UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA



INGENIERÍA AMBIENTAL

Título de Proyecto de Investigación

"ANÁLISIS DE ESPECIES VEGETALES AMAZÓNICAS PARA LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DE HIDROCARBUROS EN SUELOS AGRÍCOLAS, UNA REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE"

Autores:

Erique Campoverde Mayra Yadira

Sanchez Morocho Yuli Esthefany

Director del Proyecto:

MSc. Danilo Pedro Sarabia Guevara

PUYO-ECUADOR 2021

Tabla de contenido

CAPÍTULO I xvi
1.1 Planteamiento del problema 2
1.2 Objetivos: 3
1.3 Justificación 4
CAPÍTULO II 4
2. Fundamento teórico 5
2.1 Suelo 5
2.1.1 Importancia del suelo 5
2.1.2 Tipos de suelos 5
2.1.3 Importancia del suelo en la agricultura 6
2.2 Petróleo 6
2.2.1 Historia del petróleo en Ecuador 7
2.2.2 Clasificación del petróleo 8
2.2.3 Impactos en el suelo causado por el petróleo 9
2.2.4 Faces de la industria petrolera 10
2.3 Hidrocarburos 10
2.3.1 ¿Cómo afecta la perforación para obtener el hidrocarburo del suelo? 11
2.3.2 Hidrocarburos Totales Policíclicos (TPHs) 11
2.3.3 Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (HAPs) 12
2.3.4 Derrame de petróleo 13
2.4 Fitorremediación 14
2.4.1 Tipos de contaminantes 14
2.4.2 Transporte de contaminantes orgánicos 15
CAPÍTULO III 20
3. Metodología 20
3.1 Tipo o Diseño de Investigación 20
3.2 Métodos de investigación 20
CAPITULO IV 233
4 Análisis de resultados 233
4.1 Descripción botánica de plantas fitorremediadoras de hidrocarburos 233
4.1.1 Ageratum conyzoides (Hierba de chivo) 233

4.1.2 Piptocoma discolor (Pigüe)....233
4.1.3 Theobroma cacao (cacao)....244
4.1.4 Cedrela odorata (cedro)....244
4.1.5 Swietenia macrophylla (caoba)....255
4.1.6 Sida rhombifolia (Escoba dura)....255
4.1.7 Panicum maximun (Pasto Guinea)....266
4.1.8 Brachiaria brizantha (Pasto Marandú)....266
4.1.9 Paspalum millegrana L (Cortadora)....266
4.1.10 Bidens pilosa L (Amor seco)....277
4.2 Especies vegetales de la amazonia más utilizadas en el ámbito fitorremediador de hidrocarburos....277
4.3 Propuesta para fitorremediación de suelos contaminados en la amazonia....314
Conclusiones....36
Recomendaciones....36
Referencias....37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2.- Mecanismos de Fitorremediación..... 17
Tabla 1-4.- Taxonomía de la especie Ageratum conyzoides..... 23
Tabla 2-4.- Taxonomía de la especie Piptocoma discolor..... 244
Tabla 3-4.- Taxonomía de la especie Theobroma cacao 244
Tabla 4-4.- Taxonomía de la especie Cedrela odorata 255
Tabla 5-4.- Taxonomía de la especie Swietenia macrophylla 255
Tabla 6-4.- Taxonomía de la especie Sida rhombifolia L 255
Tabla 7-4.- Taxonomía de la especie Panicum maximun 266
Tabla 8-4.- Taxonomía de la especie Brachiaria brizantha 266
Tabla 9-4.- Taxonomía de la especie Paspalum millegrana L 277
Tabla 10-4.- Taxonomía de la especie Bidens pilosa L 277
Tabla 11-4.- Especies vegetales de la amazonia más utilizadas en el ámbito fitorremediador de hidrocarburos.....28
Tabla 12-4.- Revisión bibliográfica de las especies vegetales con capacidad fitorremediadora…….31
Tabla 12-5.- Fuentes de investigación.……..…..33

DECLARATORIA DE AUTORIA Y CESIÓN DE DERECHOS

Quien suscribe Erique Campoverde Mayra Yadira con C.I. 1726545393, hace constar que es autora del Proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado: "Análisis de Especies Vegetales Amazónicas para la Remoción de Contaminantes de Hidrocarburos en Suelos Agrícolas, Una Revisión del Estado del Arte", el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del Tutor de dicho Trabajo, Msc. Sarabia Guevara Danilo Pedro. En tal sentido, manifestó 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 12 días del mes de Julio del 2021.



Erique Campoverde Mayra Yadira
Nombre del Estudiante

C.I. 1726545393

DECLARATORIA DE AUTORIA Y CESIÓN DE DERECHOS

Quien suscribe Sanchez Morocho Yuli Esthefany con C.I. 2200345995, hace constar que es autora del Proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado: "Análisis de Especies Vegetales Amazónicas para la Remoción de Contaminantes de Hidrocarburos en Suelos Agrícolas, Una Revisión del Estado del Arte", el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del Tutor de dicho Trabajo, Msc. Sarabia Guevara Danilo Pedro. En tal sentido, manifestó 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 12 días del mes de Julio del 2021.



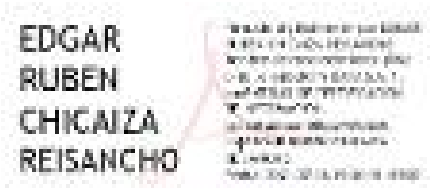
Sanchez Morocho Yuli Esthefany
Nombre del Estudiante

C.I. 2200345995

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El tribunal de sustentación del proyecto de investigación y desarrollo aprueba el proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado:

"Análisis de Especies Vegetales Amazónicas para la Remoción de Contaminantes de Hidrocarburos en Suelos Agrícolas, Una Revisión del Estado del Arte".



Msc. Chicaiza Reisancho Edgar Rubén Presidente del Tribunal



Firmado electrónicamente por:
MIGUEL ANGEL ENRIQUEZ ESTRELLA

Ing. Miguel Ángel Enríquez Estrella Mg.

Miembro del Tribunal



Firmado electrónicamente por:
SANTIAGO NICOLAS AGUIAR NOVILLO

Msc. Aguiar Novillo Santiago Nicolás Miembro del Tribunal

CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD OBTENIDO EN EL SISTEMA ANTI PLAGIO

Quien suscribe el presente MSc. Danilo Pedro Sarabia Gevara con C.I.: 1600452930, certifica que el Trabajo de Integración Curricular titulado:
"Análisis de Especies Vegetales Amazónicas para la Remoción de Contaminantes de Hidrocarburos en Suelos Agrícolas, una Revisión del Estado del Arte", ha sido examinado a través del sistema Anti plagio URKUND y presenta un porcentaje de similitud del 6 %.

En el cantón Pastaza, a los 16 días del mes de julio del 2021.

Firmado electrónicamente por:

DANILO PEDRO SARABIA GUEVARA

MSc. Danilo Pedro Sarabia Guevara

Director del Trabajo de Integración Curricular

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Erique Campoverde Mayra Yadira, declaro que el presente proyecto de investigación, es de mi 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 autor, asumo la responsabilidad legal académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular.



Mayra Yadira Erique Campoverde
No. Cédula: 172654539-3

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Sanchez Morocho Yuli Esthefany, declaro que el presente proyecto de investigación, es de mi 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 autor, asumo la responsabilidad legal académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular.



Yuli Esthefany Sanchez Morocho
No. Cédula: 2200345995

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a Dios por ser quien siempre ha guiado mi camino y darme fuerzas para no desfallecer, a mi madre Laura Mariana Erique Campoverde y hermanas quienes han sido el apoyo fundamental en todo el trayecto de mi carrera, a mis tíos Edgar Trujillo y Nancy Erique quienes siempre creyeron en mí y me apoyaron en todo momento. A mis demás familiares que me han apoyado moralmente siempre con sus consejos.

Yadira Erique

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico en primer lugar a Dios ya que con su bendición estoy cerrando una etapa más de mi vida, a mi madre GLORIA MOROCHO y a mi padre SEGUNDO SANCHEZ que gracias a ellos he obtenido varios logros en mi vida incluyendo este. Me formaron con valores, reglas y con mis libertades necesarias, siempre apoyándome. A mis hermanas Sandra, Melva y Katy quienes estuvieron diariamente apoyándome y guiándome en mi vida.

Se la dedico a mis tíos José Sanchez y Carmen Tene por esos consejos que valen oro, por apoyarme día a día al éxito y no permitir que de un error no me levante. A todos mis familiares que han sido la base de mi formación, cada uno ha aportado grandes cosas a mi vida.

Yuli Sanchez

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero dar gracias a Dios quien supo siempre darme sabiduría sobre todo el ánimo y las fuerzas para no rendirme en toda mi etapa como estudiante sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A la Universidad por el acogimiento durante estos cinco años, a los docentes que han sabido impartir sus conocimientos y experiencias. Por consiguiente, quiero agradecer a mi madre y hermanas, por creer en mí.

A mi familia, a el MSc. Danilo Pedro Sarabia, como tutor, que ha sabido guiarnos en el proceso de este proyecto de titulación, a mi compañera y amiga de tesis Estefany Sánchez quien ha sido un apoyo primordial para desarrollo de este proyecto de titulación.

A mis amistades Marisol, Cristofer, Rubén que he conocido en el transcurso de mi vida universitaria ya que han sido un soporte moral todo el tiempo, doy gracias por toda su ayuda y excelente amistad.

Yadira Erique

AGRADECIMIENTO

Hace cinco años atrás la universidad me dio la bienvenida al mundo del aprendizaje como tal, y mientras transcurrían los días aparecían nuevas oportunidades, mismas que me enseñaron que la vida está llena de retos, errores y tropiezos. Dichas situaciones me llevaron a progresar como persona con carácter y sabiduría.

Agradezco a Dios por iluminar día a día mi vida, no existen palabras suficientes para agradecer a mis amados padres que estuvieron apoyándome en mis decisiones, con miedo de las consecuencias que me conllevaría estas. A mis tres hermanas que han sido un excelente ejemplo y apoyo incondicional durante mis 23 años de vida.

Como no agradecer a mi tutor de tesis un magnifico ser, MSc. Danilo Sarabia, a mi querida amiga y compañera de tesis Erique Yadira, quienes aportaron con valiosos conocimientos, ideas y criterios para este proyecto.

Agradezco con todo mí ser a esa persona que estuvo en los mejores momentos y en las situaciones difíciles del trayecto universitario brindándome ese gran apoyo moral y compartiendo emociones únicas, a quien considero mi hermana, mí querida amiga Nataly Shiguango.

Yuli Sanchez

Resumen

En la presente investigación "Análisis de especies vegetales amazónicas para la remoción de contaminantes de hidrocarburos en suelos agrícolas, una revisión del estado del arte". Uno de los problemas ambientales en la Amazonia, ha sido la exploración y extracción de petróleo que ha ocasionado daños severos en los suelos. Por lo cual se investigó los tipos de especies existentes en la Amazonia para la fitorremediación de hidrocarburos en suelos agrícolas y se identificó las especies vegetales más utilizadas en la remoción a través de bibliografía virtual, Se realizó una propuesta de fitorremediación, en suelos contaminados con carburante, utilizando una matriz con un listado de especies vegetales endémicas de la amazonia o que se adapten a climas amazónicos. Obteniendo como resultados 10 especies vegetales las cuales fueron: Hierba de chivo *(Ageratum conyzoides)*, Pigüe *(Piptocoma discolor)*, Cacao *(Theobroma cacao)*, Cedro *(cedrela odorata)*, Caoba *(Swietenia macrophylla)*, Escoba dura *(Sida rhombifolia)*, Pasto Guinea *(Panicum maximun)*, Pasto Marandú *(Brachiaria brizantha)*, Cortadora *(Paspalum millegrana L)*, Amor seco *(Bidens pilosa L)*. Por consiguiente Se analizó detalladamente las especies ya antes mencionadas, entre las cuales la planta que presento mayor frecuencia de uso en estudios de capacidad fitorremediadora fue: Pasto Marandú *(Brachiaria brizantha)*, lo cual se propuso aplicar como remediadora en suelos agrícolas afectados con hidrocarburos, por lo que esta especie tiene un desarrollo de crecimiento rápido y su aprovechamiento empieza de 90 a 120 días después de su germinación, en comparación a las demás especies analizadas.

Palabras clave: Ambiente, Hidrocarburos, Contaminantes, Fitorremediación, Especies Vegetales.

