UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

ANÁLISIS DE BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS EN EL PARQUE NACIONAL YASUNÍ

AUTOR(ES):

Marco Alexander Palacios Londoño

Lesly Patricia Elizalde Albán

DOCENTE - TUTOR:

MSc. María Augusta Guadalupe Alcoser

Puyo - Pastaza - Ecuador

2022

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
(Uno por cada evaluador)

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.		
Criterios	**Puntaje**	**Argumentos de la calificación**
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5/5	Cumple
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	5/5	Cumple
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	20/20	Cumple
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	10/15	El marco teórico es escaso para tratarse de una revisión bibliográfica.
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	15/15	Cumple

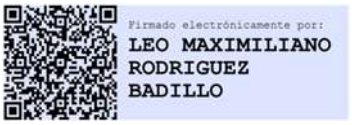
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	20/25	El nivel de análisis ameritaría criterios adicionales a los formulados en la investigación de la Fuente principal consultada
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10/10	Cumple
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5/5	Cumple
VALORACIÓN TOTAL	90/100	

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	90/100

Atentamente,



Leo Maximiliano Rodríguez
Badillo
PAR CIEGO

Dado en la ciudad de Puyo, a los 25 días del mes de Febrero de 2022

FORMATO 4

APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Título: Análisis de Biorremediación de Suelos Contaminados por Hidrocarburos en el Parque Nacional Yasuní

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.		
Criterios	**Puntaje**	**Argumentos de la calificación**
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	**5/5**	Cumple con el criterio de evaluación
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	**3/5**	En la descripción del resumen se sugiere mejorar la presentación del objetivo del estudio, no se describe con claridad cuales son los principales resultados. Mejorar la sintaxis y la redacción
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	**16/20**	No se describe con claridad la temática de investigación, tampoco se describe el problema ni se visualiza de forma clara el objetivo que se pretende responder con la investigación realizada. Mejorar la sintaxis y la redacción
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	**13/15**	Mejorar la sintaxis y la redacción
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	**11/15**	No se describe el tipo de investigación con claridad, hay partes que resultan no tener coherencia en el tipo de estudio que presentan como por ejemplo el análisis de suelos.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	**19/25**	Tablas no tienen formato APA, no se presenta con claridad ni en orden los resultados lo que dificulta su entendimiento, Tablas y figuras sin explicar
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	**7/10**	Las conclusiones no están claras en función a los objetivos planteados
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	**5/5**	Cumple con el criterio de evaluación
VALORACIÓN TOTAL	**79**	

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	**X**
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	**79**

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
JESSICA ALEXANDRA MACHADO CUZCO

Jessica Alexandra Machado Cuzco
PAR CIEGO

Dado en la ciudad de Puyo, a los veinte y cinco días del mes de febrero de 2022.

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Puyo, 03 de febrero de 2022

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: Marco Alexander Palacios Londoño, con C.I. 1600671661, con el Tema: "**Análisis de Biorremediación de Suelos Contaminados por Hidrocarburos en el Parque Nacional Yasuní**", de la carrera de Ingeniería Ambiental. Docente-director del Trabajo de Integración Curricular, María Augusta Guadalupe Alcoser, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 6%, Informe generado con fecha 03 de febrero de 2022 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
MARIA AUGUSTA GUADALUPE ALCOSER

Ing. María Augusta Guadalupe Alcoser M.Sc

Curiginal

Document Information

Analyzed document	Palacios Londoño Marco Alexander- Elizalde Albán Leslie Patricia.docx (D126999098)
Submitted	2022-02-04T01:53:00.0000000
Submitted by	María Augusta Guadalupe Alcoser
Submitter email	ma.guadalupea@uea.edu.ec
Similarity	6%
Analysis address	ma.guadalupea.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA	**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / PROPUESTA DE BIORREMEDIACIÓN-CALLE Y CORTEZ-FINAL.docx** Document PROPUESTA DE BIORREMEDIACIÓN-CALLE Y CORTEZ-FINAL.docx (D110530004) Submitted by: ja.machadoc@uea.edu.ec Receiver: ja.machadoc.uea@analysis.urkund.com	1
W	URL: https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10607/TRABAJO%20FINAL%20cd.pdf Fetched: 2021-08-18T05:36:24.3600000	4
SA	**EF-Taller de Tesis 2_Ruth_Sanchez_Nunez.docx** Document EF-Taller de Tesis 2_Ruth_Sanchez_Nunez.docx (D121225736)	1
SA	**Biorremediación_Villalta_Gonzalez.docx** Document Biorremediación_Villalta_Gonzalez.docx (D31838333)	1
W	URL: https://www.academia.edu/Documents/in/ESTUDIO_DEL_IMPACTO_AMBIENTAL_DE_LA_INDUSTRIA_DE_LOS_HIDROCARBUROS Fetched: 2022-02-04T01:53:38.6030000	1
W	URL: https://boletines.acfiman.org/wp-content/uploads/2021/06/Boletin-LXXXI-n%C2%B01.pdf Fetched: 2021-12-04T04:40:45.8830000	1
SA	**Manglares contaminados por hidrocarburos.pdf** Document Manglares contaminados por hidrocarburos.pdf (D54170759)	1

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Puyo, 03 de febrero de 2022

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: Lesly Patricia Elizalde Albán, con C.I. 2100547245, con el Tema: "**Análisis de Biorremediación de Suelos Contaminados por Hidrocarburos en el Parque Nacional Yasuní**", de la carrera de Ingeniería Ambiental. Docente-director del Trabajo de Integración Curricular, María Augusta Guadalupe Alcoser, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 6%, Informe generado con fecha 03 de febrero de 2022 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
MARIA AUGUSTA GUADALUPE ALCOSER

Ing. María Augusta Guadalupe Alcoser M.Sc

Curiginal

Document Information

Analyzed document	Palacios Londoño Marco Alexander- Elizalde Albán Leslie Patricia.docx (D126999098)
Submitted	2022-02-04T01:53:00.0000000
Submitted by	María Augusta Guadalupe Alcoser
Submitter email	ma.guadalupea@uea.edu.ec
Similarity	6%
Analysis address	ma.guadalupea.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA	**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / PROPUESTA DE BIORREMEDIACIÓN-CALLE Y CORTEZ-FINAL.docx** Document PROPUESTA DE BIORREMEDIACIÓN-CALLE Y CORTEZ-FINAL.docx (D110530004) Submitted by: ja.machadoc@uea.edu.ec Receiver: ja.machadoc.uea@analysis.urkund.com	1
W	URL: https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10607/TRABAJO%20FINAL%20cd.pdf Fetched: 2021-08-18T05:36:24.3600000	4
SA	**EF-Taller de Tesis 2_Ruth_Sanchez_Nunez.docx** Document EF-Taller de Tesis 2_Ruth_Sanchez_Nunez.docx (D121225736)	1
SA	**Biorremediación_Villalta_Gonzalez.docx** Document Biorremediación_Villalta_Gonzalez.docx (D31838333)	1
W	URL: https://www.academia.edu/Documents/in/ESTUDIO_DEL_IMPACTO_AMBIENTAL_DE_LA_INDUSTRIA_DE_LOS_HIDROCARBUROS Fetched: 2022-02-04T01:53:38.6030000	1
W	URL: https://boletines.acfiman.org/wp-content/uploads/2021/06/Boletin-LXXXI-n%C2%B01.pdf Fetched: 2021-12-04T04:40:45.8830000	1
SA	**Manglares contaminados por hidrocarburos.pdf** Document Manglares contaminados por hidrocarburos.pdf (D54170759)	1

