UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

TEMA

GRAMÍNEAS CON POTENCIAL EN FITORREMEDIACIÓN PARA SUELOS DE LA AMAZONÍA ECUATORIANA, UNA REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE.

AUTORES

JÉSSICA LISBETH DÍAZ GREFA

STEFANIA NAIPI TAPUY AGUINDA

DIRECTOR DEL PROYECTO

MSC. DANILO PEDRO SARABIA GUEVARA

Puyo - Ecuador

Julio 2021

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Nosotras, Díaz Grefa Jéssica Lisbeth y Tapuy Aguinda Stefania Naipi con C.I. 2300536196 y 150100519-1, hace constar que son autoras del Proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado: GRAMÍNEAS CON POTENCIAL EN FITORREMEDIACIÓN PARA SUELOS DE LA AMAZONÍA ECUATORIANA, UNA REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE, el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del Tutor de dicho trabajo, Msc. Pedro Danilo Sarabia Guevara con CI. 1600475550. En tal sentido, manifiesto la originalidad de la conceptualización del trabajo como interpretación de datos y elaboración de conclusiones dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo.

En el cantón Pastaza, a los 20 días del mes de Julio del 2021.

Estudiante Jéssica Lisbeth Díaz Grefa CI: 2300536196	Estudiante Stefania Naipi Tapuy Aguinda CI. 1501005191

FORMATO 6: INFORME DEL TRIBUNAL DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

INFORME DEL TRIBUNAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Título: "Gramíneas con potencial en fitorremediación para suelos de la Amazonía ecuatoriana: una revisión del estado del arte"

Autor (a): JÉSSICA LISBETH DÍAZ GREFA

STEFANIA NAIPI TAPUY AGUINDA

Unidad de Integración Curricular de Carrera: Ambiental
Director del Trabajo de Integración Curricular : Danilo Pedro Sambrín Guevara
Fecha: 15 Julio, 2021

Los Profesores integrantes del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular , emiten los siguientes criterios.

Una vez revisado el documento del Trabajo de Integración Curricular antes mencionado, y previas reuniones de trabajo mantenidas con el autor estudiante y director del proyecto, con la finalidad de aclarar dudas y hacer sugerencias especialmente de forma, y tomando como referencia el formato aprobado para estos casos, se resuelve:

1. Que el Trabajo de Integración Curricular titulado:

   "Gramíneas con potencial en fitorremediación para suelos de la Amazonía ecuatoriana, una revisión del estado del arte"

   cumple con los requisitos exigidos en el formato aprobado por la UIA.
2. Que los aspectos de forma que se observan deberán ser corregidos previo al empastado del documento final y su entrega en Secretaría Académica y defensa oral.

Por lo que en nuestra calidad de Tribunal emitimos el INFORME FAVORABLE del Trabajo de Integración Curricular en mención, para continuar con lo establecido en la normativa vigente.

Sin otro particular.

Atentamente,

RICARDO VINICIO ABRIL SALTOS

Ricardo Vinicio Abril Saltos
PRESIDENTE DE TRIBUNAL

MARCOS DAVID LANDIVAR VALVERDE

David Landivar Valverde
Miembro del Tribunal

SANTIAGO EDUARDO AGUIAR NOVILLO

Santiago Aguiar Novillo
Miembro del Tribunal

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

Certificado No. 130-SAU-UEA-2021

Puyo, 16 de julio de 2021

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente a las estudiantes: Díaz Grefa Jéssica Lisbeth con C.I. 2300536196 y Tapuy Aguinda Stefania Naipi con C.I. 1501005191, con el Tema: **"GRAMÍNEAS CON POTENCIAL EN FITORREMEDIACIÓN PARA SUELOS DE LA AMAZONÍA ECUATORIANA, UNA REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE."**, de la carrera, Ingeniería Ambiental. Director de la investigación MSc. Danilo Sarabia Guevara, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 6%. Informe generado con fecha 16 de julio de 2021 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes.

Atentamente,

Ing. Italo Marcelo Lara Pilco M.Sc.
ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND – UEA - .

www.uea.edu.ec

Campus UEA, Paso Lateral Km. 2 ½ Vía Napo
Puyo, Pastaza - Ecuador

Derechos de Autor Copyright

2021, Jéssica Lisbeth Díaz Grefa, Stefania Naipi Tapuy Aguinda

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozcan los Derechos de Autores

Declaración de autenticidad

Integrantes del Proyecto, Jéssica Lisbeth Díaz Grefa, Stefania Naipi Tapuy Aguinda, declaramos que el presente proyecto de investigación, es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autoras, asumo la responsabilidad legal y academica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular.

JÉSSICA LISBETH DÍAZ GREFA

No. Cédula:2300536196

STEFANIA NAIPI TAPUY AGUINDA

No. Cédula: 1501005191

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación se la dedico a mi hija que es mi inspiración de lucha para alcanzar hasta ese logro de ser ingeniera, a mis padres que me educaron que nunca se rinde ante cualquier obstáculo que nos presente la vida y que con cada reproche que parece es la forma de decirnos que están para nosotras, a mis hermanas que han estado hasta con recordatorios a lado de una para no decaer en el paso de finalizar este trabajo, a la mejor persona que te puede coincidir la vida quien ha estado en los altos y bajos y también ha sido de apoyo incondicional; a su familia que se ha vuelto como la segunda familia que se tiene por apoyarnos.

A esta gran institución que es la Universidad Estatal Amazónica que nos acogió para educarnos y que hoy estemos logrando una meta más, fue y será como una casa de alquiler que se recorrió y conoció una parte nuestra y nos fundó una experiencia más, a cada uno de los docentes que pasaron desde su inicio hasta su fin nos brindaron conocimientos y nos dieron sus recomendaciones ante lo que nos pase en nuestra vida profesional y a cada una de las personas que en lo largo de nuestra vida estudiantil estuvieron, compañeros, amigos y ahora colegas.

Jéssica Díaz

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a Dios por dame salud y fuerzas para seguir adelante a culminar mis propósitos y metas.

A mis padres Cesar y Estefanía, por incentivarme y creer en mí, por su apoyo a cumplir mis sueños, por siempre estar en los momentos victoriosos y aconsejarme para ser buena persona, mis logros se los debo a ustedes son mi ejemplo a seguir.

A mis hermanos/as, quienes siempre me brindaron su apoyo y cariño gigante, me alegro mucho porque la vida me premio con personas geniales como los son ustedes.

Stefania Tapuy

AGRADECIMIENTO

Hay que agradecer día a día por la vida que dios nos da para luchar por nuestros sueños y metas, porque lo sucedido en la actualidad una pandemia que se ha llevado a unos y a otros los ha protegido de los males.

A mis padres que desde que supieron que tendrían hijas, hacen hasta lo imposible por luchar que cada meta que se tracen la cumplan y se sientan muy orgullosos de cada uno de los logros que van obteniendo en el largo camino de la vida dándonos su apoyo incondicional.

A la persona que desde su primer día que se la conoce y con el transcurso del tiempo se vuelve un gran amigo y confidente que ha pesar de los obstáculos que el día a día nos pone; se lucha por mejorarlo y crecer en la sabiduría que no se tenía en tiempos pasados.

A mi docente tutor de ser guía y apoyo en todo este largo proceso que he llevado para que se finalice con éxito este trabajo de integración curricular.

A la familia de mi pareja que también no han brindado su apoyo en este tiempo que ha sido una travesía larga.

Jéssica Díaz

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por su protección y amor, y por ayudarme a cumplir una meta más en mi vida.

A mis padres, Cesar y Estefanía, por su apoyo incondicional, confianza, valores, motivación y consejos, que me ha ayudado e incentivado a no rendirme y luchar por lo que quiero, este logro es para ustedes, los quiero mucho.

A mis hermanos/as, Sofía, David, Jenny, Sany, Cesar, por siempre estar para mí brindándome su apoyo, cariño y confianza, por estar en los momentos más difíciles para mí, así como también gozar y disfrutar en los momentos más importantes de mi vida.

A mis sobrinos/as, Stefania, Daniela, Esteban, Jamile, Mikaela y a mi pequeño Matías, son lo más importante para mí, alegran mis días con sus ocurrencias y cariño.

A mis primos Pamela y Galo, mis confidentes, gracias por creer en mí y brindarme palabras de aliento para culminar este proyecto.

A mi director de tesis Msc, Danilo Sarabia por su paciencia, apoyo y conocimientos para la elaboración de este proyecto final.

Stefania Tapuy

RESUMEN

El Ecuador, considerado como uno de los países con un índice de biodiversidad alto y una tenencia inigualable de recursos naturales es propenso a sufrir cambios significados de carácter antropogénico. Especialmente debido a las actividades hidrocarburiferas que buscan el bienestar económico y no consideran los daños ambientales que conllevan estas. Por ello el objetivo principal de esta investigación es analizar el potencial fitorremediador de las gramíneas en suelos contaminados por actividades petroleras esto con ayuda de una revisión bibliográfica minuciosa sobre casos exitosos de fitorremediación. Una vez obtenida esta información se planteó un enfoque exploratorio-cualitativo considerando dos variables importantes grado de contaminación y grado de eficiencia lo que en conjunto permitió abordar temas referentes a la creación de reformas que dan origen a la problemática abordada. Dado esto se determinó que en su mayoría y en dependencia del grado de afectación de las actividades hidrocarburíferas en los suelos de la Amazonía Ecuatoriana que es considerado perjudicial y en algunas ocasiones irremediable es posible, recomendable y eficaz la utilización de gramíneas para tratar suelos contaminados, especialmente especies como: *Panicum maximun*, *Brachiaria brizantha*, *Leersia hexandra* y *Eichhornia crassipes* que alcanzan niveles de remoción de hasta el 87% en diferentes tipos de hidrocarburos pesados o liviano, además, de poseer un periodo de tiempo aceptable en su efectividad, un coste de implementación relativamente bajo y un fácil manejo en comparación a otras técnicas de descontaminación.

Palabras claves

Contaminación, Hidrocarburos, Fitorremediación, Gramíneas.

ABSTRACT

Ecuador, considered as one of the countries with a high biodiversity index and an unequalled natural resource endowment, is prone to significant anthropogenic changes. Especially due to hydrocarbon activities that seek economic welfare and do not consider the environmental damage that these activities entail. Therefore, the main objective of this research is to analyse the phytoremediation potential of grasses in soils contaminated by oil activities with the help of a thorough literature review on successful cases of phytoremediation. Once this information was obtained, an exploratory-qualitative approach was used, considering two important variables, degree of contamination and degree of efficiency, which together allowed us to address issues related to the creation of reforms that give rise to the problems addressed. Given this, it was determined that, for the most part, and depending on the degree to which hydrocarbon activities affect the soils of the Ecuadorian Amazon, which is considered harmful and sometimes irremediable, it is possible, recommendable and efficient to use grasses to treat contaminated soils, especially species such as: Panicum maximun, Brachiaria brizantha, Leersia hexandra and Eichhornia crassipes that reach removal levels of up to 87% in different types of heavy or light hydrocarbons, besides, having an acceptable period of time in its effectiveness, a relatively low implementation cost and easy handling compared to other decontamination techniques.

Keywords

Contamination, Hydrocarbons, Phytoremediation, Grasses.