Abstract

In this research "Analysis of Amazonian plant species for the removal of hydrocarbon contaminants in agricultural soils, a review of the state of the art". One of the main problems in the Amazon has been the exploration and extraction of oil that has caused severe damage to the soils. Therefore, the types of species existing in the Amazon for the phytoremediation of hydrocarbons in agricultural soils were investigated and the most used plant species in the removal were identified through virtual bibliography, a proposal for phytoremediation was made, in soils contaminated with fuel, using a matrix with a list of plant species endemic to the Amazon or that adapt to Amazonian climates. Obtaining as results 10 plant species which were: Goat grass (Ageratum conyzoides), Pigüe (Piptocoma discolor), Cocoa (Theobroma cacao), Cedar (cedrela odorata), Mahogany (Swietenia macrophylla), Broom hard (Sida rhombifolia), Guinea grass (Panicum maximun), Marandú grass (Brachiaria brizantha), Cutter (Paspalum millegrana L), Dry love (Bidens pilosa L). Therefore, the species already mentioned above were analyzed in detail, among which the plant that presented the highest frequency of use in studies of phytoremediation capacity was: Marandú grass (Brachiaria brizantha), which was proposed to be applied as a remedied in agricultural soils affected with hydrocarbons, so that this species has a rapid growth development and its use begins from 90 to 120 days after germination, in comparison to the other species analyzed.

Keywords: Environment, Hydrocarbons, Pollutants, Phytoremediation, Plant Species

CAPÍTULO I

1. Introducción

Los suelos de la Amazonia poseen gran riqueza en petróleo, lo que ha conllevado a la perforación de varios pozos petroleros y con ello el posicionamiento de sus empresas. Sus diferentes actividades han generado impactos negativos en el ambiente e incluso daños irreparables, por ende, el suelo al ser uno de los elementos más utilizado por el ser humano, ha sido malogrado. Velasquez (2017), afirma que los hidrocarburos generan afecciones a la fertilidad del suelo a través de mecanismos como: la toxicidad directa a los organismos, reducción de humedad y nutrientes, compactación, salinidad y alteración del pH.

La persistencia y extensión de la contaminación por hidrocarburos de petróleo depende del tipo de suelo y la cantidad de materia orgánica en el que se encuentre, este tipo de contaminación afecta indirectamente a la flora, generando minerales tóxicos que serán absorbidos por las plantas, además conduce a la pérdida del contenido de materia orgánica, nutrientes y minerales tales como potasio, sodio, sulfato, fosfato, y nitrato". La presencia de estos contaminantes, ha dado lugar a la pérdida de la fertilidad, bajo rendimiento de cosechas, y posibles consecuencias perjudiciales para los seres humanos y el ecosistema entero (Velasquez, 2017).

Para los seres humanos y el ecosistema entero (Velasquez, 2017).

Existen varias técnicas para remediar estos suelos, la fitorremediación es una de ellas, que resulta atractiva por su bajo costo, por mejorar las condiciones físicas, químicas y por ser amigable con el ambiente. En la fitorremediación existen varios mecanismos, mismos que utilizan diferentes partes de las plantas; Fito extracción, Fito estabilización, rizo degradación, Fito volatilización.

Es por ello que en la presente investigación se analizan especies vegetales que se adapten a las condiciones de la Amazonía, con potencial remediador en contaminantes hidrocarburíferos y se hace una propuesta fitorremediadora para la región Amazónica, con la intención de mejorar la calidad del suelo agrícola y con ello los niveles de producción en los cultivos.

1.1 Planteamiento del Problema

Uno de los principales problemas ambientales en la Amazonía, es la explotación petrolera puesto que, la exploración y extracción de petróleo, ocasionan problemas severos en los distintos factores, uno de ellos es el suelo, el cual ha sido degradado, erosionado y deforestado, provocando así la pérdida de materia orgánica y pérdida de nutrientes en los suelos agrícolas. Por lo que se ha encontrado una posible solución mediante la siembra de especies vegetales propias de la Amazonia, lo cual se basó en el análisis de la eficiencia que tiene cada especie en la remoción de contaminantes hidrocarburíferos. Una vez halladas las especies, se seleccionó la que tuvo mayor frecuencia de uso en estudios prácticos fitorremediadores del suelo, dando así la utilidad correspondiente en cuanto a los contaminantes de hidrocarburo.

La principal fuente de contaminación del suelo y el agua se debe a los derrames de petróleo durante su exploración, extracción y transporte. Velásquez (2017) sugiere el uso de la fitorremediación como una alternativa para disminuir los efectos ambientales causados por el derrame de petróleo en la región.

Los compuestos hidrocarburíferos tienen gran resistencia biodegradable que se acumulan y persisten en el ambiente afectando negativamente a los seres vivos. Por ende los derrames de petróleo son los que generan problemas de contaminación. Sin embargo a pesar de la propagación de estos efectos en el entorno no se realiza actividades encaminadas al sistema de remediación de suelos. Lo cual afecta al ser humano de manera permanente sobre su salud. Todos estos aspectos han desencadenado alteraciones ecológicas (Vizuete, 2016).

Se dio a conocer las especies vegetales con mayor frecuencia de uso en fitorremediación, por lo que la población podrá aplicar en suelos agrícolas que contengan estos contaminantes derivados de los hidrocarburos, lo que les permitirá obtener resultados confiables y eficientes.

1.2 Objetivos:

Objetivo General

- Analizar información de especies vegetales amazónicas, con potencialidad fitorremediadora, en la remoción de contaminantes hidrocarburíferos en suelos agrícolas.

Objetivos específicos

- Investigar los tipos de especies vegetales existentes, en la Amazonia para la remoción de hidrocarburos en suelos agrícolas.
- Identificar las especies vegetales más utilizadas en la remoción de hidrocarburos en suelos agrícolas
- Realizar una propuesta de fitorremediación, en suelos contaminados por hidrocarburos, utilizando especies vegetales amazónicas.

1.3 Justificación

Ecuador es un país megadiverso y único en el centro del mundo, siendo una potencia más en el ámbito petrolero. Durante el proceso de explotación del petróleo, especialmente en la etapa de la perforación, se genera diversos desechos contaminantes, entre los más importantes: los cortes y los lodos de perforación. Los cuales están conformados de una mezcla heterogénea de rocas en los que se encuentran metales pesados, sustancias radioactivas y otros contaminantes provenientes del hidrocarburo que llegan a la superficie del suelo.

Díaz (2018), menciona que en la amazonia ecuatoriana los suelos están representados por: producción forestal 41 %, pastos 20% y los suelos agrícolas con un 10%, siendo éstos los usos más importantes. En el porcentaje del uso agrícola del suelo se presenta un gran inconveniente, entre los cultivos y la producción del petróleo. Pues con la explotación del petróleo genera contaminantes directos e indirectos al suelo incluyendo su vegetación, causando así una alteración de compuestos y minerales.

Por lo cual es necesario solucionar la problemática generada en el suelo por contaminantes hidrocarburifeross, mediante la técnica de fitorremediación ya que se obtiene resultados viables y óptimos a bajos costos.

En la presente investigación se ha recopilado especies vegetales que logren la fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos dentro de la Amazonía, realizando un análisis de la eficacia de las especies en remoción de contaminantes. A partir de este estudio se dio a conocer a los agricultores el tipo de especie vegetal más adecuado para la remoción de contaminantes específicos que se presenten en los suelos afectados por derrames de hidrocarburos.

Se utilizó un método documental basado en una revisión bibliográfica actual, las mismas que fueron verificadas a través del análisis de resultados de investigaciones ya realizadas, se espera que esta investigación contenga un alto potencial en especies vegetales con fitorremediación, lo cual se estima contribuir a investigaciones futuras encaminadas al desarrollo biotecnológico que necesita nuestra región Amazónica.

CAPÍTULO II

2. Fundamento teórico

2.1 Suelo

Según Raffino (2020), el suelo es la fracción más superficial de la corteza terrestre, compuesta en su mayoría por residuos de roca provenientes de términos erosivos y otras alteraciones físicas y químicas, así como de materia orgánica proveniente de la actividad biológica que se desarrolla en la superficie. En particular el suelo está formado por diversos elementos que le dan estructura, tales como: rocas de distintos tamaños, arcilla, restos de seres vivos, minerales, arena, sales, pequeños animales, aire y agua.

2.1.1 Importancia del suelo

Durante el transcurso de nuestra vida sólo veremos formarse 30 centímetros de suelo, por ende, se lo considera un recurso no renovable con una gran importancia en su conservación. Su importancia radica en base a principales beneficios como: almacenamiento de carbono, regulación del clima, biomasa, reserva genética, protege restos arqueológicos, mantenimiento de habitad, fotosíntesis, seguridad alimentaria, cultivos agrícolas, su participación en los ciclos biogeoquímicos de elementos clave para la vida como carbono, nitrógeno, fósforo (Burbano, 2016).

2.1.2 Tipos de suelos

De acuerdo a la FAO (2015), la determinación de la estructura del suelo depende de: el tipo (forma o aspecto de grumos), la clase (tamaño de los grumos) y la categoría (grado de distinción de grumos).

El suelo puede ser de color negro, gris, rojo o amarillo y sus propiedades químicas dependen de los distintos minerales que lo componen. Pero también pueden ser ácidos, neutro o alcalinos. Por otro lado, por su textura puede ser arenoso, arcilloso o limoso.

En la Amazonia ecuatoriana, la mayoría de los suelos corresponden al orden inceptisoles, mismos que se caracterizan por poseer una fertilidad muy baja, alta acidez y toxicidad causadas por el aluminio, deficiencia de fosforo, calcio y potasio, también presenta problemas físicos, estructura no definida y alta saturación de humedad, lo cual provoca acumulación de materia orgánica de baja calidad. Sin embargo, en estos suelos crece una exuberante vegetación, lo que ha llegado a

confundir a muchos, porque se asume, que debajo de esta vegetación existen suelos fértiles. Este bajo contenido de nutrientes se debe principalmente a las altas temperaturas y precipitaciones, y a la historia geológica de la región, como la intensa meteorización y lixiviación (Vargas, Nicolalde, Calero, & Vizuete, 2018).

2.1.3 Importancia del suelo en la agricultura

En estos tiempos todos sabemos que el elemento principal para la agricultura es el suelo, a más del agua. El suelo cumple con dos funciones elementales las cuales son:

- Es la infraestructura ecológica de casi todas las plantas y/o cultivos
- La aportación de nutrientes a los cultivos, el agua y el entorno gaseoso para los sistemas radiculares

La sostenibilidad del suelo será crucial para el éxito de la agricultura y sin un suelo sano será difícil conseguirlo. Para hacer esto necesitamos invertir en el presente pensando en lo largo de un plazo en nuestros suelos. García Verde (2018), hace referencia que el suelo en el ámbito agrícola no solo es primordial desde el punto de vista agronómico, sino también, desde el punto de vista medioambiental. Pues una buena salud del suelo ayuda en la protección de la calidad del agua dentro de ecosistemas agrarios, reduciendo el nivel de escorrentía y la lixiviación.

2.2 Petróleo

Recurso natural no renovable, el cual se forma por la degradación anaerobia de materia orgánica durante miles de años y en condiciones ambientales. El petróleo está conformado por varios hidrocarburos (parafínicos, aromáticos y naftalénicos). La composición de crudo es: Carbono 83- 87%, Hidrógeno: 11-14%, Oxígeno: 0-1%, Azufre: 0,2-5%, Nitrógeno: 0-5% y otros componentes en menor cantidad; estas proporciones varía según el yacimiento de donde se extrae el petróleo y la cantidad de grados API (medida de densidad). El grado API es la unidad de medida americana para representar la densidad del petróleo y sus derivados, precisa cuan liviano o pesado es el petróleo. A mayor cantidad de grados API el crudo presenta mejor calidad (Gavilánez, 2016).

En la actualidad los mayores de los problemas ambientales es la contaminación de ecosistemas terrestres causados por los abundantes derrames de hidrocarburos, en su prioridad del petróleo y sus derivados, que ocurren durante sus fases de explotación y transporte de los mismos.