Marco Alexander Palacios Londoño
amb2017110@uea.edu.ec
Lesly Patricia Elizalde Albán
amb2017032@uea.edu.ec
María Augusta Guadalupe Alcoser, MSc
ma.guadalupea@uea.edu.ec

Universidad Estatal Amazónica
Facultad de Ciencias de la Vida
Carrera de Ingeniería Ambiental

Análisis de Biorremediación de Suelos Contaminados por Hidrocarburos en el Parque Nacional Yasuní

Resumen

La contaminación que se presenta en los diferentes sectores de la amazonia del Ecuador es por la explotación de hidrocarburos, cabe recalcar que el trabajo de investigación hace referencia a la contaminación que se da en el sector del Parque Nacional Yasuní y las consecuencias generadas en la flora, la fauna y las personas. El objetivo de la investigación es analizar las diferentes técnicas de biorremediación de suelos, tales como biopilas, landfarming, bioestimulación y bioaumentación, cuyos resultados permitirán conocer la técnica más apropiada y eficiente para separar los contaminantes y verificar los tiempos de recuperación del suelo. La investigación de campo permitirá conocer los costos de implementación de la técnica más eficiente en biorremediación. Los suelos contaminados con hidrocarburos que no cumplen con lo establecido en la Legislación Ambiental Ecuatoriana, son tratados ejecutando los mecanismos ya definidos para la muestra de suelo contaminado, donde se realiza el lavado y se separa la capa oleosa que se encuentra en el suelo para poder determinar los TPH (hidrocarburos totales de petróleo), lo que en años posteriores permitirá conocer la cantidad de nutrientes que se encuentran en el suelo tratado. Finalmente, al utilizar las técnicas de bioestimulación (in situ) y biopilas (ex situ) se podrá recuperar más del 95% del suelo, el mismo que podrá ser reinsertado al Parque Yasuní.

Palabras Clave: hemerografías, derrames, ictiofauna, bioestimulación, biopilas.

Abstract

The contamination that occurs in the different sectors of the Ecuadorian Amazon is due to the exploitation of hydrocarbons, it should be emphasized that the research work refers to the contamination that occurs in the Yasuní National Park sector and the consequences generated in the flora, fauna and people. The objective of the research is to analyze the different soil bioremediation techniques, such as biopiles, landfarming, biostimulation and bioaugmentation, whose results will allow to notice the most appropriate and efficient technique to separate contaminants and verify soil recovery times. The field investigation will allow to know the implementation costs of the most efficient technique in bioremediation. The soils contaminated with hydrocarbons, which do not comply with the provisions of the Ecuadorian Environmental Legislation, are treated by executing the mechanisms already defined for the contaminated soil sample, where the washing is carried out and the oily layer found in the soil is separated to be able to determine the TPH (total petroleum hydrocarbons), which in subsequent years will allow to know the amount of nutrients found in the treated soil. Finally, by using biostimulation (in situ) and biopile (ex situ) techniques, more than 95% of the soil can be recovered, which can be reinserted into Yasuní Park.

Keywords: Hemerographs, spills, ichthyofauna, biostimulation, biopiles.

1. INTRODUCCIÓN

En el Ecuador, uno de los recursos no renovables es el petróleo, siendo una de las principales fuentes de ingreso para el país, los sectores de mayor producción o explotación de petróleo se encuentran en la zona Oriental, específicamente en las provincias de Orellana, Sucumbíos, Pastaza, Morona Santiago y Napo (EPPetroecuador, 2013).

Los lugares de explotación más sensibles referente a la contaminación del suelo son en la amazonía, donde se encuentra el área de mayor influencia como es el Parque Nacional Yasuní, considerado por la Unesco como una Reserva de Biosfera (UNESCO, 2019).

Al transcurrir el tiempo, las actividades de la industria petrolera empiezan a generar grandes cantidades de desechos contaminados (ripios, agua de formación, químicos, etc.), materiales que se producen durante todo el proceso de obtención del petróleo; los derrames son definidos como un escape de hidrocarburos ocasionados por causas operacionales de forma imprevista o de forma natural, acción que se deposita en los ríos o suelos del sector (Moreno, Gonzáles, & Blanco, 2014), para la presente investigación nos enfocaremos en los fluidos de producción cuya composición química es de crudo, gas y agua.

En el Ecuador se conoce la problemática ambiental cuando se presenta un derrame de hidrocarburos, debido a esto, las empresas petroleras en el país almacenan y confinan estos suelos como un material denominado residuo peligroso, siendo almacenados en piscinas de retención donde se llevará a cabo el tratamiento del suelo contaminado con diferentes componentes que permitan la minimización de la contaminación en los suelos nativos, evitando que afecte a las comunidades asentadas en el sector y a los diferentes cuerpos de agua (Márquez, 2021).

