancia de la educación ambiental ante la problemática actual*. Heredia, Costa Rica: Revista electrónica educare, vol. 14, n. 1, pp. 97-111.

Moreira, Á. (2018). *Contaminación del aire en el medio ambiente por las emisiones de gases tóxicos de empresas industriales en el Ecuador*. Manta, Ecuador: Universidad Laica Eloy Alfaro, Manabí. Edición 21, vol. 3, n. 7, pp. 299-306.

Muños, C. L, Nevárez, M. G., Ballinas, C. M. y Peralta, P. M. (2010). *Fitorremediación como una alternativa para el tratamiento de suelos contaminados*. Chihuahua, México: Revista Internacional de Ciencias y Tecnología Biométrica.

Navarrete, R. (2005). *La preservación de la biodiversidad, el medio ambiente y la utilización de los recursos naturales para impulsar el desarrollo sustentable y la seguridad*. Quito, Ecuador: Facultad de seguridad y desarrollo.

Nieto Jerson, Vitonas, R. hy Banguera, J. (2011). *Desarrollo sostenible y gestión ambiental*. Disponible en: <https://sites.google.com/site/trabajogbi/#:~:text=La%20gesti%C3%B3n%20ambiental%20responde%20al,protecci%C3%B3n%20y%20conservaci%C3%B3n%20del%20ambiente>. Consultado: 29/03/2021.

Núñez, R., Meas, Y., Ortega, R. y Olguín, E. (2004). *Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones*. España: Ciencia, Biotecnología y Biología molecular.

Parra, F. (2017). *Rifofiltración de aguas de riego agrícolas contaminados por metales pesados en comunidades del municipio de Puebla*. Puebla, México: Instituto de ciencias, Posgrado en Ciencias Ambientales.

Pedraza, R., Teixeira, K., Fernández, A., García, I., Baca, B., Azcón, R., Vera, B. y Bonilla, R. (2014). *Microorganismos que mejoran el crecimiento de las plantas y la calidad de suelos*. España: Revista corporica Ciencia y Tecnología Agropecuaria vol. 11, n. 10, pp. 155-164.

Pérez, F. E. (2020). *Los cosustratos y su importancia en la Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos, una revisión*. Quito: Quito: Universidad de las Américas, 2020.

Poveda, R. (2013). *El petróleo en el Ecuador la nueva era petrolera* . Ecuador .

Prieto, F. (2011). *Fitorremediación un alternativa para eliminar la contaminación*. España.

Probanza, A. (2012). *La rizosfera: criptoecosistema vital. Aspectos básicos y aplicados*. Brasil: Congreso Nacional del Medio Ambiente.

Reyes, R., De Sousa, A. y Petersen, J. (2006). *La prevención de la contaminación industrial como asignatura para la formación ambiental universitaria*. Venezuela: Universidad, Ciencia y Tecnología, vol. 10, n. 40, pp. 198-204.

Sandoval, S. y. (2019). *Evaluación de la eficiencia de un sistema integrado de biopelícula y fitorremediación con Nasturtium officinale berro para el tratamiento de agua residual municipal en huancavelica*. Perú: Facultad de Ciencias de Ingeniería.

Shutterstock, M. 2018. *Fitorremediación: La gran alternativa natural para recuperar suelos contaminados*. Disponible en: <https://elproductor.com/2018/09/fitorremediacion-la-gran-alternativa-natural-para-recuperar-suelos-contaminados/#:~:text=La%20mostaza%20de%20la%20india,la%20recuperaci%C3%B3n%20de%20suelos%20contaminados>. Consultado: 06/09/2018.

Tito, G. (2019). *Eficiencia de la Caiophora cirsiifolia C. presl en la fitorremediación y la acumulación de plomo en suelos contaminados por actividad minera*. Lima, Perú: Universidad peruana unión, Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

Vásquez, C. (2015). *La exploración y explotación de los hidrocarburos y su impacto ambiental en el marco de los derechos de la naturaleza establecidos en la Constitución del Ecuador en el 2012*. Ecuador .

Velazco, A. (2013). *¿Qué es el desarrollo sostenible?* Disponible en: <https://www.eoi.es/blogs/mtelcon/2013/04/16/%C2%BFque-es-el-desarrollo-sostenible/>. Consultado: 20/04/2021.

Vital, I. (2019). *Evaluación de accesiones ornamentales de Helianthus spp colonizadas por hongos micorrízicos arbusculares para remediar suelos contaminados con metales pesados*. Zapopan, Jalisco: Centro de investigación y asistencia en tecnología y Diseño del estado de Jalisco.