2.2.1 Historia del petróleo en Ecuador

Data, la historia de la producción del petróleo en el Ecuador, que existen rasgos y crónicas de épocas muy antiguas en la que los indígenas hablaban de un elemento de color negro (petróleo) que sobresalía de la superficie de manera natural, mismo que se lo utilizaba con fines terapéuticos (Vásquez, 2015). En cuanto a su producción petrolera, Vásquez (2015), hace referencia que el primer pozo petrolero del país fue descubierto en Santa Elena, la producción a niveles comerciales se dio en el año 1925 y la exportación en 1928, aunque en pocas cantidades. Entre los años 1928 y 1957, el país exportó 42 millones de barriles de crudo. Durante esos años varias compañías de ámbito extranjero como Shell, Estándar Oil, California Oil, Tennesse, y la Western Geophysical Co, obtuvieron más de 5 millones de hectáreas en nuevas concesiones para realizar exploraciones petroleras tanto en el litoral ecuatoriano como en la zona amazónica.

Estas compañías extranjeras año tras año empezaban a tomar posición a medida que el flujo de crudo iba aumentando y se podía exportar; la mayor consecuencia de la entrada de estas compañías extranjeras fue el encarecer el petróleo. Su demanda era más significativa que al inicio, es así como empezaba a incrementar el precio de cada barril en venta. Esta consecuencia desde el punto de vista era positiva, pero lastimosamente nuestro país solo veía una mínima parte de ganancias. Ya para el final de la década de los cincuenta el petróleo comenzó a decaer en campos del litoral ecuatoriano, para el año 1967 este hidrocarburo estaba casi agotado de la provincia de Santa Elena. Es ahí donde se empezaron a realizar diversos estudios sobre los campos vecinos con la finalidad de encontrar nuevas fuentes de explotación. Tras la realización de los estudios técnicos y de campo, se encuentran los primeros lugares a realizar los pozos petroleros en la Amazonía. Siendo el primer pozo petrolero el de la ciudad de Lago Agrio de la compañía TEXACO GULF, produciendo 2700 barriles diarios, dando inicio así al bum petrolero ecuatoriano. Con los resultados de dichos estudios las compañías extranjeras reactivaron sus intereses en el petróleo. En este proceso el estado ecuatoriano otorgó más de cuatro millones de Ha a siete compañías, las cuales obviamente fueron destinadas a exploraciones y explotaciones. Todas estas operaciones se realizaron sin ninguna responsabilidad en la zona, sin ningún tipo de tratamiento, sin importarles el más mínimo impacto ambiental que ocasionarían a la madre naturaleza.

En la presidencia de Velasco Ibarra se ha realizado una revisión sobre las concesiones petroleras; conjuntamente con la Ley de Hidrocarburos que es promulgada el 27 de septiembre de 1971. En dicha Ley se da por recuperar la propiedad del petróleo para el país. Aunque con la Ley de Hidrocarburos se está regulando los contratos, esto no regula la contaminación hacia el ambiente emitida por las empresas petroleras (Vásquez, 2015, pág. 9).

En la actualidad la empresa Petroamazonas es una empresa estatal, esto tras la deserción de Petroecuador. Petroamazonas es la encargada de la extracción del petróleo en el Ecuador. Aplicando varias tecnologías de bajo impacto ambiental, mismas que conllevan a la minimización y eliminación de la construcción de las grandes carreteras y helipuertos que eran construidos dentro de las zonas donde se realizan los procesos de explotación y perforación del petróleo. Esto ayudará a no perder la biodiversidad causada por la cacería, la tala exhausta e ilegal de madera, como también la colonización de parques nacionales (Vásquez, 2015). Hoy en día, la vida de las comunidades se encuentra en condiciones deplorables, pues desde el aire, el agua, su ambiente y en su gran mayoría los ecosistemas importantes tienen una calidad pésima. En consideración a las comunidades ancestrales que basan la mayor parte de su vida a la PACHAMAMA las condiciones de vida son alarmantes.

2.2.2 Clasificación del petróleo

El petróleo se clasifica acorde a la naturaleza química propia del crudo, su densidad en grados API, cuyo valor es determinado por el (American Petroleum Institute) y por su contenido de azufre, el cual lo hará que sea de un alto o bajo costo. El petróleo ligero es el crudo con bajo contenido de ceras que presenta una gravedad API mayor a 31,1 °; el crudo semi pesado presenta una gravedad API entre 22,3 y 31,1 °API; el crudo pesado es el que no fluye con facilidad debido a que su densidad o peso específico es superior a la del crudo semi pesado con una gravedad API inferior a 20 ° y el crudo extra pesado es el crudo que presenta una gravedad inferior a 10 ° API. Se denomina crudo dulce al petróleo que contiene menos del 0,5% de azufre, mismo que contiene cantidades mínimas de dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno, es procesado para hacer gasolina y tiene una gran demanda en las zonas industrializadas (Marco, 2018, pág. 21).

2.2.3 Impactos en el suelo causado por el petróleo

El suelo se encuentra en su composición original, hasta que se incorporan a él restos hidrocarburíferos alterando esa composición, en estos suelos se implementan especies vegetales dimitiendo suelos inutilizables durante muchos años. Los microorganismos también se ven afectado con la presencia del petróleo, pues el alto contenido de sal presente en el petróleo ocasiona la desnaturalización de las proteínas de los microorganismos. De la misma manera se da la deshidratación de las células microbianas inmersa en los suelos contaminados.

Otro parámetro que se ve afectado es la concentración de iones del hidrogeno (pH) el cual va disminuyendo por la causa de la formación de los ácidos orgánicos, acaparamiento del carbono orgánico, aumento del hierro y manganeso (Marco, 2018).

La biodiversidad se ve afectada negativamente ya que esta se encuentra en los bosques tropicales y los mares, lugares donde se realiza la mayor parte de actividades petroleras. Estas actividades petroleras ocasionan graves impactos, mismos que en su mayoría son irreparables e irreversibles. Los impactos en bosques tropicales son identificados a simple vista, siendo más obvio la deforestación. En la actualidad se aplican las mejores normas hidrocarburíferas, pero, con mayor frecuencia las incumplen, En el Ecuador se han talado 54.000 hectáreas de bosques primarios para el ámbito de sísmicas.

Huachi (2018), aclara que, “no solo el tema de sísmicas necesita de deforestación, sino también, las otras fases de operaciones petroleras requieren de lugar amplio y limpio, como la infraestructura de las plataformas de perforación, los campamentos móviles, las líneas secundarias, los pozos entre otras”. Pero ¿porque la necesidad de la deforestación?, la deforestación se da a cabo en lo general por dos causas:

- Para la aclaración del lugar y poder realizar la instalación de infraestructuras
- Para realizar las empalizadas se usan tablones obtenidos del bosque

Un impacto indirecto es el de la apertura de las vías o carreteras que conllevan a la colonización. La deforestación y colonización provocan muchos impactos negativos sobre los animales del bosque o selva amazónica, con más énfasis en los animales mayores y aves que huyen del lugar afectado en busca de nuevos bosques.

2.2.4 Faces de la industria petrolera

La industria petrolera está compuesta por las siguientes fases:

- **Exploración:** Consiste en la exhausta búsqueda de yacimientos de hidrocarburos con métodos sísmicos y geológicos.
- **Explotación:** Parte de la extracción del petróleo y gas del subsuelo.
- **Refinación:** Fase donde se transforma el crudo en combustibles, dándoles valor agregado y satisfaciendo las necesidades energéticas internas y exportando combustibles.
- **Almacenamiento y transporte de crudo y derivados:** Constituyen los sistemas de oleoductos, tanques y poliductos, que sirven para transporte y almacenamiento de crudo y derivados.
- **Comercialización:** Proceso de venta externa del petróleo al mercado internacional y la comercialización interna. "Los procesos de comercialización deben estar encaminados a planificar, fijar precios, promover y distribuir productos y servicios que satisfagan las necesidades de los consumidores". (Coaching, 2017)

Figura 2-1. *Cadena de abastecimiento y comercialización de combustibles*



Fuente: (Coaching, 2017)

2.3 Hidrocarburos

Un hidrocarburo es un compuesto orgánico que en lo principal está compuesto por Carbono e Hidrogeno, el mismo que puede presentarse en los tres estados de la materia (solida-liquida-gaseosa). El componente más importante del petróleo son compuestos reactivos químicos, tóxicos o explosivos que forman los alcanos. Estos alcanos se clasifican según el tipo de enlace que constituya a la molécula de carbono dentro de las estructuras de los hidrocarburos (Marco, 2018, pág. 26).

2.3.1 ¿Cómo afecta la perforación para obtener el hidrocarburo del suelo?

Cada una de las fases de las operaciones petroleras atentan contra el medio ambiente y a la biodiversidad (Raffino, 2020). Las dos principales causas de afectación ambiental son la contaminación y la deforestación. La contaminación en la naturaleza puede ser diversa, a través de componentes químicos donde se incluye el petróleo y sus componentes.

La deforestación en cambio se provoca cuando por la exploración de yacimientos de petróleo, se procede a la construcción de la infraestructura como campamentos, plataformas de perforación, carreteras de acceso, el tendido del oleoducto. Existen varias causas para la deforestación, la tala y despejo del bosque es la principal forma para la instalación de la infraestructura y de los campamentos, para la construcción de carreteras que da puerta abierta para la colonización de zonas protegidas y a su deforestación, afectando a su biodiversidad y ecosistema (Vásquez, 2015).

2.3.2 Hidrocarburos Totales Policíclicos (TPHs)

Este tipo de hidrocarburos corresponde a la mezcla homogénea de hidrocarburos y generalmente se utiliza para hacer descripción de una gran familia de componentes químicos tóxicos originarios del petróleo crudo. En el petróleo tanto crudo como refinado se encuentran diversos productos químicos, por lo cual no es posible ni practico la medición de cada componente de manera individual. Por ende, se procede a realizar la medición de la cantidad total de hidrocarburos policíclicos (TPHs) dentro de un sitio ya determinado (Vásquez, 2015).

Marco (2018), detalla que las condiciones ambientales que se presenten dentro del suelo contaminado van a ser evidenciados en la degradación de TPHs, por este motivo es imprescindible realizar un respectivo control (pág. 30). En un lugar en el que se presente un derrame de crudo se debe tomar en cuenta diversos factores físicos y ambientales tales como; la temperatura, misma que tiene la influencia directa sobre la naturaleza química y física del petróleo. Si se estabiliza el petróleo en un rango apropiado de temperatura hará de intensificar la actividad enzimática de los microorganismos. La actividad enzimática de los microorganismos aumenta la eficiencia en los procesos de bioremediación.

Otro de los factores necesarios en el proceso degradatorio es la presencia de oxígeno molecular que permite la oxidación de sustratos por las enzimas

oxigenasas de los microorganismos y la rápida volatilización de compuestos tóxicos. Por esta razón cuando el contenido de oxígeno en el suelo es bajo se afecta el proceso de degradación.

Estudios realizados mencionan que el rango óptimo de pH para procesos de biorremediación de lodos que contiene TPHs en suelo se encuentran dentro del rango 5,0 y 7,8. Además del pH y la temperatura, es importante adicionar nutrientes debido a que son necesarios para el desarrollo de la actividad microbiana (Rojas, 2015).

Adicionalmente, después de un derrame de petróleo, se observa una elevada concentración de carbono y una carencia de nitrógeno y fosforo, los cuales son necesarios para el metabolismo microbiano, por este motivo se debe optar por la implementación de estrategias de biorremediación como la bioestimulación o la bioaumentación.

2.3.3 Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (HAPs)

Los hidrocarburos policíclicos aromáticos, son hidrocarburos orgánicos de dos o más anillos bencénicos que constituyen una fracción importante del petróleo, mismos que se encuentran alineados en forma angular o agrupada. La resonancia es la principal responsable para que estos compuestos sean resistentes a la oxidación tanto química como biológica proporcionándoles una elevada estabilidad, toxicidad y persistencia a este tipo de hidrocarburos (Vásquez, 2015).

Los HAPs son comúnmente generados por la combustión incompleta de la materia orgánica, de manera natural como antropogénica (incineración de residuos, automóviles, incendios forestales, etc. Cuando los HAPs se depositan en la superficie terrestre se unen a las partículas del suelo, dependiendo del tipo de suelo (contenido de materia orgánica, su composición, su estructura y tipo de HAP contaminante) (Raffino, 2020), por lo que es la adsorción la que gobierna su movilidad (Huachi, 2018). La reducción de la biodisponibilidad de los HAPs con el tiempo representa uno de los desafíos más difíciles en la biorremediación de suelos contaminados, dado que estos compuestos aromáticos son progresivamente secuestrados y quedan menos disponibles para los microorganismos (Marco, 2018). La contaminación del suelo con HAPs está asociada generalmente a derrames accidentales o a la pérdida de productos derivados del petróleo refinado (Raffino, 2020).