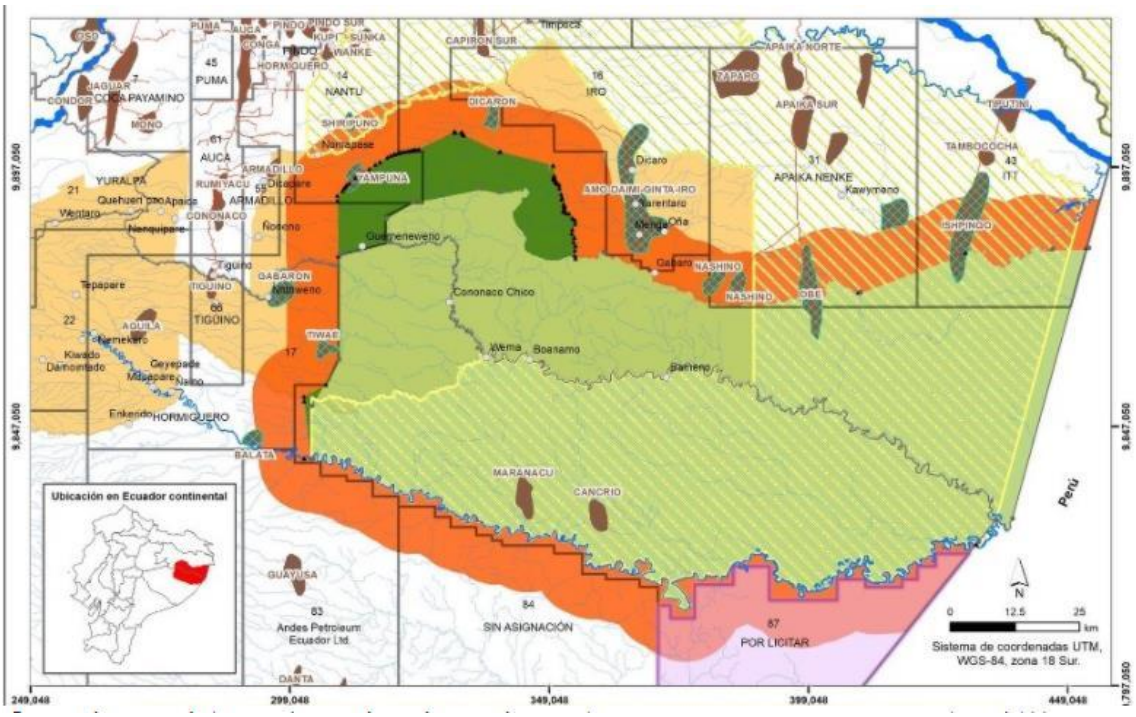
Los suelos contaminados se encuentran correctamente almacenados y son monitoreados de forma semestral acogiéndose a lo que se estipula en la reglamentación ambiental enmarcados a las operaciones hidrocarburíferas, por lo que las empresas identifican este tipo de eventos dentro de su Plan de Manejo Ambiental y su plan de Monitoreo para el volumen almacenado, la caracterización del suelo y sus principales agentes contaminantes (EPPetroecuador, 2013). Para determinar la presencia de hidrocarburos se realizan análisis de laboratorio donde se evidencian los hidrocarburos totales de petróleo y metales pesados como el Níquel, Cadmio y Plomo (Fuentes, 2016).

En consecuencia, el gobierno ecuatoriano ha venido preparando planes de remediación para las áreas explotadas dentro del Yasuní con enfoque en las pérdidas de patrimonio cultural y los suelos contaminados con hidrocarburos (MAE, 2020); por lo tanto, las empresas deberán garantizar una óptima gestión en la disposición final de los suelos, transportándolos, remediándolos y depositándolos acorde a la Normativa Ambiental Vigente en nuestro País.

2. MATERIALES Y METODOLOGÍA

En la Figura 1 se puede apreciar la cartografía del Parque Yasuní, la ubicación de los pozos petroleros y la zona intangible del sector.

Figura 1. *Mapa del Parque Nacional Yasuní*



Fuente: (Paz, 2019)

Se evalúan los lodos residuales de un área de la localidad del Parque Nacional Yasuní, como fuente alterna de nutrientes para la biorremediación del suelo contaminado con hidrocarburos, los mismos que son de procedencia de un pozo petrolero de área de influencia, para esto se realizan pruebas en laboratorio en dos etapas y una como prueba piloto.

El análisis del suelo contaminado se ejecutó con la añadidura de lodos frescos y mineralizados, los cuales contienen nutrientes con una relación C:N (Carbón/Nitrógeno) de 10:1 respecto a la densidad del material a remediar, por lo que se añadió material inerte de la zona, proceso que toma el nombre de vermicultura el cual actúa como un agente corrector para el material tratado.

2.1.Descripción de la Zona de Estudio

El suelo analizado y posteriormente a remediar proviene del campo petrolero del Sacha, el cual está ubicado en la Provincia de Orellana; el muestreo del suelo se ejecuta por personal del área de remediación de la empresa EP-PETROECUADOR, institución encargada de efectuar las pruebas experimentales (Selva, 2018; Fuentes, 2016).

2.2. Procedencia de los Lodos

Los lodos utilizados para la remediación del suelo contaminado son de procedencia de la planta de aguas residuales del Sacha ubicada en el cantón la Joya, en el laboratorio se emplearon lodos frescos y para el análisis piloto se utilizó lodos recolectados los cuales ya contenían minerales (con un tratamiento de aproximadamente 7 a 10 meses). Ambos componentes fueron tamizados con la utilización de una malla de 2 mm antes de ser usados en los tratamientos de biorremediación por biopilas y bioestimulación (Selva, 2018; Fuentes, 2016).

2.3. Tipo de Investigación

2.3.1. Investigación Descriptiva

El presente método tiene como objetivo obtener datos, definiciones, clasificaciones, efectos, métodos y estadísticas por medio de la descripción, identificando la relación que existe entre los métodos de remediación y la contaminación por hidrocarburos. “La investigación descriptiva, según se mencionó, trabaja sobre realidades de hecho y su característica fundamental es la de presentar una interpretación correcta” (Grajales, 2020).

La investigación descriptiva se utilizará para este proyecto, porque se realiza un análisis del contexto actual en base a la contaminación de hidrocarburos dentro del Parque Nacional Yasuní y las circunstancias que influyen en éste.

2.3.2. Investigación Bibliográfica

En todo trabajo de investigación es fundamental adquirir información cuyo origen sean libros, páginas web, libros digitales, etc. La información sirve para la elaboración de la fundamentación teórica. Pineda (2015) indica que, “todo escrito que contiene y comunica las bibliografías, hemerografías o citas electrónicas será considerado una investigación bibliográfica”.

La investigación bibliográfica permitirá obtener información técnica que servirá para conocer y comprender los tipos de biorremediación y escoger el más eficiente. Se enfatiza que toda esta información proviene de: revistas, libros, sitios web, artículos científicos, etc., preferiblemente de los últimos cinco años.

Por lo tanto, en esta investigación se desarrolla una búsqueda bibliográfica sobre la contaminación de suelos por hidrocarburos y el análisis de métodos de biorremediación dentro del Parque Nacional Yasuní para descontaminar áreas afectadas por crímenes ambientales, considerándolo como un método alternativo para la restauración ambiental.