CONTENIDO

Páginas

DEDICATORIA v
DEDICATORIA vi
AGRADECIMIENTO vii
AGRADECIMIENTO viii
RESUMEN ix
ABSTRACT x
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN 1
1.1 Planteamiento del Problema 1
1.2 Objetivos 2
1.2.1 Objetivo General 2
1.2.2 Objetivos Específicos 2
1.3 Justificación 3
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 4
ANTECEDENTES 4
2.1 Área Natural Protegida 5
2.*2* Carga Contaminante 6
2.3 Desecho Peligroso 6
2.4 Desecho no Peligroso 7
2.5 Suelo 7
2.6 Erosión 7
2.7 Fertilidad del suelo 7
2.8 Factores indicativos de contaminación 7
2.9 Acidez y alcalinidad del Suelo 8
2.10 Criterios de Calidad del Suelo 8
2.11 Biorremediación 9
2.12 Petróleo 10
2.13 Efectos de los hidrocarburos en el suelo 11
2.14 Efectos de los hidrocarburos en la salud humana 11
2.15 Fitorremediación 11
2.16 Restauración Integral 12
2.17 Sustancias químicas peligrosas 12
2.18 Requerimientos para realizar fitorremediación 13
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA 14

3.1 Metodología de la Investigación 14
3.1.1 Localización 14
3.2 Tipo o Diseño de Investigación 14
3.2.1 Enfoque Exploratorio o cualitativo 14
3.2.2 Explotaría Investigación-Acción 15
3.2.3 Diseño Descriptivo de la Investigación 15
3.3 Métodos de Investigación 16
CAPÍTULO 4: RESULTADOS 18
4.1. Casos exitosos sobre fitorremediación en suelos contaminados. 18
4.2. Impacto producido por las actividades antropogénicas sobre el suelo en la Amazonía Ecuatoriana. 19
4.2.1. Sistemas Agroforestales para la recuperación de suelos contaminados con hidrocarburos. 20
4.3. Especies de gramíneas utilizadas en biorremediación. 24
4.3.1. Brachiaria brizantha y Panicum máximum. 24
4.3.2. Brachiaria mutica y Leptochloa fusca 26
4.3.3. Brachiaria mutica 27
4.3.4 Sorghum vulgare 28
4.4. Matriz de especies gramíneas utilizadas en la degradación de TPH 29
CONCLUSIONES 33
RECOMENDACIONES 34
REFERENCIAS 35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2. Factores Indicativos de Contaminación----------8
Tabla 2-2. Reacción Acidez-Alcalinidad----------8
Tabla 3-2. Valores Aproximados de Detección de Contaminantes.----------8
Tabla 4-2. Criterios de la Calidad del Suelo---------- 9
Tabla 5-2. Tipos de Biorremediación----------10
Tabla 6-2. Requerimientos para la Biorremediación ----------10
Tabla 7-2. Ventajas y desventajas de la fitorremediación como técnica remediadora----------13
Tabla 8-4. Biorremediación de suelo contaminado con 75000 ppm de aceite residual automotriz por doble y secuencial bioestimulación con solución mineral y Phaseolus vulgaris. ----------28
Tabla 9-4. Identificación de especies más representativas para la degradación de TPH, distribución geográfica y su nivel de eficiencia----------29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-3. Ubicación de Bloques Petroleros del Ecuador ----------14
Figura 2-4. Uso potencial agropecuario del suelo en la RAE----------20
Figura 3-4. Dinámica de crecimiento de: a) Phaseolus coccineus y b) tres especies de gramíneas crecidas en suelo contaminado y no contaminado. SNC= Suelo no-contaminado, SC=Suelo.--25
Figura 4-4. Cambios en el contenido de aceites en grasas y aceites en suelos contaminados, con y sin gramíneas ----------26
Figura 5-4. Porcentaje de eficiencia en la bioestimulación de tratamiento del suelo después de 93 días de haber empezado la bioestimulación.----------27
Figura 6-4. Efecto de la interacción petróleo x planta en el porcentaje de degradación de los hidrocarburos totales de petróleo a los 158 días. (■) = suelo sin planta, (□) =suelo con B. mutica, ( ) = suelo con L. leucocephala. ----------27
Figura 7-4. Biorremediación de suelo contamiando con 10000 ppm de aceite residual automotriz con lombricomposta al 3% y 6% y fitorremediación para eliminar el remanente con Sorghum vulgare inoculado con Bacillus cereus y Rhizobium etil.----------29

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

A nivel mundial, con el incipiente crecimiento tecnológico y energético los mismos que requieren una demanda considerable en la utilización de combustibles fósiles derivados del petróleo, se ha producido incontables "catástrofes" durante su extracción, procesamiento y distribución. Ya sea por causas como fenómenos naturales, fallas en el almacenamiento o por terceros, ocasionándose una contaminación del suelo, aire y agua; afectando a la salud humana y del ambiente.

En el Ecuador, sobre temas relacionados de contaminación de suelos por derrames de petróleo, no existe un tipo de información precisa que detalle todos los siniestros ocurridos y el grado de afectación que estos generan pese a ser un país que actualmente se mantiene en esta actividad. Por ello la contaminación proveniente de la actividad petrolera es un problema de alcance importante que precisa la atención de todos, desde organismo internacionales como nacionales además de la importancia que los mismos sean remediados con tecnologías que no impliquen un excesivo coste y una fácil manipulación para evitar que durante su remediación se vean afectados otros medios.

Dado esto, el uso de tecnologías que contemplen a la Biorremediación para tratar suelos contaminados es una opción que presenta una serie de ventajas respectos o otros métodos que son benéficos pero que implican algo más: (i) son sencillas de implementar; (ii) efectivas y ambientalmente seguras; (iii) los contaminantes se destruyen o transforman; (iv) no se requiere de tratamientos adicionales; (v) son relativamente económicos ($20 - 30 por cada barril). Una de las técnicas empleadas con el objetivo de biorremediar es la fitorremediación utilizando gramíneas las cuales poseen una amplia variedad de subespecies con una innumerable cantidad de propiedades benéficas y útiles en ámbitos; alimenticios, industriales, construcción, ambientales, ornamentales entre otros. Además, se les atribuye parte del avance de la sociedad en vista de que al ir descubriendo a esta gama vegetal los seres humanos han hecho de ella uso doméstico y agrícola, así como se observa actualmente ya que son muy requeridas dentro del campo ambiental por su acondiciamiento eficaz con otras especies y microorganismos y como se las demuestra en varios de los estudios realizados no solo en nuestro país donde su uso es primordial.

Entre las propiedades de estas plantas se encuentra la fitorremediación del suelo, esto se debe a la fibrosidad de sus raíces que se insertan en las rocas y esas partículas al caer a la superficie atribuyen minerales y solidifican. Lo que crea una capa que fortalece al suelo y lo vuelve resistente ante procesos de erosión natural como lluvia y vientos, además que una de sus especies como el pasto al poblar la tierra también le dan un espacio protegido para ralentizar la erosión. (Tovar, 1993)

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Analizar el potencial fitorremediador de gramíneas, en suelos contaminados por actividades petroleras en la Amazonía Ecuatoriana a través de una revisión bibliográfica.

1.2.2 Objetivos Específicos

1.- Revisar los contenidos bibliográficos de casos exitosos sobre la fitorremediación en los suelos contaminados por actividades hidrocarburiferas.

2.- Determinar el impacto producido por las actividades petroleras sobre el suelo en la Amazonía Ecuatoriana.

3.- Comparar los tratamientos de fitorremediación de suelos contaminados en la Amazonía Ecuatoriana.

1.3 Justificación

El nivel de contaminación ha incrementado considerablemente a lo largo de estos años por varios factores las cuales infieren en la alteración del suelo, como son: las guerras, industrialización, el crecimiento poblacional produciendo necesidades al hombre conllevando un elevado crecimiento agrícola como minero, artesano y demás, esto ha permitido evidenciar la afección en aire, suelos, agua, etc.

La Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2015), en su informe menciona que al menos el 33% de suelo a nivel mundial tiene altos niveles de contaminación y continúa degradándose por erosión natural y manipulada por los seres humanos por el consumo e industrias. El Ecuador, es un lugar el cual también ha tenido repercusiones sobre las actividades que producen mayor impacto en el suelo creando también un inmenso problema ambiental afectando a nuestro país con una estimación del 48%.

Según la investigación realizada por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (2000), el problema más importante que afecta a varios sectores principalmente al ambiental y agropecuario es la erosión desde una perspectiva ambiental ecológica como la socioeconómica para las diferentes actividades antropogénicas ocasionando perdidas irremediables.

"Por otro lado, la Amazonia ecuatoriana es una de las regiones más afectadas, tanto por la minería como por la explotación petrolera en las provincias de Orellana, Sucumbíos Napo y Pastaza, que han llegado a afectar todo en un 22% de estas áreas en la cual las soluciones que aplicaron con las leyes que dictaron su sentencia fue remediar solo un 69,60% el suelo". (Pérez, 2015)

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

ANTECEDENTES

Según Mandujano (2019), en su evaluación realizada para saber el grado de contaminación que las petroleras dejan con sus actividades, primero revisaron la normativa del uso del suelo para definir el grado de prioridad para realizar una biorremediación, cabe resaltar que esta investigación es de tipo no experimental, sin embargo sus resultados muestan zonas de nivel alto a medio de contaminación en áreas pertenecientes a protección ecológica.

En el trabajo realizado por Jimenez (2020) destaca la contaminaciòn por industrias petroleras en la provincia de Orellana, causando contaminaciòn tanto el medio acuatico como en el suelo, y de acuerdo a la revisiòn bibliográfica demostro la eficiencia de la biorremediación por bacteria y hongos, como resultado obtenido la especie de hongo mas efectiva es lla *Pleurotus ostreatus* que degrada los hidrocarburos en un tiempo de 2 meses con concentraciones aproximadas de 107239.48 mh/Kg-1, por el lado de las bacterias destacan las *Bacillus* y *Pseudomonas,* que tienen un porcentaje de degradación del 95%, por otra parte tambien esta el *Exiquobacterium profundum* que tiene 88% de degradación en concentraciones aproximadas de 2729.22 mg/Kg-1.

Dentro del estudio de Coyago (2020) donde se determino la bioacumulaciòn de organoclorados en suelos de actividades agrícolas con el fin de conocer que especie es la más idonea para realizar la bioacumulación de contaminantes, para las cuales se utilizaron las especies *Lactuca sativa l y Medicago sativa,* que como resultados que estas especies acumulan aproximadamente 0.0002 mg/Kg , pues llego a la conclusión con estos resultados que la fitorremediación mediante plantas es una práctica factible para suelos de medio a alto nivel de contaminación.

El objetivo del trabajo de Catagña (2016) fue evaluar la capacidad de fitorremediación de tres especies de gramíneas: Guinea *(Panicum maximun)*, Marandú *(Brachiaria brizantha)* y Mombaza *(Panicum maximun)*, en suelos contaminados con hidrocarburos en la comunidad de Flor del Pantano, Provincia de Orellana. Una vez delimitada el área de estudio, se realizó un análisis de la concentración en el suelo de 5 metales pesados, cadmio, plomo, cobalto, mercurio y cromo total. Los resultados mostraron que cuatro de ellos cumplieron con los valores máximos permitidos, en contraste con el cromo

total que superó los valores. Las especies introducidas crecieron durante 3 meses (90 días), luego de este período se realizó un análisis del cromo total en el suelo, con el fin de conocer la capacidad de extracción del contaminante de cromo total en las diferentes pruebas.

2.1 Área Natural Protegida

Según el Ministerio del Ambiente (2015) el Ecuador está dividido en: Costa, Sierra, Oriente, Amazonía, Galápagos, en cada una de ellas existen espacios considerados vulnerables por lo cual se encuentran en un listado de protección, estos son algunos de ellas: Reserva Ecológica EL Ángel, Geobotánica Pululahua, Colonso Chalupas, Parque Nacional Cajas, Sangay, Parque Nacional Galápagos y Reserva Marina Galápagos, Reserva Ecológica Arenillas, Manglares Cayapes Mataje, y en la Amazonia tenemos a:

- Reserva Ecológica Cofán
- Reserva Ecológica Cofán Bermeo
- Reserva Ecológica El Quimi
- Refugio de vida silvestre El Zarza
- Parque Nacional Sumaco Napo-Galeras, entre otras

Según el Sistema Nacional de las áreas protegidas basado en la Constitución, en el Título 7 del Régimen del buen vivir, el Capítulo II, donde se trata sobre la Biodiversidad y recurso naturales. Sección III, del Patrimonio natural y ecosistemas, plantea que:

Art. 404.- El patrimonio natural del Ecuador único e invaluable comprende, entre otras, las formaciones físicas, biológicas y geológicas, cuyo valor desde el punto de vista ambiental, científico, cultural o paisajístico exige su protección, conservación, recuperación y promoción.

Su gestión se sujetará a los principios y garantías consagrados en la Constitución y se llevará a cabo de acuerdo al ordenamiento territorial y una zonificación ecológica, de acuerdo con la ley.

Art. 405.- EI sistema nacional de áreas protegidas garantizará la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de las funciones ecológicas. El sistema se integrará

por los subsistemas estatal, autónomo descentralizado, comunitario y privado, y su rectoría y regulación será ejercida por el Estado. El Estado asignará los recursos económicos necesarios para la sostenibilidad financiera del sistema, y fomentará la participación de las comunidades, pueblos y nacionalidades que han habitado ancestralmente las áreas protegidas en su administración y gestión.