Las características físico químicas de los HAPs, son las que condicionan su forma de comportarse en el medio ambiente, estas son la recalcitrancia y la hidrofobicidad, cada una de estas características aumentan según el número de anillos bencénicos que presente la estructura del HAP y son las responsables para que se adsorban en la superficie y dificulte los procesos de biorremediación. Pueden acumularse en la cadena trófica y presentan toxicidad por contacto, inhalación o ingestión, debido a que presentan baja hidrosolubilidad (Marco, 2018, pág. 32).

2.3.4 Derrame de petróleo

El desarrollo de la población lleva consigo el consumo de recursos naturales renovables y no renovables, siendo el suelo el más afectado. Este, es el componente primordial para la conservación del ser humano en el planeta tierra; además de ser un recurso no renovable a escala humana. De él se obtienen alimentos, insumos para la industria y recursos energéticos. Los derrames de hidrocarburos son comunes durante los procesos de producción de crudo, así como también durante su comercialización, transporte y almacenamiento en sitios de acopio y distribución como se ha mencionado en reiteradas ocasiones.

En un lugar en el que se presente un derrame de crudo se debe tomar en cuenta diversos factores físicos y ambientales tales como; la temperatura, misma que tiene la influencia directa sobre la naturaleza química y física del petróleo. Si se estabiliza el petróleo en un rango apropiado de temperatura hará de intensificar la actividad enzimática de los microorganismos. La actividad enzimática de los microorganismos aumenta la eficiencia en los procesos de bioremediación.

Otro de los factores necesarios en el proceso degradatorio es la presencia de oxígeno molecular que permite la oxidación de sustratos por las enzimas oxigenasas de los microorganismos y la rápida volatilización de compuestos tóxicos. Por esta razón cuando el contenido de oxígeno en el suelo es bajo se afecta el proceso de degradación.

Estudios realizados mencionan que el rango óptimo de pH para procesos de biorremediación de lodos que contiene TPHs en suelo se encuentran dentro del rango 5,0 y 7,8. Además del pH y la temperatura, es importante adicionar nutrientes debido a que son necesarios para el desarrollo de la actividad microbiana (Rojas, 2015).

Adicionalmente, después de un derrame de petróleo, se observa una elevada concentración de carbono y una carencia de nitrógeno y fosforo, los cuales son necesarios para el metabolismo microbiano, por este motivo se debe optar por la implementación de estrategias de biorremediación como la bioestimulación o la bioaumentación.

2.4 Fitorremediación

El interés en la fitorremediación como método para resolver la contaminación ambiental ha estado creciendo rápidamente en los últimos años. Esta tecnología verde que involucra "plantas tolerantes" se ha utilizado para limpiar el suelo y el agua subterránea de metales pesados y otros compuestos orgánicos tóxicos. La fitorremediación implica el cultivo de plantas en una matriz contaminada para eliminar contaminantes ambientales, facilitando el secuestro y / o degradación (desintoxicación) de los contaminantes.

2.4.1 Tipos de contaminantes

La contaminación del ambiente se produce por la incorporación de cualquier tipo de energía, organismo o sustancia, que afecta las características de los ecosistemas, modificando negativamente sus propiedades y su capacidad para asimilarlas o degradarlas. Su entrada se realiza como consecuencia de las actividades antropogénicas, aunque también se puede producir de forma natural. De manera general, los contaminantes se clasifican en: Contaminantes orgánicos: incluyen hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH's), PCB's, dioxinas, hidrocarburos de petróleo, disolventes clorados**,** compuestos aromáticos que se emplean en la producción de colorantes, explosivos, productos farmacéuticos, plaguicidas (herbicidas, insecticidas y fungicidas), surfactantes, entre otros. En comparación con los compuestos inorgánicos, estos contaminantes son menos tóxicos para las plantas, ya que son menos reactivos y se acumulan en menor proporción (Tovar, 2019). En general, los mecanismos involucrados en la remoción de contaminantes son de tres tipos:

- Físicos (sedimentación, filtración, adsorción, volatilización).
- Químicos (precipitación, hidrólisis, reacciones de óxido-reducción o fotoquímicas).
- Biológicos (resultado del metabolismo microbiano, del metabolismo de plantas o de procesos de bioadsorción) (FAO, 2019).

2.4.2 Transporte de contaminantes orgánicos

Algunas plantas tienen la capacidad para metabolizar o acumular compuestos orgánicos. Los microorganismos que habitan en la rizósfera juegan un papel importante en la degradación de la materia orgánica. Los metabolitos generados de esta degradación son absorbidos por las plantas junto con nitrógeno, fósforo y otros minerales (Tovar, 2019).

Algunos compuestos orgánicos son utilizados por los microorganismos como fuente de carbono (Nisha, 2018). Los compuestos alifáticos se degradan fácilmente por oxidaciones sucesivas. Cuando se incluyen como sustituyentes aléanos de cadena larga, se forman estructuras ramificadas estancamente inaccesibles a la degradación. Los compuestos aromáticos o cíclicos se degradan a partir de la ruptura del anillo. La incorporación de halógenos disminuye la degradabilidad por estabilización del anillo aromático.

El orden decreciente de biodegradación es, generalmente, n-alcanos > isoprenoides >aromáticos de bajo peso molecular > cicloalcanos > poliaromáticos > moléculas polares (Muhammad, 2017).

Otro fenómeno importante es el relacionado con la atracción electrostática entre las cargas eléctricas de las raíces de las plantas con las cargas opuestas de partículas coloidales, las cuales se adhieren a la superficie de la raíz donde son absorbidas y transportadas a las partes aéreas donde se metabolizan o volatilizan. El tipo de planta y las propiedades físicas y químicas de estos compuestos son parámetros importantes que determinan el destino de los contaminantes (Hernandez, Lárez, & García, 2017). Para la fitorremediación de contaminantes orgánicos se toma en cuenta los siguientes aspectos: El metabolismo de los contaminantes al interior y al exterior de la planta (rizósfera), los procesos que conducen a la completa degradación de los contaminantes (mineralización) y la absorción de los contaminantes. Las plantas son capaces de metabolizar los compuestos orgánicos a través de tres pasos secuenciales:

Fase I. Involucra la conversión/activación (oxidación, reducción e hidrólisis) de los compuestos orgánicos lipofílicos (Cárdenas, Quispe, & Contreras, 2017).

Fase II. Permite la conjugación de los metabolitos de la fase I a una molécula hidrofílica endógena como los azúcares, aminoácidos y glutationa (Cárdenas, Quispe, & Contreras, 2017).

Fase III. Promueve la compartimentalización de los compuestos orgánicos modificados en las vacuolas o formación de enlaces con los componentes de la pared celular como la lignina y la hemicelulosa. Las enzimas, en la planta, que catalizan la primera fase de las reacciones son las monoxigenasas y las carboxilesterasas. De la segunda fase, en la que ocurre la conjugación por enzimas como la glutationa S-transferasa, resulta la formación de compuestos solubles y polares. La tercera fase del metabolismo de la planta es la compartimentalización y almacenamiento de los metabolitos solubles en las vacuolas o en la matriz de la pared celular. La glutationa S-conjugasa es la encargada de este proceso (Hernandez, Lárez, & García, 2017).

2.1.1 Transporte de contaminantes inorgánicos

Los metales pesados son aquellos elementos químicos que presentan una densidad igual o superior a 5 g/cm^3 cuando están en forma elemental o cuyo número atómico es superior a 20 (Vásquez, 2015). Muestran una elevada tendencia a bioacumularse y a biomagnificarse a través de su paso por los distintos eslabones de las cadenas tróficas. En concentraciones elevadas, ocasionan graves problemas en el desarrollo, crecimiento y reproducción de los seres vivos (Muhammad, 2017).

Los mecanismos de tolerancia varían entre las distintas especies de plantas y están determinados por el tipo de metal, eficiencia de absorción, traslocación y secuestro. Las fases del proceso por el cual las plantas incorporan y acumulan metales pesados son las siguientes:

Fase I. Implica el transporte de los metales pesados al interior de la planta y, después, al interior de la célula. La raíz constituye el tejido de entrada principal de los metales, los cuales llegan por difusión en el medio, mediante flujo masivo o por intercambio catiónico.

La raíz posee cargas negativas en sus células, debido a la presencia de grupos carboxilo, que interaccionan con las positivas de los metales pesados, creando un equilibrio dinámico que facilita la entrada hacia el interior celular, ya sea por vía apoplástica o simplástica (Huachi, 2018).

Fase II. Una vez dentro de la planta, las especies metálicas son secuestradas o acomplejadas mediante la unión a ligandos específicos. Entre los quelantes producidos por las plantas se encuentran los ácidos orgánicos (ácidos cítrico, oxálico y málico), algunos aminoácidos (histidina y cisteína) y dos clases de péptidos: fitoquelatinas y metaloteínas.

Las fitoquelatinas son ligandos de alta afinidad que tienen como sustrato al glutatión. Están constituidas básicamente por 3 aminoácidos: ácido glutámico, cisteína y glicina, unidos por enlaces peptídicos.

Las metalotioneinas son polipéptidos de unos 70-75 aminoácidos con un alto contenido en cisteína, aminoácido capaz de formar complejos con cationes mediante el grupo sulfidrilo. Tienen una marcada afinidad por las formas iónicas de Zn, Cd, Hg y Cu.

Fase III. Involucra la compartimentalización y detoxificación, proceso por el cual, el complejo ligando-metal queda retenido en la vacuola.

2.1.2 Tecnologías de fitorremediación

Las fitotecnologías se basan en los mecanismos fisiológicos básicos que tienen lugar en las plantas y en los microorganismos asociados a ellas, tales como: traspiración, fotosíntesis, metabolismo y nutrición.

Tabla 2-1.- Mecanismos de Fitorremediación

PROCESOS	MECANISMOS	CONTAMINANTES
Fitoestabilización	Complejación	Orgánicos e inorgánicos
Fitoextracción	Hiperacumulación	Inorgánicos
Fitovolatilización	Volatilización a través de hojas	Orgánicos e inorgánicos
Fitoinmovilización	Acumulación en la rizosfera	Orgánicos e inorgánicos
Fitodegradación	Uso de plantas y microorganismos asociados para degradar contaminantes	Orgánicos
Rizofiltración	Uso de raíces para absorber y adsorber contaminantes	Orgánicos e inorgánicos

Fuente: (Llatance, Emiliani, Bergara, Salvatierra, & Perez, 2019).

Nisha (2018), menciona que, dependiendo del tipo de contaminante, las condiciones del sitio y el nivel de limpieza requerido; las tecnologías de fitorremediación se pueden utilizar como medio de contención (rizofiltración, fitoestabilización y fitoinmovilización) o eliminación (fitodegradación, fitoextracción y fitovolatilización).

2.1.3 Plantas transgénicas y fitorremediación

Los organismos genéticamente modificados (OGM), comúnmente conocidos como transgénicos, juegan un papel importante en diversos ámbitos de la vida actual. Las plantas transgénicas se han diseñado para producir una gran variedad de productos. Una prueba de ello son las plantas comestibles utilizadas como vehículos de reparto de medicamentos en lugares donde los fármacos son

demasiados costosos o no están disponibles. Por ejemplo, las papas con vacuna antidiarreica o los plátanos y alfalfa con vacuna del cólera (Montalvo, Monzón, & Figueroa, 2019). Otro uso importante de las plantas GM es para la prevención y remoción de la contaminación medioambiental.

2.1.4 Prevención de la contaminación

Las plantas GM empleadas con este propósito reducen significativamente la cantidad de agroquímicos necesarios para los cultivos (Hernandez, Navas, & Infante, Phytoremediation of a soil contaminated with extra heavy ppetroleum by; Megathyrsus maximus, 2017). Un ejemplo de estas plantas es el maíz Bt. La denominación Bt deriva de *Bacillus thuringiensis,* una bacteria que habita en el suelo y cuyas esporas contienen proteínas tóxicas para ciertos insectos, como el gusano barrenador *(Di atrae a saccharalis).* El maíz Bt se produce al insertar a la planta, el gen *cry* extraído de la bacteria Bt. Este gen codifica para la síntesis de proteínas Cry, las cuales se activan en el sistema digestivo del insecto alterando su equilibrio osmótico y provocando su parálisis, por lo que el insecto deja de alimentarse y muere a los pocos días.