2.4. Métodos de Investigación

Revisión bibliográfica de documentos oficiales:

- Tesis referenciales
- Artículos científicos
- Páginas web
- Guías Metodológicas
- Diarios Electrónicos
- Libros y Revistas
- Estudios de Impacto Ambiental

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Proceso de Biorremediación

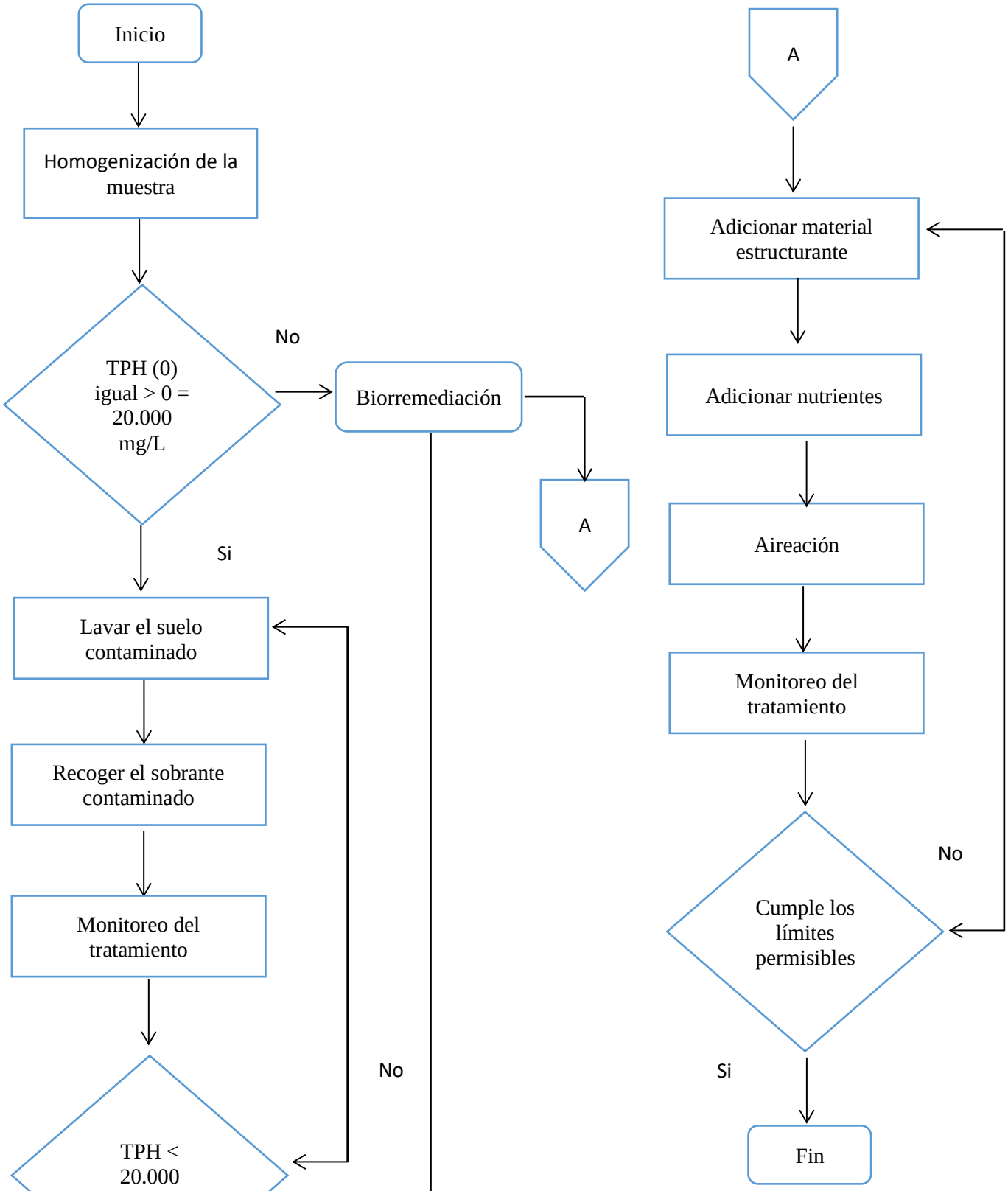
Cabe indicar que se trabajó con dos porciones de suelo contaminado, con muestras obtenidas del campo de producción Sacha, los lodos observados dieron como resultado diferentes contenidos de hidrocarburos totales de petróleo (TPH) y con diferentes texturas. Por lo que se presenta en la tabla 1 las cantidades de contaminantes presentes en el suelo analizado.

Tabla 1

Caracterización de Suelo Contaminado con Fluido de Producción					
Muestra 1	TPH (mg/kg)	Níquel (mg/kg)	Cadmio (mg/kg)	Plomo (mg/kg)	HAPS (mg/kg)
	24120	45,85	< 1,50	< 15	< 0,30

Fuente: (Fuentes, 2016)

Figura 2. *Proceso de Tratamiento de Suelos Contaminados*



Fuente: (Fuentes, 2016)

*La Ilustración 2 presenta el diagrama de procesos del tratamiento de la muestra de suelo contaminado.

Para conocimiento detallaremos los límites permisibles de los suelos contaminados una vez son sometidos al proceso de remediación, basándonos al área donde van a ser depositados en la fase final.

Tabla 2

Límites máximos permisibles para calidad de suelos.

Parámetros	Expresado en	unidad	Uso agrícola	Uso industrial	Ecosistemas sensibles
Hidrocarburos totales	TPH	mg/kg	<2500	<4000	<1000
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's)	HAP´s	mg/kg	<2	<5	<1
Cadmio	Cd	mg/kg	<2	<10	<1
Níquel	Ni	mg/kg	<50	<100	<40
Plomo	pb	mg/kg	<100	<500	<80

Fuente: (RAOHE, 2020)

Durante el proceso de biorremediación y conocidos los valores de los hidrocarburos totales de petróleo, se realiza la agitación de la muestra de forma mecánica con el agua de las piscinas, con el único fin de separar las partículas oleicas de la fase acuosa. Esto permite la reducción de la concentración de los TPH y a su vez permite remover los sólidos para tener una precipitación en la fase liquida, consiguiendo que los hidrocarburos asciendan debido a la diferencia de densidad con referencia el agua. Este se deposita en la parte superior para poder ser recuperado de forma manual, ya que en esta fase no se utiliza ningún tipo de detergente o desengrasante para no provocar la dilución del hidrocarburo en el agua; los residuos generados en la operación son tratados técnicamente y el agua se traslada a otra estación para que reciba otro tratamiento y luego ser reutilizada.

3.2. Análisis de resultados

En la interpretación de los resultados de los hidrocarburos totales de petróleo en los suelos contaminados, se mencionarán los resultados de dos trabajos similares en la que expresan las diferentes formas de separación de los contaminantes.

Para la determinación se utiliza el siguiente procedimiento:

- La muestra de suelo previamente homogenizada se seca a temperatura ambiente y se tritura.
- Se pesa una cantidad de muestra para colocar en el tubo de extracción.
- Se adiciona la mezcla de extracción (solvente hexano-diclorometano) y se tapa.
- Se agita la muestra para facilitar el contacto entre la muestra y solvente.
- El tubo reposa durante 30 minutos para facilitar que el sólido pueda sedimentar en el interior del tubo (Fuentes, 2016).
- Se extrae un 1,5 ml′ del extracto para analizarlos en el cromatógrafo.