Las personas naturales o jurídicas extranjeras no podrán adquirir a ningún título tierras o concesiones en las áreas de seguridad nacional ni en áreas protegidas, de acuerdo con la ley.

Art. 406.- El Estado regulará la conservación, manejo y uso sustentable, recuperación, y limitaciones de dominio de los ecosistemas frágiles y amenazados; entre otros, los páramos, humedales, bosques nublados, bosques tropicales secos y húmedos y manglares, ecosistemas marinos y marinos-costeros.

Art. 407.- Se prohíbe la actividad extractiva de recursos no renovables en las áreas protegidas y en zonas declaradas como intangibles, incluida la explotación forestal. Excepcionalmente dichos recursos se podrán explotar a petición fundamentada de la Presidencia de la República y previa declaratoria de interés nacional por parte de la Asamblea Nacional.

2.*2* Carga Contaminante

Fonfría, Sans, y Ribas, 1989 en su libro de Ingeniería Ambiental: Contaminación y tratamientos mencionan que existen tipos de contaminación de acuerdo a su composición es el nivel de daño que produce, por ejemplo los desechos sólidos son más fáciles de erradicar a diferencia de los líquidos porque son absorbidos por el espacio donde fueron aplicados de forma directa e indirecta, además las dimensiones que alcanza son mayores, el contenido tóxico es referente al tipo de contaminante que se ocupe de acuerdo al objetivo.

2.3 Desecho Peligroso

Los desechos peligrosos pueden ser líquidos, sólidos o gaseosos y son aquellos que por sus propiedades tóxicas, corrosivas, no reciclables, considerados no aptos para consumo humano ni de ninguna otra especie, puede ser altamente riesgosos para la vida ya sea por contacto directo o indirecto, el directo con las personas que los manipulan e

indirecto si algún elemento fue contaminado y se hace uso de este desconociendo sus facultades dañinas para el medio ambiente (Martínez, 2005).

2.4 Desecho no Peligroso

Son residuos de material que fue utilizado con alguna finalidad de tipo industrial u otros motivos, no se le considera mortal, puede ocasionar malestar leve, este puede convertirse en peligroso, sin embargo, su principal característica es que no tiene mayor nivel de toxicidad como para considerarse letal, se los puede encontrar en casi todos los espacios, estos al igual que los desechos peligrosos se los puede encontrar en diferentes estados, algunos pueden ser perecederos o no. (Anon, 2018)

2.5 Suelo

Según (MAE, 2015) define al suelo como: Una capa superficial de la corteza terrestre, situada por sobre el sustrato rocoso, integrada por partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos, que cumple tanto funciones naturales como de uso.

2.6 Erosión

Es la eliminación del material o la superficie de la tierra por acciones físicas, químicas y biológicas como el viento, el agua, prácticas agropecuarias, residuales o desarrollo industrial, que como consecuencia produce una pérdida de masa y por lo tanto una disminución de volumen o tamaño. (Marqués, 1996)

2.7 Fertilidad del suelo

Capacidad de producción del suelo para sustentar el crecimiento de las plantas y mejorar la optimización y el rendimiento de los cultivos, gracias a la disponibilidad equilibrada de los elementos químicos, microorganismo y otros factores. (Andrades, 2014)

2.8 Factores indicativos de contaminación

Para que se genere la contaminación del suelo existe una serie de indicadores los cuales poseen cierta calificación o catalogación las cuales nos permiten otorgarle un resultado

final en este caso obtener el grado de perturbación que se generara por medio de estos factores. Así como se menciona en la siguiente tabla.

Tabla 1-2. Factores Indicativos de Contaminación

Factor de contaminación (Concentración presente / valor de fondo)	**Grado de perturbación**	**Denominación**
< 1,5	0	Cero o perturbación Insignificante
1,5 – 3,0	1	Perturbación Evidente
3,0 – 10,0	2	Perturbación Severa
>10,0	3	Perturbación muy severa

Fuente: (MAE, 2015)

2.9 Acidez y alcalinidad del Suelo

Tabla 2-2. Reacción Acidez-Alcalinidad

PH	**Rango**
Muy fuertemente ácido	**Menor a 4,5**
Fuertemente ácido	**4,6 a 5,5**
Medianamente ácido	**5,6 a 6**
Ligeramente ácido	**6,1 a 6,5**
Neutro	**6,6 a 7,3**
Ligeramente Alcalino	**7,4 a 7,8**
Moderadamente Alcalino	**7,9 a 8,4**
Fuertemente Alcalino	**8,5 a 9**
Muy fuertemente Alcalino	**Mayor a 9,1**

Fuente: (MAE, 2015)

2.10 Criterios de Calidad del Suelo

Son valores de fondo a aproximados o conocidos como limites analíticos de detección para un contaminante en el suelo. Estos valores representan

Tabla 3-2. Valores Aproximados de Detección de Contaminantes.

Sustancia	Unidades (Concentración en Peso Seco)	Suelo
Parámetros Generales		
Conductividad	mmhos/cm	2
pH		6 a 8
Relación de Adsorción de		4 *

Sodio (Índice SAR)		
Parámetros Inorgánicos		
Arsénico (inorgánico)	mg/kg	5
Azufre (elemental)	mg/kg	250
Bario	mg/kg	200
Boro (soluble en agua caliente)	mg/kg	1
Cadmio	mg/kg	0.5
Cobalto	mg/kg	10
Cobre	mg/kg	30
Cromo Total	mg/kg	20
Cromo VI	mg/kg	2.5
Cianuro (libre)	mg/kg	0.25
Estaño	mg/kg	5
Flúor (total)	mg/kg	200
Mercurio	mg/kg	0.1

Fente: (MAE, 2015)

Tabla 4-2. Criterios de la Calidad del Suelo

Sustancia	Unidades (Concentración en peso seco de suelo)	Valor
Parámetros Generales		
Conductividad	uS/m	200
pH		6a8
Relación de adsorción		4*
Hidrocarburos totales (TPH)	mg/kg	<150
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) cada tipo	mg/kg	0.1

Fuente: (MAE, 2015)

2.11 Biorremediación

La técnica de Biorremediación implica esencialmente el uso de microorganismos ya sean estos autóctonos y exógenos como: bacterias, hongos, plantas entre otros las cuales poseen un potencial metabólico capaz de desintoxicar y neutralizar materiales tóxicos que fueron introducidos accidentalmente o no en el ambiente, transformándolas en sustancias menos nocivas capaces de eliminarlas por otros métodos más complejos, es una técnica que permite aumentar los niveles aeróbicos de la degradación el cual es considerado como un proceso natural del mismo. (Muñoz, 2016)

Tabla 5-2. Tipos de Biorremediación

TIPO	DEFINICIÓN
FITORREMEDIACIÓN	Utiliza plantas para remover, absorber y tolerar altas tasas de materiales tóxicos para descontaminar y limpiar ambientes.
MICRORREMEDIACIÓN	Emplea hongos capaces de degradar sustancias toxicas, estos organismos pueden ser autóctonos o exógenos del lugar.
FICORREMEDIACIÓN	Remoción de contaminantes mediante el uso de algas.
DEGRADACIÓN ENZIMÁTICA	Usa enzimas producidas por ciertos organismos anticipadamente, para la degradación de sustancias nocivas.

Fuente: Adaptado de (ArgenBio, 2007) (Morales, 2014)

Tabla 6-2. Requerimientos para la Biorremediación

Requerimientos Microbianos	Fuente de alimento o carbono, aceptores y donadores de electrones, nutrientes (N, P, S, Mg, K, Ca, Mn, Zn, Cu, Zn), elementos traza.
Requerimientos Geográficos	Examinación del tipo y número de colonias existentes en el lugar, aptos para biorremediación, condiciones geológicas y geoquímicas, presencia de otro elemento contaminante al que se quiere remediar, la cantidad suficiente de oxígeno
Otros requerimientos	Examinación del tipo y número de colonias existentes en el lugar, aptos para biorremediación, condiciones geológicas y geoquímicas, presencia de otro elemento contaminante al que se quiere remediar, la cantidad suficiente de oxígeno.

Fuente: Adaptado de (Buendia, 2012)

2.12 Petróleo

(Repsol, 2015) define al petróleo como un líquido viscoso, de color verde marrón o negro, densidad comprendida entre 0,66 g/ml y 0,9785 g/ml, constituido por diferentes hidrocarburos (parafinas, aromáticos y naftalenos).

No obstante, (Pozo, 2018) menciona que el petróleo es uno de los recursos naturales más utilizados como fuente de energía no renovable, se forma por la degradación anaerobia de la materia orgánica a lo largo del tiempo y en distintas condiciones ambientales.

2.13 Efectos de los hidrocarburos en el suelo

Las principales consecuencias ambientales producidas por un evento de contaminación de hidrocarburos en el suelo, es la reducción o contención del desarrollo de la cobertura vegetal, la contaminación por infiltración de cuerpos de agua subterráneos, y también ocasiona cambios en la dinámica poblacional de la fauna y la biota microbiana. (Pardo, 2014)

Sin embargo, (Contreras, 2018) menciona que otro de los efectos que ocasiona los hidrocarburos en el suelo es la disminución del rendimiento de los cultivos, también impide el intercambio gaseoso con la atmósfera provocando una serie de procesos físico-químicos simultáneos, y envenenamiento a través de la cadena alimentaria.

2.14 Efectos de los hidrocarburos en la salud humana

Los compuestos en diferentes fracciones de los hidrocarburos totales del petróleo afectan en gran parte a la salud humana, especialmente los compuestos como el benceno, tolueno y xileno afectan el sistema nervioso. Por otra parte, estar expuesto a altas cantidades puede ser fatal, ya que la inhalación de benceno (100 ppm) durante varias horas provoca fatiga, dolor de cabeza, adormecimiento y náusea, sin embargo, estar expuestos durante un tiempo prolongado provoca daños permanentes en el sistema nervioso central. (ATSDR, 2016)

Por otra parte, (Solá, 2018) menciona que los hidrocarburos aromáticos pueden causar efectos agudos y crónicos en el organismo produciendo cefalea, mareo, náuseas, desorientación, confusión e inquietud.

2.15 Fitorremediación

Es una tecnología disponible como táctica de rehabilitación en lo que refiere a la desintoxicación del agua o suelo que se haya producido alguna alteración de algún contaminante (Wang, L., Ji, B., Hu, Y., Liu, R., & Sun, W., 2017). Aplicando las

especies de plantas con una elevada capacidad Para ello se emplean las capacidades potenciales de las plantas, las cuales pueden absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o tolerar algunos contaminantes desde el suelo absorbiendo desde sus raíces, tallos y hojas (Cameselle, C., & Gouveia, S, 2019).

Del mismo modo, la fitorremediación se fundamenta en los procesos que ocurren naturalmente por los cuales las plantas y los microorganismos rizosféricos degradan y secuestran contaminantes orgánicos e inorgánicos (Lin, Y. & Kunli, B., 2016). Las vegetaciones también ayudan a impedir que el viento, la lluvia y las aguas subterráneas extiendan la contaminación a otras zonas

La fitorremediación como técnica biológica consiste llevar a cabo la descontaminación de suelos o la depuración de aguas residuales, debido a la capacidad restauradora de algunas plantas. Dicha técnica engloba un conjunto de métodos encargados de degradar, asimilar, metabolizar o detoxificar contaminantes; mediante tratamientos in situ (Mahar, A., Wang, P., Ali, A., Awathi, M.K., Lahori, A., Wang, Q., Li, R. & Zhang, Z. , 2016).