Otro ejemplo es el que se ha insertado en las plantas de tabaco, un gen que es responsable de la producción de feromonas sexuales femeninas en la polilla de la col. Estas plantas se siembran cerca o alrededor de los campos de cultivo alimenticios que requieren protección y atraen a las polillas del sexo opuesto, con lo que se reduce la efectividad del apareamiento y la disminución de la población de la polilla. Este enfoque no erradica totalmente la plaga, pero reduce las pérdidas de plantas que necesitan ser protegidas (Cárdenas, Quispe, & Contreras, 2017).

2.1.5 Remoción de la contaminación

Las plantas GM diseñadas para este fin, son capaces de metabolizar compuestos orgánicos o bien de acumular mayor cantidad de contaminantes inorgánicos (Nisha, 2018). Generalmente, la fitorremediación es una función conjunta entre la planta y los microorganismos de la rizosfera (Llatance, Emiliani, Bergara, Salvatierra, & Pérez, 2019). Algunas especies de bacterias degradan, de manera selectiva, ciertos compuestos que son tóxicos para las plantas. Los productos metabólicos del proceso microbiano son asimilados y convertidos, por las especies vegetales, en compuestos menos tóxicos. Por lo tanto, las modificaciones genéticas de los microorganismos presentes en la rizosfera representan una posibilidad en el mejoramiento de las técnicas fitocorrectivas, además, la introducción de

microorganismos GM asegura que los cambios se limiten a los consorcios bacterianos presentes en la raíz y que estos no se encuentren en el suelo circundante (Hernandez, Navas, & Infante, Phytoremediation of a soil contaminated with extra heavy ppetroleum by; Megathyrsus maximus, 2017).

Un ejemplo de ello, es la rizoremediación, por la *Pseudomona fluorescens*, de PCB 's. Este proceso se regula mediante un sistema que responde a las señales de las raíces de la alfalfa (Huachi, 2018). Otro enfoque prometedor, involucra el uso de bacterias edáficas GM que remedian compuestos orgánicos volátiles solubles en agua (Marco, 2018), Un ejemplo de ello son las bacterias que degradan el tricloroetileno, las cuales protegen a la planta huésped en contra de su fitotoxicidad y contribuyen a la disminución de su evapotranspiración (Huachi, 2018).

La fitoextracción es una solución para la remoción de contaminantes que no pueden ser degradados. A pesar de que existen plantas hiperacumuladoras que son buenas candidatas para la fitorremediación, muchas de ellas poseen poca biomasa, por lo que el uso de la ingeniería genética permite transferir y sobre expresar los genes de bacterias, levaduras o animales. Se han caracterizado y fiincionalizado, a nivel molecular, un gran número de sistemas de descontaminación de elementos traza en levaduras y bacterias. Un ejemplo de ello, es la sobreexpresion de los genes involucrados en la síntesis de metaloteinas (MT), lo que mejora la capacidad de quelación o traslocación de metales (Hernandez, Navas, & Infante, Phytoremediation of a soil contaminated with extra heavy ppetroleum by; Megathyrsus maximus, 2017). Por ejemplo, la sobreexpresion de genes MT en la planta de tabaco promueve tolerancia al Cd. La sobreexpresion del gen CUPI en la coliflor, promueve la acumulación de Cd hasta en 16 veces más que en la planta sin modificación genética. Se ha reportado una mayor acumulación de Cu en *Arabidopsis thaliana* por la sobreexpresión del gen MT del chícharo (Tovar, 2019).

2.1.6 Ventajas y limitaciones de la fitorremediación

La fitorremediación, por sí misma, muestra una serie de ventajas y limitaciones en comparación con otras tecnologías convencionales, las fitotecnologías son especialmente útiles para su aplicación en grandes superficies, con contaminantes relativamente inmóviles o con niveles de contaminación bajo, y deben considerarse procesos de recuperación a largo plazo (Farraji, Zamman, & Faraji, 2016).

CAPÍTULO III

3. Metodología

La presente investigación se realizó en estudios prácticos anteriores sobre fitorremediación de suelos amazónicos, lo cual permitió el alcance de todos los objetivos planteados y de esa manera se logró obtener información necesaria para el desarrollo del presente proyecto investigativo.

3.1 Tipo o Diseño de Investigación

En el presente estudio se utilizó una investigación de tipo exploratorio documental sobre el análisis mediante especies vegetales en la Amazonía para la remoción de contaminantes hidrocarburíferos en suelos agrícolas.

Se utilizó una investigación de carácter analítica, misma que accede a conocimientos con énfasis a problemas científicos. También, permitió conocer el tipo de plantas que se debe utilizar para la remoción de contaminantes de hidrocarburos en suelos agrícolas de la Amazonía.

Mediante una investigación descriptiva se realizó la búsqueda de las especies vegetales que se pueden emplear en una fitorremediación de hidrocarburos en suelos de la amazonia.

3.2 Métodos de investigación

Para dar cumplimiento al objetivo uno, se desarrolló una búsqueda detenida y sistemática sobre las especies vegetales utilizadas en la fitorremediación de la Amazonia, en distintas bases de datos como; bibliotecas virtuales, repositorios universitarios, Google Académico, Scielo, Redalyc, Scopus, tesis, maestrías o tesinas de posgrado y pregrado. Mismas que nos conllevaron a obtener información actual y relevante sobre el tema en estudio.

Esta búsqueda se dio mediante la introducción de palabras claves en la base de datos que anteriormente ya se mencionaron, las palabras o términos claves que se utilizaron en el estudio de investigación fueron: fitorremediación en el suelo, remoción de contaminantes hidrocarburíferos, especies vegetales fitorremediadoras, contaminación por hidrocarburos, hidrocarburos en la agricultura, consecuencia del petróleo en los cultivos, fitorremediación amazónica, pytoremediation, plant species used to remove hydrocarbons, entre otros.

Una vez obtenida la información se elaboró un listado de especies vegetales endémicas de la amazonia o que se adapten a climas amazónicos, luego se investigó cada planta para verificar si dentro de sus funciones se encuentra la remoción de hidrocarburos.

Para dar cumplimiento al segundo objetivo; se realizó de la misma manera que el primer objetivo, la respectiva búsqueda bibliográfica en la cual nos permitió sintetizar, analizar y recopilar información de artículos científicos y repositorios online académicos, relacionados sobre la eliminación o remoción de los contaminantes hidrocarburíferos.

Una vez que se cumplió con el primer objetivo se procedió a investigar la frecuencia de cada especie utilizada en investigaciones de fitorremediación de hidrocarburos dentro de la amazonia y el lugar ya sea país o provincia que se realizó cada estudio, al igual que en el primer objetivo se consultó en las siguientes bases de datos; Google Académico, Scielo, Redalyc, Researchgate, Dialnet, Scopus, tesis de posgrado y pregrado que estuvieron relacionados con el tema.

Los términos que se utilizaron para la búsqueda son: frecuencia de uso de plantas amazónicas para remediación, número de investigaciones remediadoras realizadas en la Amazonia. Listado de estudios fitorremediadores prácticos en suelos amazónicos del Ecuador, de Perú y de Colombia. Una vez encontrada la información se procedió a realizar una tabla descriptiva de cada especie vegetal, su nombre común, nombre científico, la frecuencia de uso en fitorremediación, los principales resultados obtenidos en cada estudio y su respectiva fuente de donde se obtuvo la información de uso en la remoción de contaminantes hidrocarburíferos.

Durante la búsqueda de información bibliográfica se tomó en consideración un período límite para la revisión, la cual fue de cinco años atrás del año en el que se elaboró este documento. Siendo así el año 2016 el máximo a retroceder del año 2021, tomando en cuenta que esta investigación se realizó en los primeros meses del año 2021 y aun no existen suficientes estudios e investigaciones publicadas sobre el tema de fitorremediación, además se mantuvo muy presente la consideración de información en artículos nacionales e internacionales con idioma español y extranjeros como el inglés.

Para dar cumplimiento al tercer objetivo se realizó una propuesta de fitorremediación para suelos agrícolas contaminados por hidrocarburos en la Amazonía, considerando las especies vegetales que mejor se adapten a las

condiciones climáticas amazónicas y las especies que se hayan utilizado con mayor frecuencia en los estudios fitorremediadores.

Una vez que se recopiló los datos e información bibliográfica se realizó un análisis detallado de las especies vegetales que ayuden a eliminar o reducir los contaminantes por hidrocarburos presentes en los suelos de la Amazonía.

CAPITULO IV

4 Análisis de resultados

Durante la investigación elaborada se han encontrado 10 especies vegetales de la amazonia y/o que se adaptan a condiciones climáticas amazónicas, que a lo largo del tiempo han venido siendo utilizadas en estudios de remediación de suelos contaminados por hidrocarburos. Entre las especies estudiadas se encuentran: Hierba de chivo *(Ageratum conyzoides),* Pigüe *(Piptocoma discolor),* Cacao *(Theobroma cacao),* Cedro *(cedrela odorata),* Caoba *(Swietenia macrophylla),* Escoba dura *(Sida rhombifolia),* Pasto Guinea *(Panicum maximun),* Pasto Marandú *(Brachiaria brizantha),* Cortadora *(Paspalum millegrana L),* Amor seco *(Bidens pilosa L).*

4.1 Descripción botánica de plantas fitorremediadoras de hidrocarburos

4.1.1 Ageratum conyzoides (Hierba de chivo)

Es una hierba erguida anual reportada como una maleza invasora, tiene una gran adaptabilidad a diferentes medios ecológicos, así como los cambios que ocurren en su alrededor, es por ello que se las puede encontrar en hábitats alterados por la acción del ser humano como son los bordes de los caminos, campos de cultivos abandonados y en zonas urbanas. Su manera de reproducirse es mediante semillas, donde un individuo puede producir hasta 40 000 semillas. Llega a tener 1 m de altura, su ciclo de vida se completa entre las 10 a 12 semanas, con una raíz de 9cm (Vélez, 2019).

Tabla 1-4.- *Taxonomía de la especie Ageratum conyzoides*

División	*Magnoliophyta*
Clase	*Magnoliopsida*
Orden	*Asterales*
Familia	*Asteraceae*
Género	*Ageratum*
Nombre Científico	*Ageratum conyzoides*

Fuente: *(Vélez, 2019)*

4.1.2 Piptocoma discolor (Pigüe)

Es una especie nativa de la Amazonía de América del Sur, con predominancia en el bosque secundario, considerada una especie pionera por su forma natural de crecimiento en los claros del bosque. Es un árbol de madera blanda y crecimiento rápido que puede alcanzar una altura máxima de 30 m, el diámetro

del tronco es de aproximadamente 60 cm, con forma cilíndrica, crece en suelos limosos y arcillosos de bosques secundarios tempranos y tardíos de la región amazónica, su aprovechamiento maderable empieza desde sus 16 meses en adelante (Gonzáles, Papue, & Borja, 2018).

Tabla 2-4.- *Taxonomía de la especie Piptocoma discolor*

División	*Magnoliophyta*
Clase	*Magnoliopsida*
Orden	*Asterales*
Familia	*Asteraceae*
Género	*Piptocoma*
Nombre Científico	*Piptocoma discolor*

Fuente: *(Gonzáles, Papue, & Borja, 2018)*

4.1.3 Theobroma cacao (cacao)

Es un árbol de 4-8 m de alto, nativo de las regiones tropicales de América, con semillas que contienen una cantidad significativa de grasas (40-50%) y polifenoles (alrededor del 10% del peso del grano seco). Crece en topografía plana u ondulada. Llega a crecer en terrenos que sobrepasan el 50 % de pendiente, en cañadas, a orilla de arroyos. Suproducción empieza desde los 2-4 años de la siembra (Tuesta, Guzmán, & Pariente, 2020).

Tabla 3-4.- *Taxonomía de la especie Theobroma cacao*

División	*Magnoliophyta*
Clase	*Magnoliopsida*
Orden	*Malvales*
Familia	*Sterculiaceae*
Género	*Theobroma*
Nombre Científico	*Theobroma cacao*

Fuente: (Tuesta, Guzmán, & Pariente, 2020)

4.1.4 Cedrela odorata (cedro)

El cedro es un árbol maderable que tiene un fuste que puede alcanzar los 40 m de altura. Su tronco es recto, tiene un sistema radical bastante superficial, La copa presenta formas globosas o redondeadas con follaje denso, Las hojas son compuestas y alternas, las flores se agrupan en inflorescencias con pániculas variables en tamaño, los frutos son capsulares, La madera es olorosa, bastante liviana, se empieza a aprovechar desde sus 20-25 años (Tuesta, Guzmán, & Pariente, 2020).