Los resultados se obtienen con las siguientes ecuaciones.

Cálculos:

Concentración de TPH en la muestra

$$\boldsymbol{Cs} = \frac{Cc * Vt * D}{Ws} \qquad \text{Ecuación 1}$$

Dónde:

- Cs = concentración de TPH en la muestra mg/kg.
- Cc = concentración de TPH en el extracto mg/L.
- Vt = volumen final de extracto en L.
- D = factor de dilución o concentración.
- Ws = peso de la muestra en kg.

Los resultados se reportan en miligramos sobre kilogramos (mg/kg).

Para estimar la cantidad de nutrientes y la relación carbono-nitrógeno (C/N) y carbono-fósforo (C/P) que se añaden al suelo contaminado se calculan las siguientes variables:

- Volumen de suelo contaminado (m^3)′ = 625 **(A)**
- Densidad (kg/m^3) = 1 028 **(B)**
- ppm′ de TPH = 24 200 **(C)**
- Porcentaje de TPH = 2,42% **(D)**
- Porcentaje de Saturados Aromáticos = 80% **(E)**
- Relación C/N = 45 Mínimo - 150 Máximo **(F)**
- Relación C/P = 600 Mínimo - Máximo 900 **(G)**

ml: mililitros
m^3: metros cúbicos
ppm: partes por millón

Peso del material

$$\boldsymbol{Peso\ del\ material} = A * B \qquad \text{Ecuación 2}$$

$$\boldsymbol{Peso\ del\ material} = 625 * 1028 = 642500 \text{ kg}$$

Peso de crudo en el suelo contaminado

$$\boldsymbol{Peso\ del\ Crudo\ en\ el\ suelo\ contaminado} = Peso\ del\ material * (\frac{D}{100}) \qquad \text{Ecuación 3}$$

$$\boldsymbol{Peso\ del\ Crudo\ en\ el\ suelo\ contaminado} = 642500 \text{ kg} * \left(\frac{2.42}{100}\right) = 15548 \text{ kg}$$

Peso de material biodegradable en crudo

$$\boldsymbol{Peso\ de\ material\ biodegradable\ en\ crudo} = Peso\ del\ Crudo * \left(\frac{E}{100}\right) \qquad \text{Ecuación 4}$$

$$\boldsymbol{Peso\ de\ material\ biodegradable\ en\ crudo} = 15548 \text{ kg} * \left(\frac{80}{100}\right) = 12438 \text{ kg}$$

Peso mínimo de nitrógeno

$$\boldsymbol{Peso\ mínimo\ de\ Nitrógeno} = (\frac{Peso\ de\ material\ biodegradable}{Fmin}) \qquad \text{Ecuación 5}$$

$$\boldsymbol{Peso\ mínimo\ de\ Nítrógeno} = \frac{12438 \text{ kg}}{45} = 276.4 \text{ kg}$$

Peso máximo de nitrógeno

$$\boldsymbol{Peso\ máximo\ de\ Nitrógeno} = (\frac{Peso\ de\ material\ biodegradable}{Fmax}) \qquad \text{Ecuación 6}$$

$$\boldsymbol{Peso\ máximo\ de\ Nitrógeno} = \left(\frac{12438 \text{ kg}}{150}\right) = 82.92 \text{ kg}$$

Peso mínimo de fósforo

$$\boldsymbol{Peso\ mínimo\ de\ Fósforo} = \left(\frac{Peso\ de\ material\ biodegradable}{Gmin}\right) \qquad \text{Ecuación 7}$$

$$\boldsymbol{Peso\ mínimo\ de\ Fósforo} = \left(\frac{12438 \text{ kg}}{600}\right) = 20.73 \text{ kg}$$

Peso Máximo de Fósforo

$$\boldsymbol{Peso\ máximo\ de\ Fósforo} = \left(\frac{Peso\ de\ material\ biodegradable}{Gmax}\right) \qquad \text{Ecuación 8}$$

$$\boldsymbol{Peso\ máximo\ de\ Fósforo} = \left(\frac{12438 \text{ kg}}{900}\right) = 13.82 \text{ kg}'$$

Todas las ecuaciones y resultados fueron obtenidos del estudio de (Fuentes, 2016).

kg: kilogramos
min: mínimo
max: máximo

La Tabla 3 indica los niveles de contaminación presentes en la muestra de suelo del Parque Yasuní después de los procesos de biorremediación, además, en las Figuras 3 y 4 se puede apreciar la degradación de los hidrocarburos en función del tiempo y los porcentajes de biodegradación conseguidos por los métodos empleados.

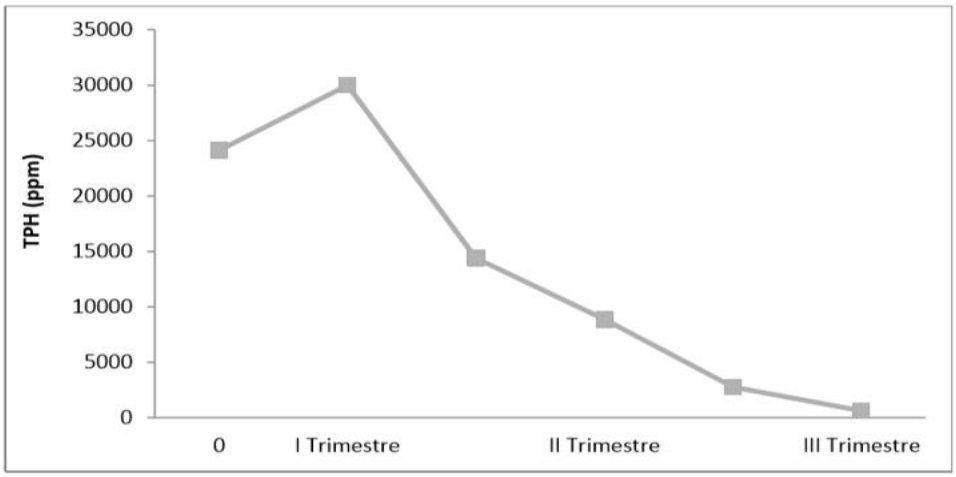
Tabla 3

Caracterización de Suelo Contaminado Posterior a la Biorremediación[1]

Muestra 1	TPH (mg/kg)	Níquel (mg/kg)	Cadmio (mg/kg)	Plomo (mg/kg)	HAPS (mg/kg)
	616	10	< 0,1	< 4,5	< 0,1

Fuente: (Fuentes, 2016)