2.16 Restauración Integral

Es un derecho de la naturaleza por medio del cual, cuando ésta se ha visto afectada por un impacto ambiental negativo o un daño, debe ser retornada a las condiciones determinadas por la autoridad ambiental que aseguren el restablecimiento de equilibrios, ciclos y funciones naturales. Igualmente implica el retorno a condiciones y calidad de vida dignas, de una persona o grupo de personas, comunidad o pueblo, afectados por un impacto ambiental negativo o un daño. (MAE, 2015)

2.17 Sustancias químicas peligrosas

Son aquellos elementos compuestos, mezclas, soluciones y/o productos obtenidos de la naturaleza o a través de procesos de transformación físicos y/o químicos, utilizados en actividades industriales, comerciales, de servicios o domésticos, que poseen características de inflamabilidad, explosividad, toxicidad, reactividad, radioactividad, corrosividad o acción biológica dañina y pueden afectar al ambiente, a la salud de las personas expuestas, o causar daños materiales. (MAE, 2015)

2.18 Requerimientos para realizar fitorremediación

Las plantas fitorremediadoras no deben ser comestibles, presentar un ciclo de vida (formando una gran cantidad de biomasa en un tiempo corto), ser fácilmente recolectables, gozar de tolerancia a uno o varios contaminantes y poseer un extenso rango de absorción de estos. En cuanto a sus condiciones de supervivencia, deben perdurar en un rango de pH entre 4 y 8, sobrellevar temperaturas entre 5 y 35 °C y según la zona de aplicación soportar los factores climáticos que se presenten (Carrillo Niquete, G., Andrade, J. L., Hernández Terrones, L., & Cobos Gasca, V. , 2015).

Tabla 7-2. Ventajas y desventajas de la fitorremediación como técnica remediadora

Ventajas	Desventajas	Fuente
Las plantas pueden ser utilizadas como bombas extractoras para depurar suelos y aguas contaminadas	El proceso se limita a la profundidad de penetración de las raíces o a aguas poco profundas	Zhou et al. (2015); Shen et al. (2013)
La fitorremediación es método apropiado para descontaminar superficies grandes o para finalizar la descontaminación de áreas restringidas en plazos largos	La fitotoxicidad es un limitante en áreas fuertemente contaminadas. Riesgo para la cadena alimenticia, si se eligen especies utilizadas como fuente de alimento	Harvey et al. (2002); Thakur et al. (2016)
La fitorremediación es una metodología con buena aceptación pública	Los tiempos del proceso pueden ser muy prolongados	Ibañez et al. (2016); Gerhardt et al. (2007)
La fitorremediación genera menos residuos secundarios	Se requiere comprender mejor la naturaleza de los productos de degradación (fitodegradación)	Rezania et al. (2015)
Las plantas emplean energía solar. El tratamiento es in situ	No todas las plantas son resistentes a crecer en presencia de contaminantes	Weyens et al. (2015); Fawzy et al. (2012)

Fuente: (Velásquez, 2017)

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

3.1 Metodología de la Investigación

3.1.1 Localización

La zona geográfica en la que se realizó la investigación corresponde a la amazonia ecuatoriana, ya que es la región con mayor cantidad de bloques petroleros del país (Figura 1-3) y que de acuerdo a las publicaciones establecidas sobre derrames de petróleo y siniestros del Ecuador (Chevron, 2021) las provincias amazónicas que presentan mayor problema son: Sucumbíos con un 66.67% de afectación, Orellana con un 25% de afectación y Napo con un 8.33% de afectación.

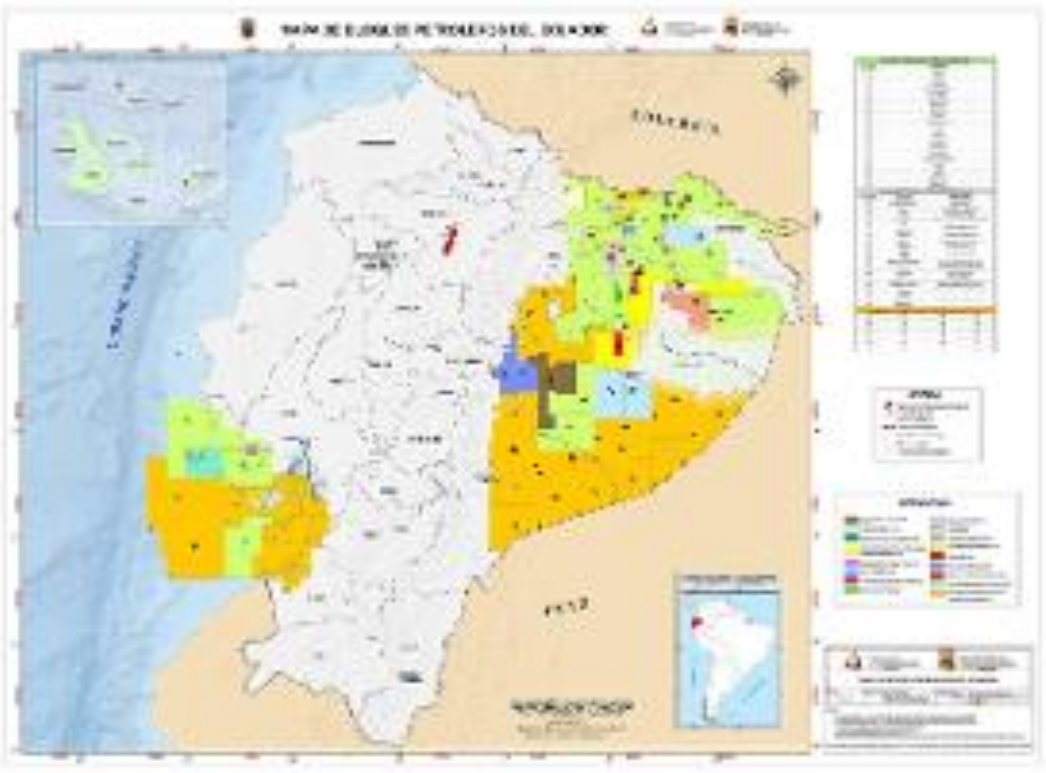

Figura 1-3. Ubicación de Bloques Petroleros del Ecuador

Fuente: Secretaría de Hidrocarburos (2018)

3.2 Tipo o Diseño de Investigación

3.2.1 Enfoque Exploratorio o cualitativo

El presente trabajo de investigación tiene un enfoque cualitativo, ya que de acuerdo a Barbour (2013), la primera etapa durante elaboración de una investigación, es recabar

información no cuantificable y describir las cualidades de un hecho o fenómeno a través de la proximidad empírica que brinda esta metodología

La información obtenida para el desarrollo de la investigación se basó en las siguientes variables que se identificaron durante el planteamiento del problema:

Variable 1: Contaminación de los suelos

Variable 2: Eficiencia de los métodos de fitorremediación

3.2.2 Exploratoria Investigación-Acción

Dentro de los diseños del enfoque cualitativo mencionados por Salgado (2007), la presente investigación pertenece al tipo Investigación-Acción, debido que esta se centra en contribuir con información que ayuda a obtener la toma de decisiones para programas, procesos y reformas estructurales, además la metodología cualitativa es la mejor para el estudio de los entornos naturales.

Los datos obtenidos para el análisis de la presente investigación, se la realizó mediante el uso y recopilación de información bibliográficos en relación a la problemática del origen de la contaminación de los suelos como resultado de las diferentes actividades que realiza el ser humano en la amazonia ecuatoriana

3.2.3 Diseño Descriptivo de la Investigación

La característica del diseño que presenta la investigación corresponde a un diseño Descriptivo Comparativo, debido a que se trata de comprender cosas desconocidas a partir de las conocidas, la posibilidad de explicarlas e interpretarlas, perfilar nuevos conocimientos, destacar lo peculiar de fenómenos conocidos, sistematizar la información distinguiendo las diferencias con fenómenos o casos similares (Gómez & De la Garza. 2014)

La técnica aplicada con este tipo de diseño, fue mediante la comparación de los resultados de descontaminación por fitorremediación aplicados en la amazonia y poder determinar la eficiencia de descontaminación que presenta cada metodología

3.3 Métodos de Investigación

Una vez definido el diseño de investigación y establecido las variables del problema, el presente estudio plantea la siguiente metodología para cumplir con los objetivos establecidos:

- Para el cumplimiento del primer objetivo "*Establecer los casos exitosos sobre la Fitorremediación en los suelos contaminados"*, se utilizó información bibliográfica como: Uso de *Panicum maximun* y *Brachiaria brizantha* para fitorremediar suelos contaminados con un crudo de petróleo liviano realizado por Valencia & Marger (2003); Uso de *Leersia hexandra* (Poaceae) en la fitorremediación de suelos contaminados con petróleo fresco e intemperizado, realizado por Arias *et al* (2017); Evaluación técnico-financiera del proceso de fitorremediación con plantas gramíneas para mitigar derrames de crudo en el departamento del Meta, Colombia, realizado por Castaño (2018), y Fitorremediación de suelo agrícola contaminado con cadmio con la especie *Eichhornia crassipes* (mart.) Solms, en la cuenca baja del río Guayas, desarrollado por Zúñiga (2020).

- Para el cumplimiento del segundo objetivo "*Determinar el impacto producido por las actividades antropogénicas sobre el suelo en la Amazonía Ecuatoriana"*, se utilizó información bibliográfica del Estudio realizado por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias con la investigación sobre Fragilidad de los suelos en la Amazonía ecuatoriana y potenciales alternativas agroforestales para el manejo sostenible (Vargas *et al*. 2018) y la información sobre Derrames de petróleo y siniestros en Ecuador Durante los últimos 25 años emitido por Juicio Crudo (Chevron, 2021)

- Para el cumplimiento del tercer objetivo "*Comparar los tratamientos de fitorremediación de suelos contaminados en la Amazonía Ecuatoriana",* se revisó los siguientes criterios:

1.- Descripción de las especies de gramíneas utilizadas en fitorremediación. - Se describen las características biológicas (taxonomía, hábito, distribución geográfica, entre otras) de cada especie y la ubicación de adsorción o retención del contaminante en sus estructuras.

2.- Tiempo de crecimiento. - Se describe el tiempo que cada especie utilizada en el tratamiento se demora en crecer tomando en cuenta el número de individuos por área a remediar.

3.- Relación de eficiencia. - Se tomó en cuenta la eficiencia de remediación de cada especie de gramínea en relación a los días de remediación del contaminante

4.- Costos de aplicación. - Se tomó en cuenta los costos de cada especie por hectárea de remediación

5.- Verificar los resultados con la normativa Ambiental. - Se realizó la comparación de los valores de reducción de contaminante de cada una de las especies de gramíneas utilizadas con los Criterios de Remediación (Valores máximos permisibles) del Parámetro Hidrocarburos Totales (TPH), establecido en el Acuerdo Ministerial 097 (MAE, 2015)

Con la aplicación de estos criterios se seleccionó las gramíneas con potencial en fitorremediación para suelos de la Amazonía Ecuatoriana, mediante la creación de matrices de relación.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

4.1. Casos exitosos sobre fitorremediación en suelos contaminados.

En el estudio realizado por Hernández-Valencia y Mager (2003), utilizaron dos especies de gramíneas *Panicum maximum* y *Brachiaria brizantha* para fitorremediar un suelo contaminado levemente con un hidrocarburo de petróleo liviano a una concentración del 3%. Pese a que se produjo un fuerte impacto en la producción de biomasa radical y foliar de ambas plántulas, a los 240 días estas gramíneas alcanzaron una reducción de la contaminación en relación a los suelos control carentes de vegetación. Con esto se demostro que *Panicum maximun* y *Brachiaria brizantha* tienen la capacidad para fitorremediar suelos contaminados con hidrocarburo de petróleo livianos, menor o igual al 3%, donde estas especies pueden lograr una recuperación pasiva, efectiva, y estéticamente agradable del terreno.

Arias, et al., (2017) demostraron la capacidad de la especie *L. hexandra* a fitorremediar Gleysoles con petróleo fresco e intemperizado en ambientes tropicales inundadas de desarrollar una rizosfera con alta densidad de bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre totales y producir biomasa vegetal en dichas condiciones. El porcentaje de descontaminación de hidrocarburos alcanzó valores del 66 % al 87 % en hidrocarburos totales de petróleo fresco como hidrocarburos totales de petróleo intemperizado a los seis meses, respectivamente.

Castaño (2018) evaluo la capacidad de fitorremediación a un miembro de la especie vegetal de las gramíneas, *Brachiaria brizantha*, utilizando dos tipos de crudos con diferentes gravedades API, denominados “Crudo Acacias” y “Crudo Castilla”. Como resultado se confirmó la factibilidad de un proceso de fitorremediacióren con esta especie vegetal, con la capacidad de remediar crudos de gravedades API entre 15° y 20° a partir del 80% de reducción en promedio de hidrocarburos en los suelos estudiados. Sin embargo, se recomienda un lapso de tiempo mínimo de 4 meses junto con adición de fertilizante y considerando el estado de madurez de la planta al ser plantada.