Tabla 4-1.- *Taxonomía de la especie Cedrela odorata*

División	*Magnoliophyta*
Clase	*Magnoliopsida*
Orden	*Sapindales*
Familia	*Meliaceae*
Género	*Cedrela*
Nombre Científico	*Cedrela odorata*

Fuente: *(Tuesta, Guzmán, & Pariente, 2020)*

4.1.5 ***Swietenia macrophylla*** (caoba)

Es un árbol no deciduo, de 30 a 40 m de altura y con un diámetro de 2 m. De fuste largo y recto, cilíndrico, su corteza es de color gris, en arboles maduros se torna marrón oscuro y textura escamosa, su aprovechamiento comienza en los 25-30 años de haberse sembrado *(Instituto Nacional de Bosques [INB], 2017).*

Tabla 5-4.- *Taxonomía de la especie Swietenia macrophylla*

División	*Magnoliophyta*
Clase	*Magnoliopsida*
Orden	*Sapindales*
Familia	*Meliaceae*
Género	*Swietenia*
Nombre Científico	*Swietenia macrophylla*

Fuente: (Instituto Nacional de Bosques [INB], 2017)

4.1.6 Sida rhombifolia (Escoba dura)

Es una planta con tallo erecto perenne, muy común en los terrenos baldíos, en las orillas de los carreteros y en bosques alterados por los humanos. Se distribuye generalmente en forma de pequeños manchones, con tallos ramificados, las flores son amarillas, sus hojas son anchas. Se propaga por semillas, su ciclo de vida termina en 3 años (Rivas, 2016).

Tabla 6-4.- *Taxonomía de la especie Sida rhombifolia L*

División	*Magnoliophyta*
Clase	*Magnoliopsida*
Orden	*Malvales*
Familia	*Malvaceae*
Género	*Sida*
Nombre Científico	*Sida rhombifolia. L*

Fuente: (Rivas, 2016)

*4.1.7 **Panicum maximun*** (Pasto Guinea)

Es una Gramínea perenne con hojas alargadas y tallos erectos, presenta inflorescencia en forma de panícula con semillas pequeñas, su crecimiento es en macollas y puede llegar a medir una altura de hasta 3 metros. Se caracteriza por presentar una alta tasa de rebrote, se aprovecha a los 180 días después de la siembra (Gonzalez, info pastos y forrajes.com, 2019).

Tabla 7-4.- *Taxonomía de la especie Panicum maximun*

División	*Magnoliophyta*
Clase	*Liliopsida*
Orden	*Cyperales*
Familia	*Poaceae*
Género	*Panicum*
Nombre Científico	*Panicum maximun*

Fuente: (Gonzalez K. , zootecnia y veterinaria , 2017)

*4.1.8 **Brachiaria brizantha*** (Pasto Marandú)

Es una especie gramínea perenne de buena persistencia. Su crecimiento semi erecto y forma macollas de hojas largas, erectas, con una buena relación hoja – tallo. Finalmente puede alcanzar hasta 1.5 metros de alto. Se adapta a suelos bien drenados de mediana a alta fertilidad, Ph de 4.0 a 7.0, texturas arenosas a pesadas, resistente a saturación de aluminio *(Gonzalez, info Pastos y Forrajes.com, 2021)*. Su aprovechamiento empieza de los 90-120 días después de la germinación.

Tabla 8-4.- *Taxonomía de la especie Brachiaria brizantha*

Reino	*Plantae*
Orden	*Poales*
Familia	*Poaceae*
Género	*Brachiaria*
Nombre Científico	*Brachiaria brizantha*

Fuente: (Gonzalez, info Pastos y Forrajes.com, 2021)**.**

*4.1.9 **Paspalum millegrana L*** (Cortadora)

Gramínea de crecimiento erecto que forma cepas frondosas y vigorosas. Alcanza 1.60 m de altura. Sus hojas son color verde oscuro, con los márgenes filosos. La inflorescencia, panoja con 12-25 racimos rígidos, y sus espiguillas son color verde a púrpura. Esta especie vegetal habita en suelos húmedos o sujetos a inundaciones o encharcamiento, Pasturas y tierras agrícolas y tierras húmedas abandonadas y su raíz es fasciculada (León, 2016).

Tabla 9-4.- *Taxonomía de la especie Paspalum millegrana L*

División	*Magnoliophyta*
Orden	*Cyperales*
Familia	*Poaceae*
Género	*Paspalum*
Nombre Científico	*Paspalum millegrana L*

Fuente: (León, 2016)

4.1.10 Bidens pilosa L (Amor seco)

Esta hierba dura un año con tallos erguidos y ramosos con pelos o lampiños, las hojas están compuestas por 3 hojitas o a veces 5 o 7, con los bordes parecidos a una sierra. Las cabezuelas son del tipo de la margarita, las flores de la periferia tienen pétalos parecidos a una lengüeta color blanco o blanco-amarillentas y las flores del centro son amarillas. Los frutos son secos y comprimidos, en forma de pescado, café oscuros o amarillos (León, 2016).

Tabla 10-4.- *Taxonomía de la especie Bidens pilosa L*

División	*Magnoliophyta*
Orden	*Asterales*
Familia	*Astaraceae*
Género	*Bidens*
Nombre Científico	*Bidens pilosa L.*

Fuente: (León, 2016)

4.2 Especies vegetales de la amazonia más utilizadas en el ámbito fitorremediador de hidrocarburos

De las 10 especies vegetales en estudio, se procedió a realizar una breve descripción de cada especie con los principales resultados obtenidos en cada estudio práctico que se hayan realizado en suelos Amazónicos. La especie que presentó mayor frecuencia de uso en remediación es *Brachiaria brizantha* con dos estudios prácticos, de los cuales uno fue realizado en Ecuador en la provincia de Orellana en el año 2016 y el otro de Colombia en el Departamento Meta en el año 2018. Existen tres especies (*Cedrela odorata, Piptocoma discolor, Theobroma cacao*) que han sido utilizadas recientemente (2020) en estudios de remoción de hidrocarburos, pero se han registrado solo un estudio con dichas especies. Las especies *Ageratum conyzoides, Swietenia macrophylla, Sida rhombifolia,* Paspalum millegrana L, Bidens pilosa L, *Panicum maximun* se han registrado en estudios del 2016 y 2017.

Tabla 11-4.- *Especies vegetales de la amazonia más utilizadas en el ámbito fitorremediador de hidrocarburos*

Nº	N. Común:	N. Científico:	Frecuencia	Características fitorremediadoras	Fuente (s):
1	Hierba de chivo	*Ageratum conyzoides*	1	Rivas (2016), realizó un estudio en la amazonia del Ecuador (Provincia de Zamora Chinchipe), en el cual implementó 5 platabandas con sustrato contaminado por hidrocarburos, extraído del lugar de cultivos de plátano, yuca y caña de azúcar. La evaluación de cada planta duró 90 días, dando como resultado la efectividad de *Ageratum C en* la remoción de HTP en un 25, 51 %.	(Rivas, 2016)
2	Pigüe	*Piptocoma discolor*	1	Tuesta, Guzmán, & Pariente (2020), realizaron un trabajo investigativo en la Amazonía del Perú (Distrito Imaza), en un área contaminada por derrame de petróleo, en el cual seleccionaron, procesaron y analizaron especies que habitan en el área afectada para cuantificar la concentración de HTP. Los resultados indicaron que *Piptocoma D* presenta un efecto bioacumulador de Hidrocarburos Totales de Petróleo con 28.306 en sus hojas, 6.4 en la raíz y 3.9 mg.kg-1 en el tallo.	(Tuesta, Guzmán, & Pariente, 2020)
3	Cacao	*Theobroma cacao*	1	Tuesta, Guzmán, & Pariente (2020), realizaron un trabajo investigativo en la Amazonía del Perú (Distrito Imaza), en un área contaminada por derrame de petróleo, en el cual seleccionaron, procesaron y analizaron especies que habitan en el área afectada para cuantificar la concentración de Hidrocarburos Totales de Petróleo. Los resultados indicaron que *Theobroma C* presenta un efecto bioacumulador 20.3 en sus hojas, 7.2 en raíz, 2.8 en el fruto y 6.2 mg.kg-1 en tallo.	(Tuesta, Guzmán, & Pariente, 2020)

4	Cedro	*Cedrela odorata*	1	Tuesta, Guzmán, & Pariente (2020), realizaron un trabajo investigativo en la Amazonía del Perú (Distrito Imaza), en un área contaminada por derrame de petróleo, en el cual seleccionaron, procesaron y analizaron especies que habitan en el área afectada para cuantificar la concentración de HTP. Los resultados indicaron que *Cedrela O* presenta un efecto bioacumulador 10.7 en las hojas, 4.5 en la raíz y 5.3 mg.kg-1 en el tallo.	(Tuesta, Guzmán, & Pariente, 2020)
5	Caoba	*Swietenia macrophylla*	1	Velásquez (2017), realizó un estudio analítico dentro de la amazonia de Colombia, en la cual evaluó mediante la capacidad de germinación y supervivencia dentro de un invernadero, demostrando que *Swietenia M* presentó un porcentaje de germinación mayor al 80% en suelos contaminados por hidrocarburos.	(Velásquez, 2017)
6	Escoba dura	*Sida rhombifolia*	1	Rivas (2016), realizó un estudio en la amazonia del Ecuador (Provincia de Zamora Chinchipe), en el cual implementó 5 platabandas con sustrato contaminado por hidrocarburos. La evaluación consistió de 90 días en estudio, dando como resultado la efectividad de *Sida R* en la remoción de HTP en un 18,23 %.	(Rivas, 2016)
7	Cortadera	*Paspalum mi llegrana L*	1	León (2016), realizó un estudio en la amazonia del Ecuador (Provincia de Zamora Chinchipe), en el cual implementó 5 platabandas con sustrato contaminado por hidrocarburos, extraído del lugar de cultivos de plátano, yuca y caña de azúcar. La evaluación de cada planta duró 90 días, dando como resultado la efectividad de *Paspalum M* en la remoción de HTP en un 39.70%.	(León, 2016)

8	Amor seco	*Bidens pilosa L*	1	León (2016), realizó un estudio en la amazonia del Ecuador (Provincia de Zamora Chinchipe), en el cual implementó 5 platabandas con sustrato contaminado por hidrocarburos, extraído del lugar de cultivos de plátano, yuca y caña de azúcar. obteniendo como resultado la efectividad de *Bidens P* en la remoción de HTP en un 2.44%	(León, 2016)
9	Pasto Guinea	*Panicum maximun*	1	Catagña (2016), realizó un estudio de la capacidad de fitorremediación de especies gramíneas en suelo contaminado con hidrocarburos en la comunidad Flor del pantano, (Provincia de Orellana), donde comprobó que la especie Guinea (Panicum maximun) alcanzo un potencial remediador de 6mg/kg de cromo total tras el periodo de 3 meses (90 días).	(Catagña, 2016)
10	Pasto Marandú	*Brachiaria brizantha*	2	Catagña (2016), realizó un estudio de la capacidad de fitorremediación de especies gramíneas en suelos contaminados con hidrocarburos en la comunidad flor de pantano (Provincia de Orellana) donde comprobó que la especie *Brachiaria brizantha* requiere de más tiempo y espacio para remediar, puesto que el estudio fue realizado en tres meses (90 días).	(Catagña, 2016)
				Castaño (2018), realizó un estudio a través de una prueba de laboratorio, utilizando dos tipos de crudos con diferentes gravedades “Crudo Acacias” y “Crudo Castilla”, cada uno en cuatro muestras de suelo. Puesto que comprobó que la especie vegetal Brachiaria brizantha tiene la capacidad de fitorremediar crudos de gravedades API entre 15° y 20° a partir del 80% de disminución en las concentraciones de hidrocarburos en los suelos.	(Castaño, 2018)

Tabla 12-4.- Revisión bibliográfica de las especies vegetales con capacidad fitorremediadora