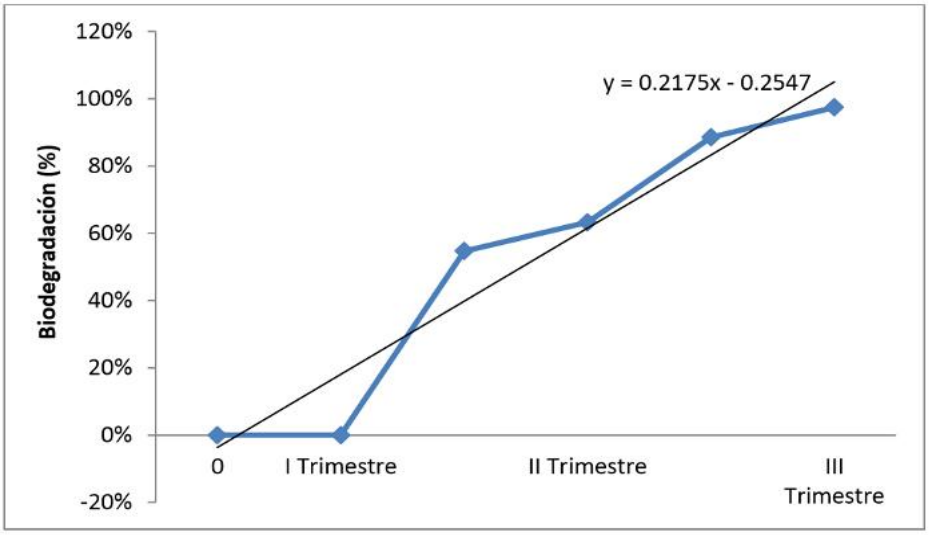
Figura 3: *Fases de Degradación de hidrocarburos totales de petróleo en función del tiempo*



Fuente: (Fuentes, 2016)

Significado de abreviaturas:
TPH: Hidrocarburos Totales de Petróleo
HAPS: Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
kg: kilogramo
mg: miligramo

Figura 4: *Porcentaje de Biodegradación de Hidrocarburos totales de petróleo*



Fuente: (Fuentes, 2016)

En el siguiente estudio de base nos permite observar una muestra de suelo contaminado con aceite residual automotriz (ARA) con 75000 ppm de biosufactantes (BS), este suelo al ser tratado por 30 días decreció hasta 37500 ppm, acción que se realiza en el mismo suelo contaminado, como se refleja en la tabla 4.

Tabla 4

Biorremediación de un suelo contaminado con 75000 ppm de aceite residual automotriz por bioestimulación con solución mineral por 30 días.

Tratamiento	Inicial	Final Bioestimulación/solución mineral
Suelo y agua (control absoluto)	0.0	0.0
Suelo con aceite residual automotriz (control negativo)	75000	75000
Suelo/aceite residual automotriz/bioestimulación /solución mineral	75000	37500

Fuente: (Selva, Balderas, & Sanchez, 2018)

3.3.Discusión de resultados

Dentro de la investigación para determinar que técnicas podrían ser útiles también se destacaron la bioacumulación y el landfarming, sin embargo, ambas fueron descartadas ya que se tomó en consideración dos inconvenientes principales. La bioacumulación por su parte no resulta rentable ya que este método requiere de la introducción de microorganismos externos

para tratar el suelo contaminado, lo que afectaría considerablemente a la microbiota del Parque Yasuní.

Por otro lado, el método landfarming es muy similar a las biopilas, pero menos efectivo a largo plazo, ya que en ocasiones y dependiendo de factores como: los nutrientes del suelo, la disponibilidad de maquinaria para aireación, el tipo y la concentración de contaminante, condiciones climáticas, etc. Puede tomarle mucho tiempo eliminar los hidrocarburos presentes en el suelo a tratar.

Así, los resultados de laboratorio obtenidos del primer estudio revisado en este artículo evidencian la efectividad del proceso de biorremediación doble (biopilas y bioestimulación), acelerando la degradación y la eliminación del hidrocarburo presente en el suelo, alcanzando más del 95% de remoción del contenido contaminante, por lo cual, después de 1 año de tratamiento in situ y ex situ, y finalizado el proceso de biorremediación, el suelo tratado se lleva nuevamente al Parque Nacional Yasuní, donde será depositado de forma final y cumpliendo los parámetros del Ministerio del Ambiente.

En el segundo caso de estudio podemos determinar que la biorremediación mediante la bioestimulación al suelo favorece la producción de microorganismos nativos para tratar el suelo durante los primeros 30 días de tratamiento, dando una reducción de 75000 ppm a 37500 ppm en el contenido contaminante.

En el proceso comparativo de los análisis de biorremediación nos encontramos que los dos procesos aplicados son eficaces y permiten la recuperación del suelo en áreas fuera de los lugares de explotación (ex situ), esto permitirá a las empresas minimizar los impactos de sus actividades y poder reincorporar los suelos tratados a los diferentes lugares del Yasuní cumpliendo los parámetros del MAE.

4. CONCLUSIONES

- En la ejecución del trabajo se realizó la búsqueda y recopilación de datos que muestren la normativa ambiental vigente en el ecuador y su reglamento donde tipifica los lineamientos para las operaciones hidrocarburíferas, base legal que permite observar el cumplimiento o incumplimiento de las empresas con referencia a los suelos contaminados por hidrocarburos, pues sus efectos son muy negativos, sobre todo en un área protegida como lo es el Yasuní.
- Se analizaron dos técnicas de biorremediación de suelos, biopilas y bioestimulación, cuyos resultados fueron excelentes en la recuperación de suelos y porque su implementación también resultó satisfactoria (1 año y 30 días respectivamente). De

igual forma se descartaron dos técnicas, bioaumentación porque requería de especies no nativas de microorganismos para conseguir una depuración del suelo efectiva y landfarming porque en efectividad e implementación resultó ser inferior a las biopilas.

- Los métodos más eficientes para la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos fueron las biopilas y la bioestimulación, siendo ambas la opción más viable a utilizar en áreas afectadas por hidrocarburos dentro del Parque Nacional Yasuní, garantizando hasta un 90% de eliminación de contaminantes.

REFERENCIAS

Anderson, M., & Barragán, L. (2020). *"Aspectos sociales del Proyecto Piloto de Certificación Jurisdiccional de la Amazonía Ecuatoriana: una revisión preliminar".*

ATSDR. (2021). *Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades.* Obtenido de https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts123.html

Beltran, R. (2013). *GUÍA DE MÉTODOS DE BIORREMEDIACIÓN PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS.* BOGOTÁ D.C: UNIVERSIDAD LIBRE, INSTITUTO DE POSTGRADOS EN INGENIERÍA.