Zúñiga (2020) reportó un caso de remoción de cadmio en suelo contaminado con la especie *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms o mejor conocida como flor de agua. En este estudio se observa una excelente respuesta a concentraciones elevadas de cadmio por parte de la especie en cuestión, debido a su adaptabilidad en los sustratos, logrando

una reducción del 23.63% durante 62 días. Por lo que se concluyó que la especie *E. crassipes* tiene capacidad fitorremediadora de suelos contaminados con cadmio en concentraciones de 4 mg/kg y 8 mg/kg, debido a que sí acumula el metal pesado en su estructura radicular, en su estructura aérea es menor a 100 mg/kg por lo que no la convierte en una especie hiperacumuladora en sustrato.

En este mismo contexto, se cuenta con un estudio que consideró suelos contaminados de la provincia de Orellana, evaluó la eficacia de la bioaumentación, la bioestimulación y la fitorremediación. Para ello, se realizó una primera caracterización de los parámetros físicos y químicos, que reveló lo siguiente: HAPs de 0,3, TPH de 1586,33 mg/kg, Cd de 2,32 mg/kg y Pb de 90,87 mg/kg. Para llevar a cabo esta investigación, se introdujeron en el suelo en cuestión, microorganismos con capacidad para degradar el suelo contaminado con hidrocarburos mediante la técnica de bioaumentación. La técnica de bioestimulación incluyó la agregación de aserrín, cáscaras de cítricos, aireación manual y agregación de agua tres veces por semana, además de la implementación de un invernadero. Los análisis finales del suelo revelaron concentraciones de TPH de 384,28 mg/kg, concentraciones de Cd de 0,79 mg/kg, y concentraciones de Pb de 27,01 mg/kg, lo que corresponde a una reducción de 75,7 %, 65,95 %, y 70,27 %, respectivamente, lo que indica que el uso de la bioestimulación y la fitorremediación permite la remediación efectiva de suelos contaminados con hidrocarburos (Veloz, y otros, 2015).

4.2. Impacto producido por las actividades antropogénicas sobre el suelo en la Amazonía Ecuatoriana.

Las técnicas agroforestales son alternativas con un gran potencial para asegurar el manejo sostenible y prevenir el deterioro de los suelos de la Amazonía debido a su fragilidad. El 52,7% del uso de suelo de la Amazonía tiene un alto potencial para un uso forestal, ya que contando con el 25,6% utilizado para bosques protegidos por el SNAP y la superficie que es orientada hacia otros usos; esto da un total de 82% de uso que no son aptos para las actividades productivas como lo son las de tipo agrícolas, pecuarias o afines.

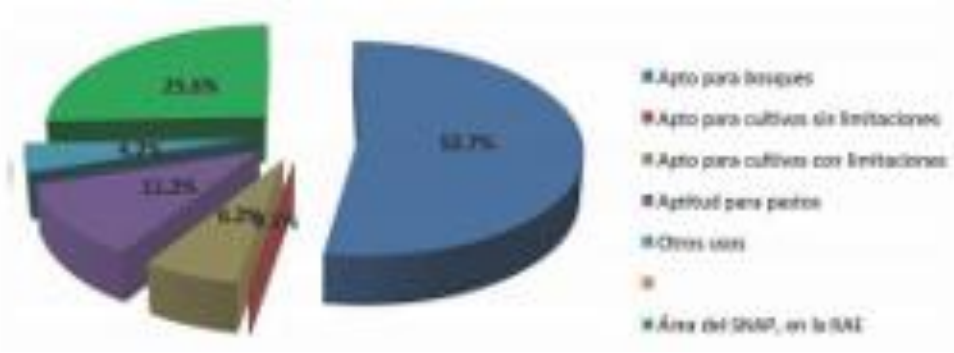

Figura 2-4. Uso potencial agropecuario del suelo en la RAE

Fuente: Tomado de Nieto y Caicedo, 2012

Las actividades de explotación petrolera representan los principales ingresos económicos al estado, pero estos a su vez generan graves impactos en los suelos de la Amazonía ecuatoriana; afectando directamente a la biodiversidad de la región. Para lograr la extracción del crudo de petróleo es necesaria la deforestación, a causa de la apertura de trochas y caminos. Por lo que la población ve como una fuente de recursos económicos la explotación maderera por lo que estos se a las zonas boscosas para su explotación. Otro de los impactos indirectos es la caza y la pesca en estas nuevas zonas de acceso, lo que pone en riesgo la fauna tanto terrestre como acuática. Además, de los desechos peligros que genera esta actividad como son: metales pesados, sustancias radioactivas, y otros elementos contaminantes que a mayor profundidad de extracción del crudo contienen niveles más altos de toxicidad.

A causa de las actividades antropogénicas han provocado una deforestación anual promedio entre los años de 2000 -2008 de 19778.0 ha.año^{-1} (MAE, 2011 obtenido de (INIAP, 2018)) y las principales amenazas que causas la pérdida de los recursos forestales siguen siendo: la alteración y fragmentación de los ecosistemas y hábitats, la sobre explotación de la flora silvestres y la introducción de especies, contaminación ambiental, la escasa atención a temas de deforestación y los factores socioeconómicos de los habitantes de la zona. Ya que los sistemas forestales actuales generan presión sobre los bosques de tipo primario lo que favorece a la deforestación.

4.2.1. Sistemas Agroforestales para la recuperación de suelos contaminados con hidrocarburos.

Caso 1: Agroforestería Sostenible en la Amazonía Ecuatoriana

La Amazonía ecuatoriana corresponde al 48% del territorio nacional del país, en el cual presenta una gran biodiversidad y tienen un alto potencial para un desarrollo sostenible; que, a causa de las actividades de explotación minera y petroleras sin bases sostenibles, son una importante limitante en su desarrollo. Los sistemas Agroforestales pretenden la generación de diversos productos en forma secuencial, sirven como corredores biológicos de flora y fauna, permite el almacenamiento y captura de carbono, promueve la generación de microclimas para el desarrollo sostenible de cultivos y animales, minimiza la erosión del suelo, garantiza el reciclaje de nutrientes y la fertilización del suelo en especial cuando se usan árboles leguminosos, entre otros.

Algunos sistemas agroforestales presentes en la Amazonía con un alto potencial sostenible son los cultivos de café con maderables, frutales y árboles de servicios; cacao con maderables y árboles de servicio, cultivos anuales en callejones con árboles de servicios, pasturas, etc. Entre los cultivos de cacao y café las especies que brindan un servicio de sombra son las especies de *Schizolobium parahybum, Bactris gasipaes, Musa paradisíaca, Annona muricata, Psidium guajava Cedrus sp, Capirona decorticans, Laurus nobilis, Myroxylon pereirae, Swietenia macrophylla*; esta diversificación de especies permiten la conservación de la biodiversidad y un manejo sostenible de las actividades agrícolas, además, este proyecto las familias tienen un ingreso de $576 dólares, lo que además brinda un soporte de seguridad alimentaria a las familias de la zona (AFAM, CATIE, & INIAP, 2012-2013).

Caso 2: Agroforestería Sostenible en la microcuenca del río Pacayacu

El programa de Reparación Ambiental y Social PRAS brinda asesoramiento técnico a las actividades ejecutadas por PETROAMAZONAS; en cuanto a la contaminación remediación y rehabilitación de las zonas del Pacayacu afectadas por las actividades hidrocarburíferas; asimismo, PRAS en el 2015 al 2018 empezó con la ejecución del Proyecto de restauración de Manejo Integrado a Escala de Paisaje, en el que se intenta recuperar las zonas de la microcuenca del Pacayacu; el cual pretende eliminar las fuentes de contaminación de aquellas fincas que son beneficiarias de PETROAMAZONAS EP. y la implementación de sistemas agroforestales para la restauración de suelo degradado.

Las subclases de suelo IV y V de la Amazonía son aptos para la implementación de sistemas agroforestales, ya que en estos se encuentran cultivos permanentes, pastos y de

aprovechamiento forestal; debido a que su uso de suelo es limitado por agricultura a causa de su limitado tipo de suelo y drenaje; son las zonas correspondientes a las terrazas de los ríos Cuyabeno y Aguarico. La implementación de estos sistemas agroforestales permitirá la protección de las especies semipermanentes y permanentes de la zona, y la protección de aquellas especies que no pueden ser explotadas. Además, este tipo de sistemas está orientado también hacia la conservación de los suelos que no han sido intervenidos.

El Proyecto se planteó la eliminación de las zonas abandonadas como plataformas, piscinas, campamentos, etc. utilizados para las actividades petroleras que ocasionan un impacto significativo en la estructura del suelo. El proceso metodológico para la ejecución del Proyecto de restauración ecológica es la recuperación de la cobertura vegetal para promover el establecimiento y germinación de las semillas propias de los bosques de la Amazonía; para ello las semillas serán recolectadas y germinadas para después ser trasplantadas en las zonas afectadas. Para evitar que la aparición de depredadores de semillas en los pastizales, estos deberán ser eliminados para la posterior recolección de semillas.

El proceso de rehabilitación del bosque se estima entre 3 a 10 años, en el cual se incluyen las fases de implementación y monitoreo; y se espera que a futuro el bosque siga su proceso natural de restauración completa a largo tiempo. Así como también se plantearon el establecimiento de programas de modelados de nicho ecológico y el planeamiento de técnicas para la recuperación de interacciones animal - planta. Por medio de este proyecto se pretende mejorar los sistemas productivos de café, cacao y pastos en función de las necesidades de los productores; la mitigación del cambio climático por la fijación del carbono a través de la recuperación de la cobertura vegetal y forestal, además de la recuperación de las cercas vivas, plantación de linderos e incorporación de sombra; y la restauración del suelo con la siembra de gramíneas y leguminosas que van a servir de alimento para los animales lo cual ayuda a mejorar los aspectos físicos, químicos y biológicos del suelo (MAE, 2015).

Caso 3: Plan Integral Para la Amazonía.

La Amazonía aporta con el 48% de la superficie total nacional en sistemas agroforestales y la provincia de Zamora Chinchipe autorizó el 78% de su superficie sea destinada a bosques nativos y en la provincia de Orellana se autorizó que el 53,02% sea

destinado a los sistemas agroforestales. La implementación de alternativas como los sistemas agroforestales en zonas degradas por la deforestación, expansión de monocultivos, producción ganadera; esta técnica permite la minimización de las zonas de pastoreo a través de la tecnificación de la producción ganadera. Esta técnica es una práctica agroecológica permiten la mitigación de la sobreexplotación del suelo, además de la activación de las actividades productivas que no están relacionadas con la agro producción; lo que permite la reducción de la presión sobre las áreas protegidas.

La Unidad Macas-Méndez para la producción de sistemas agro-silvopastoriles: Es una unidad que se encuentra ubicada en la Provincia de Morona Santiago cuyo paisaje se destaca por el piedemonte, el cual ha favorecido a los asentamientos humanos. Se ubica en las zonas de Macas, Sucúa y Méndez, en los mismos que sobresale la actividad agro productiva lo que ha provocado la disminución de las áreas boscosas; por lo que la implementación de estos sistemas agroforestales y silvopastoriles van a generar un impacto positivo para un uso sostenible del suelo y evitar su degradación continua (Secretaría nacional de Planificación y Desarrollo & Instituto para el Ecodesarrollo Regional Amazónico, 2016).

Caso 4: Agroforestería Sostenible en la Amazonía Ecuatoriana, N° 2

Entre las alternativas de mitigación se encuentran los sistemas agroforestales que se sustentan en tres principios básicos como son: 1) deben existir al menos dos especies de plantas que tengan una interacción biológica entre sí, 2) mínimo uno de estas especies debe ser una planta leñosa y 3) uno de los componentes es una planta con fines agrícolas. El uso de estas especies asegura que al desarrollar estas sus raíces, se genera un aumento en la disponibilidad de los nutrientes presentes en el suelo, además de generar acumulación de materia orgánica y grandes cantidades de nutrientes en las capas inferiores. En SAF en donde se ha utilizado *Erithrinas* se obtuvo un aumento de la transformación de amonio a nitratos, lo que ocasionó también un aumento del nitrógeno disponible en el suelo; siendo este sistema mucho más eficiente que el uso de plantas con una mayor vegetación o un sistema de laurel. Estos sistemas a su vez incrementan la cantidad de fósforo del suelo, el cual es aprovechado por las micorrizas; así como también se incrementa los nutrientes como calcio, potasio y magnesio; asimismo permite el mejoramiento de las características físicas del suelo como son su porosidad y densidad aparente. Por lo que concluyó que estos sistemas garantizan la

adaptación y mitigación del cambio climático; además de la necesidad de la creación de procesos investigativos sobre los suelos de la Amazonía y generar diseños y mejoramientos para la implementación de estos sistemas agroforestales (INIAP, 2018).