Especie	Utilización	Fuente	Tipo	Número
Hierba de chivo *(Ageratum C.)*	La efectividad de *Ageratum C en* la remoción de HTP en un 25, 51 %.	(Rivas, 2016)	Tesis	4
	Ageratum C pertenece a la flora herbácea silvestre con capacidad fitorremediadora en suelos contaminados por metales pesados.	(Dávila & Villegas, 2018)		
	La especie *Ageratum C* de la familia *Asteraceae* es útil para fitorremediar suelos contaminados con hidrocarburos totales de petróleo.	(Quijano, Sánchez, Gaona, Zúñiga, & López, 2017)	Articulo	
	Asteraceae es una de las familias de plantas más frecuentes reportadas como hiperacumuladoras de contaminantes del suelo.	(García , Serna, & Castro, 2018)		
Pigüe (*Piptocoma discolor)*	Esta especie presenta capacidades para la remoción de hidrocarburos, usándolos como sustratos y nutrientes, y adaptando su metabolismo al ambiente contaminado.	(Fiestas & Vásquez, 2020)	Tesis	5
	Piptocoma discolor "Asteraceae" es la especie más abundante en los suelos contaminados por derrames de petróleo, sin presentar dificultades en su crecimiento.	(Montalván & Sambrano, 2018)		
	Efecto bioacumulador de Hidrocarburos Totales de Petróleo con 28.306 en sus hojas, 6.4 en la raíz y 3.9 mg.kg-1 en el tallo.	(Tuesta, Guzmán, & Pariente, 2020)	Articulo	
	Asteraceae es una de las familias de plantas más frecuentes reportadas como hiperacumuladoras de contaminantes del suelo.	(García , Serna, & Castro, 2018)		
	Pigüe es una especie nativa de la Amazonía de América del Sur, con predominancia en el bosque secundario.	(Gonzalez, Papue, Gonzalez, Borja, & Oliva, 2018)		
Cacao *(Theobroma cacao)*	*Theobroma C* presenta un efecto bioacumulador en hidrocarburos en; 20.3 en sus hojas, 7.2 en raíz, 2.8 en el fruto y 6.2 mg.kg-1 en tallo.	(Tuesta, Guzmán, & Pariente, 2020)	Tesis	2
	No se reportan casos de toxicidad con hidrocarburos para las	(Sanchez, Iglesisas, & Zambrano, 2019)	Articulo	

	plantas, sin embargo los frutos presentan toxicidad para la salud.			
Cedro (*Cedrela odorata)*	*Cedrela odorata* tiene el efecto bioacumulador de hidrocarburos en; 10.7 en las hojas, 4.5 en la raíz y 5.3 mg.kg-1 en el tallo.	(Tuesta, Guzmán, & Pariente, 2020)	Tesis	5
	La familia *Meliaceae* es una de las familias que se adaptan con facilidad y sin complicaciones en suelos contaminados por hidrocarburos.	(Montalván & Sambrano, 2018)		
	El Cedro presenta efectividad en la restauración de suelos contaminados por crudos de petróleo.	(López, Martinez, & Arguello, 2020)	Articulo	
	Las especies de hoja (maderable y gramínea), generalmente acumulan concentraciones más altas de contaminantes, que los cultivos de grano o fruta.	(Rodriguez, Mclaughlin, & Pennock, 2019)	Libro	
	Las plantas participan de forma primordial en el reciclaje de nutrientes y en la estabilización de suelos. Estas especies se pueden aplicar directamente a suelos contaminados por hidrocarburos (petróleo o el diésel).	(Cuevas, Reyes, Hernández, & Cantú, 2016)		
Caoba (*Swietenia macrophylla)*	*Swietenia M* presentó un porcentaje de germinación mayor al 80% en suelos contaminados por hidrocarburos.	(Velásquez, 2017)	Articulo	2
	Tiene una gran habilidad para adaptarse a una variedad de condiciones de sitio debido a esto se ha plantado a nivel mundial.	(Instituto Nacional de Bosques, 2017)		
Escoba dura (*Sida rhombifolia)*	La efectividad en remoción de *Sida R* en la remoción de HTP en un 18,23 %.	(Rivas, 2016)	Tesis	3
	Los valores máximos en acumulación de Pb más destacables alcanzaron 101,32 ppm en Sida rhombifolia.	(Sánchez, 2017)		
	La especie Sida R es un arbusto de vida corta, que tiene la capacidad de acumular contaminantes hidrocarburiferos.	(Red Mundial de Información sobre Biodiversidad, 2018)	Ficha informativa	
Cortadera *(Paspalum m illegrana L)*	Efectividad de *Paspalum M* en la remoción de HTP en un 39.70%.	(León, 2016)	Tesis	1
Amor seco	Efectividad de *Bidens P* en la remoción de HTP en un 2.44%	(León, 2016)	Tesis	3

(Bidens pilosa L)	La especie *Bidens pilosa* acumuló en las raíces unas cantidades de Pb que oscilaron entre 1,50 y 91,43 ppm.	(Sánchez, 2017)		
	Asteraceae es una de las familias de plantas más frecuentes reportadas como hiperacumuladoras de contaminantes del suelo.	(García , Serna, & Castro, 2018)	Articulo	
Pasto Guinea *(Panicum maximun)*	La especie Guinea (Panicum maximun) alcanzo un potencial remediador de 6mg/kg de cromo total tras el periodo de 3 meses (90 días).	(Catagña, 2016)	Tesis	2
	Las especies de hoja (maderable y gramínea), generalmente acumulan concentraciones más altas de contaminantes, que los cultivos de grano o fruta.	(Rodriguez, Mclaughlin, & Pennock, 2019)	Libro	
Pasto Marandú *(Brachiaria brizantha)*	Las especies gramíneas tienen la capacidad de fitorremediación en suelos contaminados con hidrocarburos.	(Catagña, 2016)	Tesis	3
	Esta especie disminuye un 80% las concentraciones de hidrocarburos en los suelos.	(Castaño, 2018)		
	Las especies de hoja (maderable y gramínea), generalmente acumulan concentraciones más altas de contaminantes, que los cultivos de grano o fruta.	(Rodriguez, Mclaughlin, & Pennock, 2019)	Libro	

Tabla 12-5.- Fuentes de investigación

Fuente de investigación	Número	Porcentaje
Artículos científicos	10	45,45
Libros	2	9,9
Tesis (grado/posgrado)	9	40,91
Ficha informativa	1	4,55
Total	22	100

4.3 Propuesta para fitorremediación de suelos contaminados en la amazonia

En suelos amazónicos agrícolas contaminados por hidrocarburos, se propone aplicar la técnica de fitorremediación mediante la siembra de la especie *Brachiaria brizantha*, misma que presenta mayor frecuencia de uso en estudios de capacidad fitorremediadora de suelos contaminados con petróleo, puesto que, dichos estudios han obtenido resultados eficientes en remoción. Por lo cual es sugerible aplicar dicha especie vegetal en la remoción de contaminantes hidrocarburíferos en suelos agrícolas.

Brachiaria brizantha es una especie gramínea que se adapta a suelos bien drenados de mediana a alta fertilidad, pH de 4.0 a 7.0, texturas arenosas a pesadas, Su aprovechamiento empieza de los 90-120 días después de la germinación (Gonzalez, info Pastos y Forrajes.com, 2021). Las especies de hojas (maderables y gramíneas), generalmente acumulan concentraciones más altas de contaminantes, que los cultivos de grano o fruta (Rodriguez, Mclaughlin, & Pennock, 2019). Esto hace que a más de elegir la especie por su frecuencia se la eligiera por su ciclo corto de vida, a diferencia de Cedrela odorata que se puede aprovechar su madera a los 20-25 años en adelante (Tuesta, Guzmán, & Pariente, 2020)**.**

Según Castaño (2018), la metodología a utilizar para la fitorremediación con la especie *Brachiaria Brizantha*, consiste en llevar a cabo pruebas de laboratorio, en las cuales se utilicen muestras aleatorias provenientes de la zona agrícola a mitigar. Tras realizar el análisis en el laboratorio se obtiene el nivel o porcentaje de contaminación al que los cultivos están sometidos. Lo que concuerda con Sangabriel (2006) que en su estudio utilizó un muestreo en zigzag tanto para suelo contaminado y no contaminado, la muestra del suelo no contaminado lo separó para realizar la comparación del crecimiento de especies degradadoras de hidrocarburos.

Catagña (2016), recomienda tomar en cuenta los criterios y aspectos técnicos sugeridos por profesionales y menciona que el método práctico se basa en aplicar la siembra directa en el área de estudio, seleccionando cuadrantes de 5 x 5 m, en las parcelas que sean necesarias para cubrir el área afectada. Además, se debe dejar algunas parcelas sin sembrar para ser utilizadas como testigo, es decir las parcelas que servirán para el análisis y comparación de los resultados obtenidos después de la siembra.

Entre los principales materiales recomendados por Catagña (2016), en la siembra de la especie *Brachiaria Brizantha* se encuentran:

- Semillas de *Brachiaria Brizantha* (Pasto Marandú)
- Guantes
- Recipientes
- Estacas
- Piola
- Cinta métrica

El proceso de siembra de dicha especie dentro de las parcelas de 5 x 5 m debería realizarse por el método de hoyos. Ubicando filas con distancia de 0.50 m, en cada cuadrante se implantó un hoyo intermedio de una profundidad de 1 a 1,5 cm. Dentro de cada uno se debe introducir cinco semillas de la especie vegetal, la cantidad de semillas depende de la pureza que tiene la misma y debido al gran tamaño que tiene en su madurez. Catagña (2016) menciona que, cada parcela debe tener un rotulo que detalle de forma clara y evidente, de manera que el observador pueda guiarse con facilidad entre parcelas.

El estudio práctico se tendría que realizar en un periodo mayor de 90 días en los cuales se debería tomar las muestras a partir del día 0, 15, 30, 45, 60, 75 y 90. En cuanto a impactos económicos; los costos de ejecución del método de fitorremediación pueden llegar a ser más económicos que otros métodos convencionales de remediación, puesto que evita la inversión económica en actividades como la recolección y traslado del suelo contaminado a sitios lejanos donde puede recibir tratamiento alguno.

Conclusiones

- Durante la investigación, se han encontrado 10 especies vegetales de la Amazonía, dicha información fue obtenida del: 45% de artículos, 9% de libros, 41% de tesis y 5% de fichas informativas, las cuales han sido adaptables a las condiciones climáticas.
- Se identificó que la especie *Brachiaria brizantha* (Pasto Marandú), fue la que presentó mayor frecuencia en el uso de remediación en suelos agrícolas contaminados con hidrocarburos, debido a los estudios prácticos realizados dentro de la Amazonia, mismos que presentan un 80% en la disminución de hidrocarburos de petróleo.
- Se propuso aplicar la especie *Brachiaria brizantha* como remediadora en suelos agrícolas afectados con hidrocarburos, por lo que esta especie tiene un desarrollo de crecimiento rápido y su aprovechamiento empieza de 90 a 120 días después de su germinación, en comparación a las demás especies analizadas.

Recomendaciones

- Se recomienda que antes de aplicar la técnica de fitorremediación se debe conocer la adaptabilidad de la especie a los climas de la amazonia y la capacidad que tiene para remediar suelos contaminados con petróleo.
- Es recomendable realizar estudios prácticos in situ con especies que ya hayan sido utilizadas en suelos semejantes para obtener resultados eficientes en remoción de hidrocarburos de suelos agrícolas.
- Se debería realizar una coordinación entre las empresas petroleras presentes en el sector y los agricultores para de esa manera poder destinar un debido presupuesto en el cultivo de la especie *Brachiaria brizantha* (Pasto Marandú) como fitorremediadora de suelos.

Referencias

Arias, J. A. (2018). Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediacion como estrategia biotecnologica de recuperacion. 154.

Burbano, H. (2016). Suelo, servicios ecosistémicos y seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas, 33* (2), 8. Recuperado el 17 de 12 de 2020, de http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v33n2/v33n2a11.pdf

Cárdenas, Y., Quispe, V., & Contreras, S. (2017). Biorremediación mediante la asociación entre microorganismos y plantas. *Revista de investigación científica cultura viva amazónica, 1*(2). Recuperado el 23 de 12 de 2020, de https://www.upp.edu.pe/revistas/index.php/RICCVA/article/view/23

Checa-Artos Miriam, S. d.-B.-A. (2021). Remoción de cinco productos farmacéuticos catalogados como contaminantes emergentes en medio acuoso utilizando la especie vetiver (Chrysopogon zizanioides). *Bionatura*.