Correal, M. (2019). *"Reducción del tiempo de abastecimiento del inventario, por medio de la integración de herramientas Lean en una planta de mantenimiento. Caso de estudio: empresa sector hidrocarburos.".*

EPPetroecuador. (2013). *El Petróleo en el Ecuador la nueva Era.* Obtenido de https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/03/El-Petr%C3%B3leo-en-el-Ecuador-La-Nueva-Era.pdf

Fuentes, S. (2016). Obtenido de Biorremediación de Suelos Contaminados con Fluidos de Producción.: http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/35522/1/Caso%20de%20Estudio%20Remediaci%C3%B3n%20de%20Suelos%20Contaminados.pdf

Giménez, J. (2016). *EL PAÍS.* Obtenido de Yasuní: naturaleza contra petróleo: https://elpais.com/elpais/2016/06/02/planeta_futuro/1464880726_920455.html

Grajales, T. (2020). *Tipos de investigación.*

ITOPF. (2019). *Efectos de la Contaminación por Hidrocarburos en el medio marino.* The International Tanker Owners Pollution Federation Limited.

Litoclean. (2021). *Biorremediación ex situ.* Obtenido de https://www.litoclean.es/descontaminacion-de-suelos/biorremediacion/

López, L. (2019). *Evaluación del tratamiento in situ de los lodos impregnados con hidrocarburos, generados en la planta de tratamiento de agua residual industrial del campo Costayaco.* Colombia: Tesis de Licenciatura. Ingeniería Ambiental.

MAE. (2020). *Remediación Ambiental y Social- PRAS del Ministerio del Ambiente.* Obtenido de https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/06/PRAS-MAYO-2020.pdf

Márquez, A. (2021). *Problemas Ambientales en el Ecuador*. Obtenido de https://www.ecologiaverde.com/problemas-ambientales-en-el-ecuador-3145.html

MINTUR. (2014). *Parque Nacional Yasuní.* Ecuador.

Morán, S. (2020). *Plan V Hacemos Periodismo.* Obtenido de El derrame de crudo de abril llegó a una de las zonas más sensibles del Yasuní:

https://www.planv.com.ec/historias/sociedad/el-derrame-crudo-abril-llego-una-zonas-mas-sensibles-del-yasuni

Moreno, C., Gonzáles, A., & Blanco, M. (2014). *"Tratamientos biológicos de suelos contaminados: contaminación por hidrocarburos. Aplicaciones de hongos en tratamientos de biorrecuperación."*. Rev Iberoam Micol, 21(1), 103-120.

Muskus, A., Santoyo, C., & Plata, S. (2013). *redalyc*. Obtenido de Evaluación de las técnicas de atenuación natural bioventing y bioaumentación para la biodegradación de diésel en suelo arenoso, en experimentos en columna: https://www.redalyc.org/pdf/1694/169428420007.pdf

O'Malley, G., & O'Malley, R. (2020). *Intoxicación (envenenamiento) por Hidrocarburos.* Merck Sharp & Dohme.

Paz, A. (2019). *Ecuador: crece polémica por actividad petrolera en zona intangible del Parque Nacional Yasuní*. Obtenido de Mongabay: https://es.mongabay.com/2019/05/parque-nacional-yasuni-zona-intangible-decreto-ecuador/

Pérez, M. (2022). *Dinámica de Sistemas.* Obtenido de http://www.dinamica-de-sistemas.com/revista/0904g.htm

Pineda, I. (2005). *Taller de lectura y redacción.* Vol. 1. Pearson Educación.

Pontes, N. (2020). *Made for Minds.* Obtenido de Ecuador: indígenas temen hambruna por derrames de petróleo en la Amazonía durante la pandemia: https://www.dw.com/es/ecuador-indígenas-temen-hambruna-por-derrames-de-petróleo-en-la-amazonía-durante-la-pandemia/a-53297986

RAOHE. (2020). *Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador.*

Secretaría de Energía. (2015). *¿Qué son los Hidrocarburos?* México: Gobierno de México.

Selva, J., Balderas, L., & Sanchez, Y. (2018). *Biorremediación de suelo contaminado.*

UNESCO. (2019). *Reserva de Biosfera Yasuní.* Ecuador.

Vasudevan, N., & Rajaram, P. (2001). Bioremediation of oil sludge-contaminated soil. Environment International.

Yasuní Transparente. (2021). *Parque Nacional Yasuní.* Ecuador: Ministerio del Ambiente.

Zamora, A., Ramos, J., & Arias, M. (2012). *Efecto de la contaminación por hidrocarburos sobre algunas propiedades químicas y microbiológicas de un suelo de sabana.* Caracas, Venezuela.: Instituto de Zoología y Ecología Tropical, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela.

5. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

5.1. Hidrocarburos

Los Hidrocarburos son un grupo de compuestos orgánicos que contienen principalmente carbono e hidrógeno; pueden encontrarse de forma líquida natural como el petróleo, gaseoso como el gas natural y sólido en forma de hielo como los hidratos de metano (Secretaría de Energía, 2015).

La mayoría de los hidrocarburos están en el interior de la Tierra, sepultados debajo de diversas capas de suelo; son producto de la descomposición de materia orgánica de millones de años y hoy por hoy son también parte fundamental y esencial para el funcionamiento de la industria, para los hogares y la vida diaria, siendo los principales generadores de energía de nuestro planeta, por ejemplo, el petróleo y el gas natural (Correal, 2019).

5.1.1. Hidrocarburos Totales de Petróleo

Terminología utilizada en la descripción de los diferentes compuesto químicos que se originan en la obtención del petróleo crudo, pero su principal componente es el hidrogeno y el carbono (ATSDR, 2021).

5.2. Efectos negativos de los hidrocarburos en los suelos y en la salud del ser humano

En su estudio Zamora, Ramos y Arias (2012), determinan que el derrame de hidrocarburos de petróleo en el suelo tiene impactos importantes en la actividad de los microorganismos y afecta la funcionalidad del ecosistema; además, Vasedevan y Rajaram (2001) definen que…

> "Los derrames de hidrocarburos de petróleo son una de las principales fuentes de contaminación de suelos y aguas ya que ocasionan perturbaciones en los ecosistemas al afectar su estructura y bioprocesos. Este tipo de contingencias ambientales originan efectos directos sobre la biota, ya que el petróleo contiene compuestos químicos tóxicos que producen daños a plantas, animales y humanos, pero principalmente sobre las poblaciones de microorganismos, los cuales representan parte importante del ecosistema y son claves para los procesos biogeoquímicos."

En su informe ITOPF (2019) señalan que los hidrocarburos en el suelo pueden afectar el medio ambiente a través de uno o más de los siguientes mecanismos:

- Asfixia con efectos en las funciones fisiológicas y toxicidad química que genere efectos letales y subletales o que provoque el deterioro de funciones celulares.

- Cambios ecológicos, principalmente la pérdida de organismos clave de una comunidad y la conquista de hábitats por parte de especies oportunistas.
- Efectos indirectos, por ejemplo, la alteración de la biocenosis y el deterioro de los biotopos de un ecosistema, provocando la eliminación de especies importantes.