4.3. Especies de gramíneas utilizadas en biorremediación.

4.3.1. Brachiaria brizantha y Panicum máximum.

En el estudio realizado por (Sangabriel, et al. 2006), utilizó las especies de gramíneas como: *Brachiaria híbrido, Brachiaria brizantha* y *Panicum máximum*, las mismas que crecieron en condiciones de invernadero con una temperatura max. de 23 ℃ y una temperatura min. de 11 °C y un porcentaje de humedad de 63/71%; en esta investigación se evaluó la tolerancia, crecimiento y capacidad de degradación de hidrocarburos en suelos contaminados con combustóleo; el mismo que es un residuo del petróleo luego que este es refinado. Las gramíneas utilizadas presentaron una mayor tolerancia al contaminante a los 90 días posterior a su germinación con un 100% de supervivencia. Al final del estudio estas gramíneas no se vieron afectadas negativamente por la presencia del hidrocarburo y las especies que presentaron una mayor efectividad en cuanto a la degradación del combustóleo fueron las especies *Brachiaria brizantha* y *Panicum máximum*. Estas tuvieron una mayor adaptación a la presencia de este contaminante, ya que sus estructuras morfológicas y fisiológicas les permiten ser utilizadas como fitorremediadoras. Esto se debe a sus tipos de sistemas radicales más extensos y fibrosos, que hace que las raíces lleguen a una mayor profundidad, lo que favorece la absorción de nutrientes y agua; además de la simbiosis entre la planta y *Rhizobium* que permite la captación de nitrógeno del suelo.

A continuación, se muestra la relación de crecimiento en días con la altura en centímetro de cada gramínea empleada en el estudio.

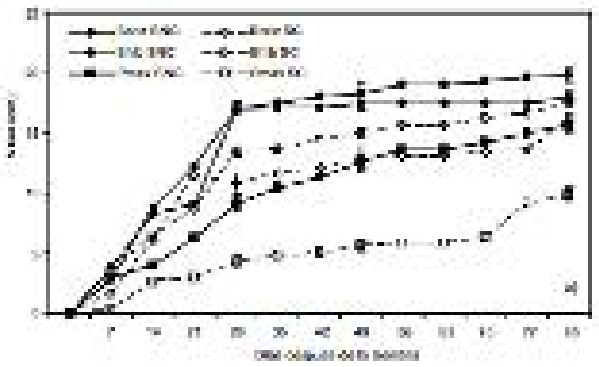

Figura 3-4. Dinámica de crecimiento de: a) Phaseolus coccineus y b) tres especies de gramíneas crecidas en suelo contaminado y no contaminado. SNC= Suelo no-contaminado, SC=Suelo.

Fuente: (Sangabriel, y otros, 2006)

El desarrollo de plantas en suelos contaminados genera cambios en las características físicas, químicas y biológicas de la rizosfera; ya que los microorganismos presentes, pueden intervenir en procesos de oxidación, degradación y mineralización completa de los hidrocarburos. La especie que tuvo un efecto mayor en la estimulación y crecimiento de la rizosfera fue *Brachiaria mutica*, lo que la convierte en una potencial candidata para la fitorremediación.

Estas especies también fueron utilizadas por Hernández-Valencia & Mager, (2003) en la fitorremediación de los suelos contaminados con un hidrocarburo de petróleo liviano de 27 °API (36% aromáticos, 50% saturados, 12% resinas y 1% asfáltenos). Las condiciones de invernadero fueron a una temperatura de 27 °C y una humedad relativa de 85%. Se presentó una reducción del 63% en *Panicum maximum* y del 55% en *Brachiaria brizantha* en la concentración de grasas y aceites a los 240 días de haber germinado las dos especies de gramíneas; el contenido de grasas y aceites tuvieron una cinética que ayudó a la rápida disminución del hidrocarburo en el suelo en las fases iniciales (120 días aproximadamente) y posteriormente esta fue disminuyendo. Se alcanzó también una disminución en la producción de materia seca (aérea y subterránea); obteniéndose una masa seca para *Brachiaria brizantha* del 11,4% y del 1,2% para *Panicum máximum*; y la supervivencia de las especies en el suelo contaminado presentaron porcentajes del 82% y 64% respectivamente.

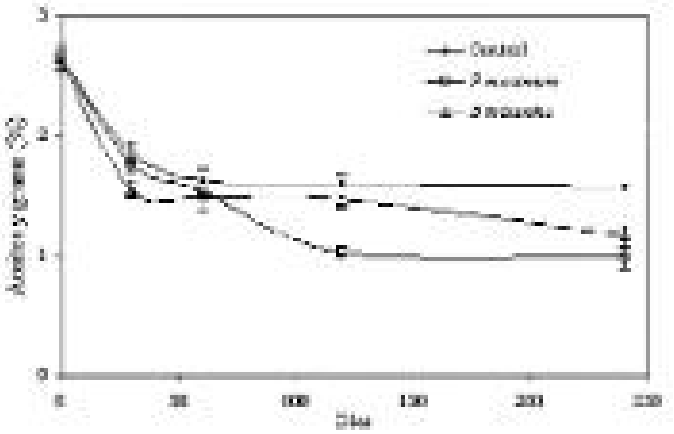

Figura 4-4. Cambios en el contenido de aceites en grasas y aceites en suelos contaminados, con y sin gramíneas

Fuente: (Hernández-Valencia y Mager, 2003)

4.3.2. Brachiaria mutica y Leptochloa fusca

Fatima et al., (2016), menciona que los procesos de colonización y actividad metabólica de endófitos presentes en la rizosfera y la endosfera están controlados por la planta que le es de huésped, estos al ser los factores principales en la efectividad del proceso de fitorremediación gracias a la formación de biopelículas en las bacterias inoculadas, que influyen positivamente a la expresión del gen alcano hidroxilasa alkB. Las especies crecieron en condiciones controladas de invernadero y la evaluación de la degradación se la realizó después de los 93 días de su germinación. En este estudio fueron inoculadas un consorcio de dos bacterias endofíticas degradadoras de hidrocarburos de petróleo *Acinetobacter sp*. cepa BRSI56 y *Pseudomonas aeruginosa* cepa BRRI54 en las gramíneas *Brachiaria mutica* y *Leptochloa fusca*; utilizadas para la evaluación del potencial fitorremediador de estas especies en suelos contaminados con crudo de petróleo. Estas bacterias aumentaron significativamente el crecimiento de las gramíneas y la degradación del crudo. La máxima degradación fue de un 78% en la especie *Brachiaria mutica* y el consorcio bacteriano; este método ayudo que la degradación sea mayor que al utilizar el consorcio de *Leptochloa fusca* (69%) y el consorcio AP. Asimismo, concluyó que la fitorremediación con las especies de plantas y bacterias tienen un mayor efecto de degradación que utilizándolos individualmente en los procesos de degradación del hidrocarburo.

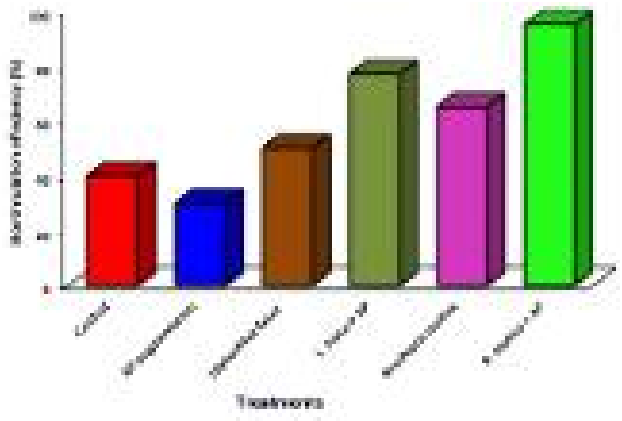

Figura 5-4. Porcentaje de eficiencia en la bioestimulación de tratamiento del suelo después de 93 días de haber empezado la bioestimulación.

Fuente: (Fatima et al., 2016)

4.3.3. Brachiaria mutica

Maldonado-Chávez et al., (2010) realizaron un proceso de estimulación con un consorcio microbiano entre *Pseudomonas sp., Serratia marcescens, Aspergillus sp.* y *Trichoderma sp.* y un fertilizante inorgánico con el uso de la especie gramínea *Brachiaria mutica* y la leguminosa *Leucaena leucocephala* para la evaluación del proceso de degradación de un suelo contaminado con hidrocarburos de petróleo nuevos e intemperizados a causa de derrames crónicos desde hace 25 años. La evaluación de la degradación se la realizó luego de haber transcurrido 158 días y el cultivo de las especies de plantas fueron desarrolladas bajo condiciones de invernadero, en el cual se consiguió una degradación del 81% en la leguminosa *Leucaena leucocephala* inoculada con el consorcio microbiano y un fertilizante; y la mayor degradación de *Brachiaria mutica* fue de un 72%, la misma que incluyo la inoculación del inóculo y el fertilizante inorgánico.

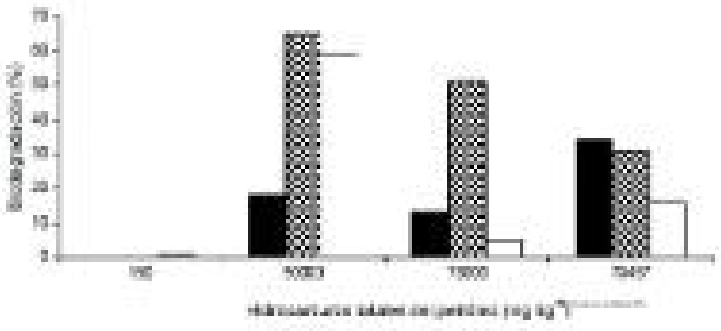

Figura 6-4. Efecto de la interacción petróleo x planta en el porcentaje de degradación de los hidrocarburos totales de petróleo a los 158 días. (■) = suelo sin planta, (□) =suelo con B. mutica, ( ) = suelo con L. leucocephala.

Fuente: (Maldonado-Chávez et al., 2010)

4.3.4 Sorghum vulgare

La gramínea *Sorghum vulgare* es ampliamente utilizada (Balderas-León & Sánchez-Yáñez, 2015); en el cual el proceso de fitorremediación fue complementado con una biorremediación por doble bioestimulación con cepas bacterianas promotoras del crecimiento vegetal, como son las cepas de *Bacillus cereus/Burkholderia cepacia*; utilizados en la degradación del aceite residual automotriz ARA. El suelo contaminado se encontraba a una concentración de 75000 ppm de aceite residual y la evaluación del crecimiento de *Sorghum vulgare* se desarrolló en un período de 90 días sin incluir la etapa de floración; en condiciones de invernadero a 23 °C de temperatura y una humedad relativa del 67%. Este proceso de biorremediación se redujo en los 30 primeros días a 32500 ppm, a los 90 días se obtuvo una reducción de 10100 ppm y en la etapa de floración la degradación llegó hasta los 800 ppm. Es por esto que para los suelos contaminados con altas concentraciones de ARA; una de las opciones sería la integración de la biorremediación y la fitorremediación, para la obtención de mejores resultados.

Tabla 8-4. Biorremediación de suelo contaminado con 75000 ppm de aceite residual automotriz por doble y secuencial bioestimulación con solución mineral y Phaseolus vulgaris.