Castaño, J. (2018). *Evaluacion Tecnico-Financiera del Proceso de Fitorremediacion con Plantas Gramineas para Mitigar Derrames de Crudo en el Departamento del Meta, Colombia [Tesis de Ingenieria, Fundacion Universidad de America]*. Repositorio Institucional, Meta , Colombia. Recuperado el 10 de junio de 2021, de https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6742/1/5131584-2018-1-IP.pdf

Catagña, J. (2016). *Evaluacion de Especies Gramineas Locales para la Remediacion de Suelos Contaminados por Metales Pesados en la Empresa Triboilgas [Tesis de Ingenieria, Universidad Tecnica de Cotopaxi]*. Repositorio Institucional. Recuperado el 9 de junio de 2021, de file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/T-UTC-00799.pdf

Cuevas, M., Reyes, G., Hernández, C., & Cantú, A. (2016). Métodos ecotoxicológicos para la evaluación de suelos contaminados de hidrocarburos. Mexico. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=oSXfdFI9zr4C&printsec=frontcover&dq=crecimiento+del+cedro+en+suelo+con+hidrocarburos&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjpxYzjrePxAhWRKn0KHSceBfoQ6AF6BAgIEAI#v=onepage&q&f=false

Dávila, N., & Villegas, L. (2018). Capacidad fitorremediadora de las especies de flora herbácea silvestre con mayor valor de importancia en la zona de pasivos mineros, [tesis de ingeniería, Universidad Privada del Norte]. Repositorio universitario. Obtenido de https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/13482

Farraji, H., Zamman, N., & Faraji, H. (2016). Advantages and disadvantagesn of phytoremediation: a concise review. *Environmental y Technological Sciences*, 7.Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Hossein_ Farraji3/publication /306543535_A v antages_and_disadvantages _of_ phytoremediation_A_concise_review/links/5d5b34f 092851c37636bc328/ Advantages-and-disadvantages-of-phytoremediation-A- concise-review.pdf

FAO. (2015). *Suelo*. Recuperado el 21 de 12 de 2020, de El suelo: http://www.fao.org/3/ah645s/AH645S04.htm?fbclid=IwAR2lpmOBjr5VLGTOXRu7Ljf4siJWmR0eXKsX537judcM4F-lgPaBAqmu02g

FAO. (2019). *La contaminación del suelo una realidad oculta*. Recuperado el 23 de 12 de 2020, de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: http://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf

Fiestas, C., & Vásquez, W. (2020). Revisión sistemática; biorremediación de suelos salinos contaminados con petróleo por el consorcio bacteriano de Peseudomona por la técnica de bioaumentación. Repositorio universitario. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/60270/Fiestas_CCNE-V%c3%a1squez_VWA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

García, C., Serna, C., & Castro, V. (2018). Estudio de absorción, acumulación y potencial para la remediación de suelo contaminado por niquel usando Ambrosia ambrosioides.

Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos, 7. Obtenido de http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume3/4/10/116.pdf

García Verde, F. (2018). La importancia del suelo para el futuro de la agricultura. *Syngenta*, 8. Recuperado el 20 de 12 de 2020, de https://blog.syngenta.es/importancia-suelo- en-agricultura/ ?fbclid=IwAR3IWR2q5 TfLxgCR5jP4UyMG1CiHYuOrBRsSes2 mBW xd-UcMojM5vnXQFCM.

Gonzáles, J., Papue, A., & Borja, A. (2018). Crecimiento y conservación de Piptocoma discolor (pigüe) en la provincia de Pataza Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*. Recuperado el 14 de 05 de 2021, de http://scielo.sld.cu/pdf/cfp/v6n3/2310-3469-cfp-6-03-366.pdf

Gonzalez, K. (19 de julio de 2017). *zootecnia y veterinaria es mi pasion* . Obtenido de zootecnia y veterinaria es mi pasion : https://zoovetesmipasion.com/pastos-y-forrajes/tipos-de-pastos/pasto-guinea-mombasa-panicum-maximum-jacq/

Gonzalez, K. (11 de enero de 2019). *info pastos y forrajes.com*. Obtenido de info pastos y forrajes.com: https://infopastosyforrajes.com/pasto-de-pastoreo/pasto-guinea-2/

Gonzalez, K. (4 de abril de 2021). *info Pastos y Forrajes.com*. Obtenido de info Pastos y Forrajes.com: https://infopastosyforrajes.com/pasto-de-pastoreo/pasto-marandu-brachiaria-brizantha-cv-marandu/#comments

Hernández, I., Lárez, L., & García, J. (2017). Evaluación de la toxicidad de un suelo contaminado con diferentes tipos de crudos sobre la germinación de dos pastos tropicales. *Bioagro, 29*(2), 73-82.

Hernandez, I., Navas, G., & Infante, C. (July de 2017). Phytoremediation of a soil contaminated with extra heavy ppetroleum by; Megathyrsus maximus. *Revista Internacional de contaminación ambiental, 33*(3). Recuperado el 23 de 12 de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992017000300495

Huachi, L. (2018). EVALUACIÓN DE LA BIORREMEDIACIÓN EN SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS UTILIZANDO Pseudomonas fluorescens. *(Tesis previo a la obtención de título de inginiero en biotecnología de recursos naturales).* Universidad Politécnica Salesiana de Quito, Quito.

Instituto Nacional de Bosques [INB]. (2017). *Caoba Swietenia macropylla; paquete tecnológico forestal*. Recuperado el 24 de 05 de 2021, de https://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2802/Technical/SWIEMA.pdf

León, S. (2016). *Evaluación del potencial fitorremediador de dos especies vegetales, Paspalum millegrana y Bidends pilosa, para remediar suelos contaminados con hidrocarburos, [Tesis de ingenieria, Universidad Nacional de Loja]*. Repositorio institucional. Recuperado el 14 de 05 de 2021, de file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/TESIS_FITORREMEDIACION_DE_SUELOS_ CONTAMINADOS_POR_HIDROCARBUROS..%20(1).pdf

Llatance, O., Emiliani, J., Bergara, D., Salvatierra, M., & Perez, M. (Enero de 2019). *Caracterización de los mecanismos de fitorremediación de Salvinia sp. Frente a la exposición a metales pesados y su impacto sobre la fisiología vegetal*. Obtenido de Pontificia Universidad Católica Argentina: https://repositorio.uca.edu.ar/handle/123456789/9634

López, M., Martínez, J., & Arguello, E. (2020). Fitorremediación; Una estrategia tecnológica para la recuperación de suelos contaminados en el sureste. Plant Biochemistry: Environmental & Food Applications. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/344177780_FITORREMEDIACION_UNA_ESTRATEGIA_TECNOLOGICA_PARA_LA_RECUPERACION_DE_SUELOS_CONTAMINADOS_EN_EL_SURESTE

Marco, P. (2018). EVALUACIÓN DE LA BIORREMEDIACIÓN EN SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS UTILIZANDO Pseudomonas fluorescens. *(Tesis previo a la obtención de Ingeniero en Biotecnología).* Universidad Politécnica Salesiana de Quito, Quito.

Montalvo, P., Monzón, L., & Figueroa, L. (328-29 y 30 de 11 de 2019). *Valoración de la eficacia d ela aplicación de Ricinuss Communis en suelos ocntaminados por jales mineros, como mecanismo de fitorremediación*.Obtenido de congreso internacional de manejo de residuos sólidos industriales y peligrosos: http://web.lamolina.edu.pe/residuos_solidos/wp-content/uploads/2020/01/I_Congreso_Internacional_RINPE.pdf#page=34

Montalván, P., & Sambrano, J. (2018). Estado actual de la cobertura vegetal en la zona de influencia del derrame de petróleo crudo en el tramo II, km 440+781 del oleoducto nor peruano, en el caserío de Inayo, distrito de Imaza, Bagua, 2017, [Tesis de ingeniería, Universidad de Lambayeque]. Repositorio universitario. Obtenido de https://repositorio.udl.edu.pe/bitstream/UDL/164/3/TESIS%20MONTALVAN%20Y%20SAMBRANO.pdf

Muhammad, A. (May de 2017). Persistent organic pollutants (POPs): a global issue, a global challenge. *Environ Sci Pollut Res*, 5.

Nisha, G. (2018). Avances recientes en la biorremediación de contaminantes orgánicos persistentes y su efecto sobre el medio ambiente. *Revista de producción más limpia*, 1602-1631.

Quijano, J., Sánchez, A., Gaona, S., Zúñiga, F., & López, M. (2017). Especies vegetales útiles para fitorremediar suelos contaminados con hidrocarburos totales del petróleo; un apoyo para la restauración ecológica. Red Iberoamericana y del Caribe de Restauración Ecológica, 7(3). Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/265294282_Especies_vegetales_utiles_para_fitorremediar_suelos_contaminados_con_hidrocarburos_totales_del_petroleo_un_apoyo_para_la_restauracion_ecologica

Raffino, M. E. (18 de Junio de 2020). *Concepto.de*. Recuperado el 17 de 12 de 2020, de Suelo: https://concepto.de/suelo/

Red Mundial de Información sobre Biodiversidad. (2018). Malvaceae, Sida Rhombifolia L. Obtenido de http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/malvaceae/sida-rhombifolia/fichas/ficha.htm

Rivas, J. (2016). *"Identificación y evaluación del potencial fitorremediador de especies vegetales presentes en el suelo contaminado por grasas y aceites lubricantes en la lavadora de la ciudad de Zamora, [Tesis de ingenieria, Universidad Nacional de Loja]*. Repositorio Universitario. Recuperado el 14 de 05 de 2021, de http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/17760

Rodríguez, N., Mclaughlin, M., & Pennock, D. (2019). La contaminación del suelo; Una realidad oculta. Roma. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=EjumDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=fitorremediaci%C3%B3n+de+suelos+contaminados+por+hidrocarburos&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiMvviAnOPxAhUDHzQIHcVtDPUQ6AF6BAgGEAI#v=onepage&q=fitorremediacion%20&f=false

Rojas, E. (2015). "análisis de la comercialización del diésel premium en el sector automotriz y su influencia en la rentabilidad de la empresa pública petroecuador en el distrito metropolitano de quito periodo 2014-2018". *(Tesis previo la obtención de Magister en comercio con mención en negocios internacionales).* Universidad Internacional SEK, Quito.

Sanchez, V., Iglesisas, C., & Zambrano, J. (2019). Diagnóstico y prospectiva de la cadena de valor del cacao en America Latina y el Caribe. La cadena de valor del cacao en America Latina y el Caribe. Obtenido de https://www.fontagro.org/new/uploads/adjuntos/Informe_CACAO_linea_base.pdf

Sangabriel, W. (2006). Tolerancia y capacidad de fitorrmdiación de combustóleo en l suelo por seis especies vegetales. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. Obtenido de file:///C:/Users/DET%20PC/Downloads/21687-39036-1-PB.pdf

Tovar, G. (2019). Determinación de hidrocarburos aromáticos policíclicos en leche cruda bovina colectada en los centros de acopio de Cumaral y Guamal departamento del

meta. *(Tesis previo a la obtención del título de Magister en Sistemas Sostenibles de Salud Producción Animal Tropical).* Universidad de los llanos, Colombia.

Tuesta, O., Guzmán, W., & Pariente, E. (2020). Prospección de especies arbóreas para la fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos, Amazonas, Perú. *Revista forestal del Perú*. Recuperado el 14 de 05 de 2021, de https://www.researchgate.net/profile/Eli-Pariente/publication/343439626_Prospeccion_de_especies_arboreas_para_la_fitorremediacion_de_suelos_contaminados_por_hidrocarburos_Amazonas_Peru/links/5fda7aa2299bf1408816e303/Prospeccion-de-especies-arboreas-para-l

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 del 2008. *(Previo a la obtención del título de abogada).* Universidad Central del Ecuador, Quito.

Velásquez, J. (2017). Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. *Revista de investigación agraria y ambiental, 8*(1).

Vélez. (2019). *Ageratum conyzoides*. Recuperado el 14 de 05 de 2021, de https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20210100310

Viloria, F. M. (4 de abril de 2021). *info pastos y forrajes.com*. Obtenido de info pastos y forrajes.com: https://infopastosyforrajes.com/pasto-de-pastoreo/pasto-marandu-brachiaria-brizantha-cv-marandu/

Visuete, R. (2016). Remediación socio ambiental y su incidencia en suelos contaminados con hidrocarburos en el campo Sacha en el año 2015. *(Trabajo de investigación previo a la obtención del Grado de Magister en Gestión de Proyectos Socio Productivos).* Universidad Tecnológica Indoamérica, Ambato.