Tratamiento	**Aceite residual automotriz remanente (ppm)**	
	Final bioestimulación/suma solución mineral y *P. vulgaris*	**Fitorremediación *S. vulgare* (plántula)**
Suelo y agua (control absoluto)	0,0	0,0
Suelo con aceite residual automotriz (control)	75000d*	75000d
S. vulgare/ B. cereus	20400b	10300b
S. vulgare/B. cepacia	21000c	16400c
S. vulgare/B.cereus + B. cepacia	10100a	2500a

* La letra distinta indica diferencia significativa al 0,05% según Tukey, n=6

Fuente: (Balderas-León y Sánchez-Yáñez, 2015)

Otro estudio dirigido hacia la biorrestauración de suelos contaminados con aceite residual automotriz, a través del uso de la bioestimulación y la fitorremediación fue desarrollado por (Juarez-Cisneros & Sanchez-Yanez, 2014). La especie utilizada en dicha investigación fue *Sorghum vulgare*, y la bioestimulación se lo realizó a partir de

lombricomposta, además de un consorcio microbiano entre *Bacillus cereus* y *Rhizobium etli*; ya que ambas promueven el crecimiento vegetal. El crecimiento de *Sorghum vulgare* se dio en invernadero a una temperatura de 25 °C a 30 °C y una humedad relativa de 55%; durante un periodo de 60 días. En la fase de bioestimulación con lombricomposta y la fitorremediación con *Sorghum vulgare* se consiguieron una degradación hasta a una concentración de 210 ppm; por otro lado, cuando se inóculo *Bacillus cereus* y *Rhizobium etli* se logró una reducción hasta una concentración de 260 ppm de ARA. Por lo que (Juárez-Cisneros y Sánchez-Yáñez, 2014) determinaron que con esta técnica se logra una rápida y mejor acción individual del proceso de fitorremediación en la degradación del ARA.

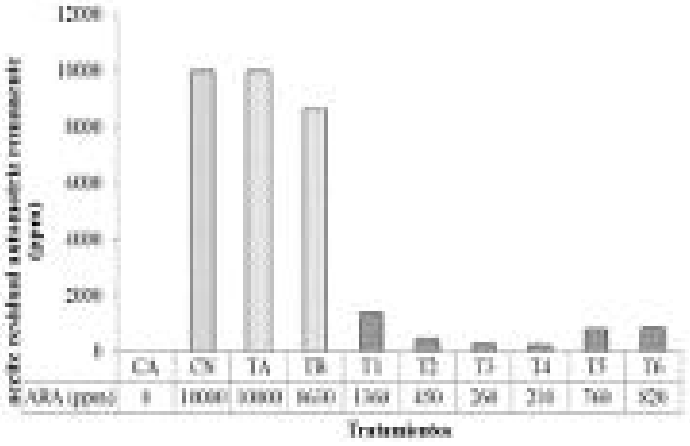

Figura 7-4. Biorremediación de suelo contamiando con 10000 ppm de aceite residual automotriz con lombricomposta al 3% y 6% y fitorremediación para eliminar el remanente con Sorghum vulgare inoculado con Bacillus cereus y Rhizobium etil.

Fuente: (Juárez-Cisneros y Sánchez-Yáñez, 2014)

El análisis financiero realizado por Castaño Javier, (2018), menciona que un tratamiento *Soil Washing* para derrames de petróleo cuesta alrededor de 59 000 pesos colombianos por cada barril de material contaminado; y un tratamiento por fitorremediación por cada barril de material contaminado cuesta alrededor de 39 090 pesos colombianos; utilizando estos dos métodos para la evaluación financiera el tratamiento por fitorremediación con gramíneas tuvo un costo aproximado de 8 050 pesos colombianos; lo que significa un ahorro del 26,92% .

4.4. Matriz de especies gramíneas utilizadas en la degradación de TPH

Tabla 9-4. Identificación de especies más representativas para la degradación de TPH, distribución geográfica y su nivel de eficiencia

Nombre Común	Nombre Científico	Distribución geográfica	Tipo de crecimiento	Tipo de contaminante	Acumulación y localización del contaminante	Eficiencia	Agente Bioestimulante	Costo	Resultados de la investigación	Comparación con la Normativa	Fuente
Marandú o brizantha	*Brachiaria brizantha*	Napo y Puyo	Invernadero T= 23– 11 ℃ HR=63/71% Días= 90	Combustóleo	Rizosfera del suelo, raíces y tallo y hojas de la planta.	100% supervivencia (sistemas radicales más extensos y fibrosos; simbiosis con *Rhizobium*)	No se utilizó	$ 2,14 barril de material contaminado para 45 días de tratamiento	%Área de la curva en el cromatograma Tiempo de retención (min) -Acetofenona: 6,33 a 1,69 2,4,6-Trimetilfenol: 8,10 a 5,30 -(E)-Estilbeno: 11,55 a Nd 1-Fenilnaftaleno: 12,69 a 2,55 9-Metil-9H-fluoreno: 13,74 a Nd	Parámetros analizados no establecidos en normativa	(Sangabriel et al., 2006)
			Invernadero T= 27 ℃ HR=85 % Días= 120 aprox.	Hidrocarburo de Petróleo liviano API 27°	Solo se analizó el suelo para la determinación de la disminución de aceites y grasas	82% de supervivencia. Reducción del 55% de grasas y aceites	No se utilizó		1,2% Hidrocarburos de petróleo HCP	No alcanzó el límite del 1% previsto en la normativa venezolana. En la normativa ecuatoriana esto no se cumple, ya que la concentración de TPH debe ser < 150 mg/kg que equivale al 0,015%	(Hernández-Valencia y Mager, 2003)
Zacate guineo	*Panicum máximum*	Esmeraldas, Manabí, Guayas, Imbabura, Francisco de Orellana, Machala y Loja	Invernadero T= 23– 11 ℃ HR=63/71% Días= 90	Combustóleo	Rizosfera del suelo, raíces y tallo y hojas de la planta.	100% supervivencia (sistemas radicales más extensos y fibrosos; simbiosis con *Rhizobium*)	No se utilizó		%Área de la curva en el cromatograma Tiempo de retención (min) -Acetofenona: 6,33 a 1,60 2,4,6-Trimetilfenol: 8,10 a 3,72 -(E)-Estilbeno: 11,55 a Nd 1-Fenilnaftaleno: 12,69 a 2,68 9-Metil-9H-fluoreno: 13,74 a	Parámetros analizados no establecidos en normativa	(Sangabriel et al., 2006)

									Nd		
			Invernadero T= 27 °C HR=85 % Días= 240 aprox.	Hidrocarburo de Petróleo liviano API 27°	Rizosfera del suelo, raíces y tallo y hojas de la planta. Es únicamente el suelo para la determinación de la disminución de aceites y grasas	64% de supervivencia. Reducción del 63% de grasas y aceites	No se utilizó		1 % Hidrocarburos de petróleo HCP	Se alcanzó el límite del 1% previsto en la normativa venezolana. En la normativa ecuatoriana esto no se cumple, ya que la concentración de TPH debe ser < 150 mg/kg que equivale al 0,015%	(Hernández-Valencia y Mager, 2003)
Pasto Pará	*Brachiaria mutica*	Esmeraldas, Guayas, Machala y Loja	Invernadero Días= 93	Crudo de petróleo (25,6 g /kg)	Rizosfera del suelo, raíces y tallo y hojas de la planta. Determinación de la concentración del crudo por métodos gravimétricos	78% de degradación del crudo	*Acinetobacter sp*. cepa BRSI56 y *Pseudomonas aeruginosa* cepa BRRI54		La reducción fue de 25600 mg/kg a 5632 mg/kg	En la normativa ecuatoriana esto no se cumple, ya que la concentración de TPH debe ser < 150 mg/kg AM 83-B	(Fatima et al., 2016)
			Invernadero Días= 158	Crudo recién extraído Crudo intemperizado	Rizosfera del suelo, raíces y tallo y hojas de la planta.	72% de degradación de crudo	*Pseudomonas s p. , Serratia marcescens, Aspergillus sp*. y *Trichoderma s p*. y un fertilizante inorgánico		-150 mg / kg HTP de origen biogénico control -50 000 mg kg– 1 reducción a: 14 000 mg/kg 72% -78 000 mg kg– 1 HTP de petróleo crudo nuevo reducción a: 29 640 mg/ kg 62% -79 457 mg kg– 1 HTP reducción a: mg/kg 32%	En la normativa ecuatoriana esto no se cumple, ya que la concentración de TPH debe ser < 150 mg/kg AM 83-B	(Maldonado-Chávez et al., 2010)
Brown beetle grassbrown	*Leptochloa fusca*	Norteamérica, Sudamérica, África, Europa, Asia y Oceanía	Invernadero Días= 93	Crudo de petróleo (25,6 g /kg)	Rizosfera del suelo, raíces y tallo y hojas de la planta. Determinación de la concentración del crudo por métodos gravimétricos	69% de degradación del crudo	*Acinetobacter sp*. cepa BRSI56 y *Pseudomonas aeruginosa* cepa BRRI54		La reducción fue de 25600 mg/kg a 7936 mg/kg	En la normativa ecuatoriana esto no se cumple, ya que la concentración de TPH debe ser < 150 mg/kg AM 83-B	(Fatima et al., 2016)

Sorgo forrajero	*Sorghum vulgare*	Centroamérica, Sudamérica, Europa y Oceanía	Invernadero T= 23°C HR= 67%	75000 ppm de aceite residual automotriz	Raíces, tallo y hojas de la planta. Pero solo se realizaron análisis de suelo para la evaluación de la degradación de los ARA	Degradación hasta 2500 ppm	Las cepas de *Bacillus cereus/Burkholderia cepacia*		La degradación fue de 75000 ppm a 2500 ppm de ARA equivalentes a 2500 mg/kg	En la normativa ecuatoriana esto no se cumple, ya que la concentración de TPH debe ser < 150 mg/kg AM 83-B	(Balderas-León y Sánchez-Yáñez, 2015)
			Invernadero T= 25 – 30 °C HR= 55% Días= 60	10000 ppm de aceite residual automotriz	Raíces, tallo y hojas de la planta. Pero los análisis de degradación se realizaron solo en suelo.	Degradación hasta 210 ppm	*Lombricompost a al 3% y 6%; Bacillus cereus y/o Rhizobium etli.*		La degradación fue de 10000 ppm a 210 ppm de ARA equivalentes a 210 mg/kg	Lo cual cumple con el AM83-B ya que la concentración de TPH es <150 mg/kg	(Juárez-Cisneros y Sánchez-Yáñez, 2014)

CONCLUSIONES

- Con el análisis bibliográfico recopilado se logró constatar la efectividad de las especies de gramíneas tales como *Panicum maximun*, *Brachiaria brizantha, Leersia hexandra* y *Eichhornia crassipes* alcanzando un porcentaje de descontaminación del 66% al 87%, en su contexto como agentes ambientales fitorremediadores lo que demuestra la eficacia de estas en la recuperación total, parcial y estética del terreno el cual ha sido afectado por actividades petroleras con un grado de afectación moderado-alto además, de favorecer a otros campos como la biorremediación con la producción de biomasa para tratar suelos con rastros de metales pesados.

- La información analizada demuestra que el Ecuador al ser exuberante no solo en biodiversidad si no al igual en recursos naturales es propenso a sufrir incontables riesgos ambientales particularmente antropogénicos ya que solo al poseer un 18% de uso de suelo apto para la agricultura, construcciones etc. limita a todas las actividades que buscan un fin en común y esto a su vez favorecen al deterioro de los mismos alcanzando en reiteradas ocasiones niveles críticos que conllevan a la pérdida total de estos recursos. A pesar de existir sistemas agroforestales que reduzcan esta pérdida.

- En cuanto a lo abordado en la investigación la aplicación de los tratamientos de fitorremediación poseen una eficiencia considerable a diferencia de otros tratamientos ya sea solo mediante la utilización de plantas como a su misma vez en conjunto con otras técnicas o microorganismos que buscan la misma finalidad, por ello y como se demostró en la presente investigación es recomendable la utilización de gramíneas para el tratamiento de suelos contaminados.

RECOMENDACIONES

- Una vez revisada la información de diferentes autores se recomienda la debida actualización sobre el tema de fitorremediación aplicada en el país ya que no presenta documentación de años actualizados.

- Con el actual crecimiento poblacional las áreas de desarrollo de las especies de gramíneas se ven afectadas considerablemente por lo que es necesario mencionar la significativa importancia de estas especies en temas ambientales.

- Una vez que retome la normalidad en la que atraviesa el país se pueda Buscar métodos que favorezcan la adaptación de diferentes especies de gramíneas a suelos amazónicos

- La técnica de la fitorremediación sea empleada con mayor frecuencia en sectores estratégicos que presentan riesgos ambientales ya que sus costos de operación son accesibles.

REFERENCIAS

AFAM, CATIE, & INIAP. (2012-2013). *Proyecto AFAM-CATIE-INIAP Avances de la primera fase 2012-2013*. Obtenido de Agroforestería Sostenible en la Amazonía Ecuatoriana: http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8225/Agroforesteria_sostenible_en_la_amazonia.pdf

Anon. 2018. «¿Qué se entiende por residuos peligrosos y no peligrosos?» SMV. Recuperado 22 de enero de 2021 (https://www.smv.es/que-son-residuos-peligrosos-no-peligrosos/).

ArgenBio. (2007). *La Biorremediaciónn.* Obtenido de Limpiando el Ambiente: Obtenido de: https://argenbio.com.org

Arias, A., Rivera, M., Roldán, A., Aceves, L., Quintero, R., & Hernández, J. (2017). Uso de Leersia hexandra (Poaceae) en la fitorremediación de suelos contaminados con petróleo fresco e intemperizado. *Revista de Biología Tropical*, *65*(1), 21-30. Obtenido de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44950154003

ATSDR. (2016). *Hidrocarburos totales de petróleo (Total Petroleum Hydrocarbons).* Obtenido de Recuperado de: https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts123.html#:~:text=Los%20t%C3%A9rminos%20hidrocarburos%20totales%20de,qu%C3%ADmicos%20originados%20de%20petr%C3%B3leo%20crudo.&text

Balderas-León, I., & Sánchez-Yáñez, J. M. (febrero de 2015). Biorremediación de suelo contaminado con 75000 ppm de aceite residual automotriz por bioestimulación y fitorremediación con Sorghum vulgare y Bacillus cereus y/ o Burkholderia cepacia. *Journal of the Selva Andina Research Society, 6*(1). Obtenido de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2072-92942015000100004.

Barbour, R. (2013). Los Grupos de Discusión en Investigación Cualitativa. Madrid: Ediciones Morata

Buendia. (2012). Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante compost de aserrín y estiercoles . 6-18.

Cameselle, C., & Gouveia, S. (2019). Phytoremediation of mixed contaminated soil enhanced with electric current . *Journal of Hazardous Materials*, 361, 95 - 102.

Carrillo Niquete, G., Andrade, J. L., Hernández Terrones, L., & Cobos Gasca, V. . (2015). La fitorremediación: una opción limpia para un problema sucio. *Bioagrociencias*, 8 (2), 24 - 25.

Castaño, J. (2018). *Evaluación técnico-financiera del proceso de fitorremediación con plantas gramíneas para mitigar derrames de crudo en el departamento del Meta, Colombia.* Bogota: Fundación Universidad de América. Obtenido de http://hdl.handle.net/20.500.11839/6742

Contreras. (2018). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos. *Revista de Investigación Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 27-33.

Coyago, L. (2020). *Determinación de organoclorados por bioacumulación en dos especies vegetales (lactuca sativa l) y (medicago sativa) en procesos de fitorremediación en suelos agricolas en la parroquia de Perucho del D.M.Q. en el periodo de Marzo 2019 - Febrero 2020.* Latacunga: Univ. Tecnica de Cotopaxi.

Chevron Corporación (2021). Derrames de Petróleo y siniestros en Ecuador. Juicio Crudo, Juicio Crudo. Sobre fraude judicial contra Chevron en Ecuador, Perspectivas de Chevron sobre fraude judicial en su contra en Ecuador. Recuperado en: https://www.juiciocrudo.com/seccion/derrames-de-petroleo-y-siniestros-en-ecuador/1110

FAO. 2015. «Los suelos están en peligro, pero la degradación puede revertirse». Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado 21 de enero de 2021 (http://www.fao.org/news/story/es/item/357165/icode/).

Fatima, K., Imran, A., Amin, I., & Qaiser, K. (abril de 2016). Plant species affect colonization patterns and metabolic activity of associated endophytes during phytoremediation of crude oil-contaminated soil. (Springer, Ed.) *Environmental Science and Pollution Research , 23*. doi:10.1007/s11356-015-5845-0

Fawzy, M. B.-K.-K. (2012). Heavy metal biomonitoring and phytoremediation potentialities of aquatic macrophytes in River Nile. Environmental Monitor Assessment, 184, 1753-1771

Fonfría, Ramón Sans, Ramón Sans, y Joan de Pablo Ribas. 1989. Ingeniería ambiental: contaminación y tratamientos. Marcombo.

Gerhardt, K. E. (2017). Opinion: Taking phytoremediation from proventechnology to accepted practice. Plant Science, 256, 170-185

Gómez Díaz de León, Carlos y León de la Garza, Elda Ayde de (2014). Método comparativo. In: Métodos y técnicas cualitativas y cuantitativas aplicables a la investigación en ciencias sociales. Tirant Humanidades Mexico, pp. 223-251. ISBN 9788416062324

Harvey, P. C.-R. (2002). Phytoremediation of Polyaromatic Hydrocarbons, Anilines and Phenols. Environmental Science and Pollutant Restoration, 9, 29-47.

Hernández-Valencia, I., & Mager, D. (septiembre de 2003). USO DE Panicum maximum Y Brachiaria brizantha PARA FITORREMEDIAR SUELOS CONTAMINADOS CON UN CRUDO DE PETRÓLEO LIVIANO. (Scielo.ve, Ed.) *Bioagro, 15*(3). Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612003000300001

Ibañez, S. T. (2016). Transgenic plants and hairy roots: exploiting the potential of plant species to remediate contaminants. New Biotechnology, 33, 625-633.

INIAP. (julio de 2018). *Agroforestería Sostenible en la Amazonía Ecuatoriana, N° 2*. Obtenido de INIAP-Estación Experimental Central Amazónica: https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5452/1/Las%20actividades%20de%20mayor%20impacto%20y%20posibles%20acciones%20de%20mitigaci%C3%B3n.pdf

Jimenez, V. (2020). *EVALUACIÓN DE BACTERIAS Y HONGOS POTENCIALMENTE UTILIZABLES PARA LA BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS.* Guayaquil: Unv. Agraria.

JUAREZ-CISNEROS, G., & SANCHEZ-YANEZ, J. M. (2014). Biorrestauración de suelo contaminado con aceite residual automotriz por bioestimulación con lombricomposta y fitorremediación con Sorghum vulgare inoculado con Bacillus cereus y Rhizobium etli. *Journal of the Selva Andina Biosphere, 2*(1), 15-22. Obtenido de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2308-38592014000100003&script=sci_abstract

Lin, Y. & Kunli, B. (2016). Removal of pharmaceuticals and personal care products by Eichhornia crassipe and Pistia stratiotes. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 58, 318-323.

MAE. (04 de 11 de 2015a). *Norma Técnica Ambiental Ecuatoriana.* Obtenido de Norma de calidad Ambiental del Recurso Suelo y criterios de remediación para Suelos Contaminados.: Recuperado de: http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155129.pdf

MAE, M. d. (2015b). *PROGRAMA DE REPARACIÓN AMBIENTAL Y SOCIAL PRAS*. Obtenido de Plan de Reparación Integral de la microcuenca del río Pacayacu: http://pras.ambiente.gob.ec/documents/228536/737569/pri_pacayacu.pdf/adcab755-93e1-4840-9306-7b747000a2cd

Mahar, A., Wang, P., Ali, A., Awathi, M.K., Lahori, A., Wang, Q., Li, R. & Zhang, Z. . (2016). Challeges and opportunities in the phytoremediation of heavy metals

contaminated soilss: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 126, 111-121.

Mandujano, X. (2019). *Áreas que requieren remediación prioritaria de suelos contaminados como PASH en función a la ZEE de la región Piura.* Huancayo: Univ Continental.

Muñoz, S. (05 de 2016). *"EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE Trichoderma sp Y Pseudomona sp PARA BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS".* Obtenido de Recuperado: https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13228/1/UPS-QT10474.pdf

Pardo, e. a. (2014). *Efecto de la adición de fertilizantes norgánicos compuestos en la degradación de hidrocarburos en suelos contaminados con petróleo.*

Pérez, O. &. (2015). La verdad no contamina:Texaco Chevron el antecedente de una poderosa transnacional. *El telégrafo*.

Pozo. (2018). *Evaluación de la biorremediación en suelos contaminados con hidrocarburos utilizando Pseudomonas fluorescens (Tesis de pregado).* Obtenido de Universida Politécnica Salesiana Sede Quito, Quito.

Repsol. (2015). *El recorrido de la energía*. Obtenido de El petróleo : Recuperado de: http://www.leganes.org/portal/RecursosWeb/DOCUMENTOS/1/0_36828_1.pdf

Rufus, L. M. (1997). Fitorremediación de metales pesados. *ELSEVIER*, 279-284.

Rezania, S. P. (2015). Perspectives of phytoremediation using water hyacinth for removal of heavy metals, organic and inorganic pollutants in wastewater. Journal of Environmental Management, 163, 1125-133.

Salgado Lévano, Ana Cecilia. (2007). Quality investigation: designs, evaluation of the methodological strictness and challenges. Liberabit, 13(13), 71-78. Recuperado en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-48272007000100009&lng=es&tlng=en.

Sangabriel, W., Ferrera, R., Trejo, D., Mendoza, M., Cruz, S., Lopez, C., . . . Alarcón, A. (septiembre de 2006). TOLERANCIA Y CAPACIDAD DE FITORREMEDIACIÓN DE COMBUSTÓLEO EN EL. (Scielo.mx, Ed.) *Revista Internacional de contaminación ambiental, 22*(2), 63-72. Obtenido de TOLERANCIA Y CAPACIDAD DE FITORREMEDIACIÓN DE COMBUSTÓLEO EN EL: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0188-49992006000200063&lng=es&nrm=iso

Secretaría de Hidrocarburos (2018). Mapa de Bloques petroleros del Ecuador Escala 1:1´000.000. Recuperado en: http://www.historico.secretariahidrocarburos.gob.ec/wp-content/uploads/2018/08/1.Mapa-Bloques_Actualizado-Julio2018.jpg

Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo, & Instituto para el Ecodesarrollo Regional Amazónico. (2016). *PLAN INTEGRAL PARA LA AMAZONÍA*. Obtenido de http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu166986anx.pdf

Shen, M. L.-W.-P. (2013). The effect of endophytic Peyronellaea from heavy metal-contaminatedand uncontaminated sites on maize growth, heavy metal absorption and accumulation. Fungal Ecology, 6, 539-545.

Solá, A. e. (2018). Revisión de la literatura sobre efectos nocivos de la exposición laboral a hidrocarburos en trabajadores en ambiente externo. *Medicina y Seguridad del Trabajo.*, 271-294. Obtenido de Recuperado de:

Thakur, S. S. (2016). Plant-driven removal of heavy metals from soil: uptake,translocation, tolerance mechanism,challenges, and future perspectives. Environmental Monitor Assessment, 188-206.

Tovar, O. (1993). *Las gramíneas (Poaceae) del Perú.* Madrid: CSIC-CSIC Press.

Vargas, Y; J. Nicolalde; Calero, A; Vizuete. O. (2018). ¿Por qué son frágiles los suelos de la amazonia ecuatoriana?. Agroforestería Sostenible en la Amazonia Ecuatoriana, Nº 2, Fragilidad de los suelos en la Amazonía ecuatoriana y potenciales alternativas agroforestalespara el manejo sostenible. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP y Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

Velásquez, J. (05 de 2017). Dialnet. Obtenido de Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6285716

Veloz, N., Chicaiza, C., Arellano, D., Camacho, C., Duque, A., Echeverría, A., . . . Yambay, C. (2015). Proceso de remediación de las muestras de suelo contaminados con hidrocarburos del CESTTA mediante las técnicas de bioestimulación, bioaumentación y fitorremediación. *XI Simposio Latinoamericano de Química Analítica Ambiental y Sanitaria.* Riobamba. doi:10.13140/RG.2.1.2882.6083

Wang, L., Ji, B., Hu, Y., Liu, R., & Sun, W. (2017). A review on in situ phytoremediation of mine tailings. *Chemosphere.*, 184, 594 - 600.

Weyens, N. T. (2015). The role of plant-Microbe interactions and their exploitation for phytoremediation of air pollutans. Int. J. Mol. Science, 16(10), 25576-25604.

Zhou, L. L. (2015). Restoration of rare earth mine areas: organic amendments and phytoremediation. Environmental Science and Pollution Restoration, 22, 17151-17160.

Zúñiga, P. (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. Obtenido de http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/48750/1/Tesis_final_Paul_Zu%C3%B1iga.pdf