Dentro de su manual sobre "Intoxicación por Hidrocarburos" O'Malley y O'Malley (2020) notan que productos cotidianos como pegamentos, aceites y aerosoles contienen hidrocarburos; muchos niños resultan intoxicados por deglución de estos: gasolina, queroseno y diluyentes de pintura, y aunque la mayoría de estos se recuperan, quienes presentan un mayor riesgo son los adolescentes, que intencionadamente inhalan los vapores de disolventes, pegamentos, aerosoles, etc. Para conseguir un estado de embriaguez. Esta inhalación puede provocar anomalías muy graves en el ritmo cardíaco, sobre todo después de realizar un esfuerzo físico o de sufrir estrés.

La afectación con hidrocarburos finos y fluidos (aceite mineral) así como con espesos y viscosos (aceite de motor) no suelen entrar en los pulmones, pero si lo hacen pueden causar una irritación persistente. Por otro lado, la ingesta de hidrocarburos provoca tos y atragantamiento, lo que facilita la entrada del hidrocarburo líquido en las vías respiratorias, una situación que es alarmante de por sí y que puede provocar una neumonía grave; la intoxicación por consumo también puede afectar al tracto digestivo, el corazón, el hígado, la médula ósea y los riñones (O'Malley & O'Malley, 2020).

5.3. Métodos de Biorremediación

En su estudio de "Guía de Métodos de Biorremediación para la recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos" Beltran (2013) precisa que el término de biorremediación se aplica a cualquier sistema o proceso en el que se empleen métodos biológicos para transformar contaminantes en el suelo o en las aguas y los separa en:

- In Situ: se realiza en el mismo sitio.
- Ex Situ: se realiza en instalaciones separadas, tomando en cuenta las características del sitio o del contaminante.

En la biorremediación "In Situ" no es necesaria la preparación y excavación del material contaminado, pero deben valorarse numerosos factores entre los que se destacan:

- Impacto ambiental en la zona
- Actividades industriales que pueden verse afectadas
- Costos comparativos con otros tratamientos
- La velocidad del proceso (Beltran, 2013)

- La dificultad de acceso a la zona contaminada para proveer oxígeno y nutrientes
- La determinación del porcentaje de tratamiento
- El potencial peligro de extensión de la contaminación

Por su parte, la Biorremediación "Ex Situ" consiste en extraer el material contaminado y trasladarlo a otro lugar para realizar la descontaminación. Para ello, existen métodos que se implementan en función de las características del suelo, el tiempo estimado de actuación, la tipología y la distribución de la zona destinada al tratamiento (Litoclean, 2021).

5.3.1. Bioestimulación

"La bioestimulación implica la circulación de soluciones acuosas (que contengan nutrientes y/u oxígeno) a través del suelo contaminado para estimular la actividad de los microorganismos autóctonos y mejorar así la biodegradación de contaminantes orgánicos o bien, la inmovilización de contaminantes inorgánicos in situ" (Fuentes, 2016).

5.3.2. Biopilas

"Son una forma de composteo en el cual se forman pilas con el suelo contaminado y agentes de volumen. El sistema, que puede ser abierto o cerrado, se adiciona con nutrientes y agua y se coloca en áreas de tratamiento, que incluyen sistemas para colectar lixiviados y alguna forma de aireación. La elección del tipo de sistema de biopilas depende principalmente de las condiciones climáticas y de la composición de compuestos orgánicos volátiles presentes en el suelo contaminado" (Fuentes, 2016).

5.3.3. Landfarming

"También conocido como tratamiento superficial en tierra es una técnica de remediación que se realiza en la zona superior del suelo mediante aireación y cuya aplicación usual es la reducción de la concentración de hidrocarburos aprovechando su capacidad para ser biodegradados" (Pérez, 2022).

5.3.4. Bioaumentación

"La Bioaumentación se entiende como la introducción de especies de microorganismos que ayuden a la biodegradación de los contaminantes presentes en el suelo" (Muskus, Santoyo, & Plata, 2013).

5.4. Parque Nacional Yasuní

La UNESCO (2019) informa que…

> "la reserva de biosfera Yasuní tiene como ecosistema dominante al Bosque Húmedo Tropical Lluvioso, que es parte de la cuenca alta del Amazonas, catalogada como una de las zonas con mayor diversidad por metro cuadrado del planeta y estando representada por el 99.73% de vegetación natural original".

Sus principales actividades socio-económicas se basan en la producción y explotación del área, ya sea por los grupos étnicos como los Waorani, Kichwa y Shuar o inversión extranjera. La producción de café es de gran importancia en esta zona, seguida por los cultivos de maíz, plátano, cacao, arroz y yuca, con varios de estos destinados a la agroindustria y a la exportación. La población también trabaja en el sector de turismo, principalmente como guías y operadores (UNESCO, 2019).

Quien recorra el parque, encontrará una biodiversidad sorprendente, con varias marcas mundiales en riqueza de flora y fauna, y multitud de sinuosos ríos que desembocan en el Amazonas (MINTUR, 2014). Según el Ministerio de Turismo del Ecuador, la biodiversidad del Parque Nacional Yasuní se extiende desde:

- Más de 1.400 especies distintas de animales
- 150 especies de anfibios
- Casi 600 especies de aves distintas
- 169 especies de mamíferos (MINTUR, 2014)
- Más de 100 mil especies de insectos en una hectárea
- En 50 hectáreas de bosque se puede encontrar hasta 1.300 plantas distintas y 650 especies de árboles

El Parque Nacional Yasuní (PNY) está ubicado en el centro-oriente de la región amazónica y es el área protegida más grande del Ecuador continental. Fue creado el 26 de julio de 1979 y tiene una extensión de 1 022 736 hectáreas que albergan un importante patrimonio natural y cultural. Es considerado uno de los lugares más biodiversos del planeta por lo que ha sido calificado científicamente como Refugio del Pleistoceno (Yasuní Transparente, 2021).

Pese a todo lo anterior, la actualidad del Parque Nacional Yasuní es que está en una lucha por su conservación, con varios ecologistas y grupos argumentando que el mayor tesoro del Yasuní es la biodiversidad que alberga, no sus hidrocarburos. Aun así, las comunidades indígenas sufren agrias divisiones internas y observan cómo su cultura se diluye con el petróleo, y mientras algunas de estas ven en la llegada de las petroleras una forma de mejorar sus condiciones de vida y de dejar de ser olvidados por el estado, otras se lamentan por haber

vendido su territorio sin recibir a cambio lo prometido y ver de primera mano la destrucción de su territorio (Giménez, 2016).

5.4.1. Derrames en el Parque Nacional Yasuní

Actualmente, alrededor del 68% de la Amazonía ecuatoriana, que cubre 12 millones de hectáreas, está en concesión para la industria petrolera por sus más de 4 000 pozos. Los datos analizados por el Ministerio del Ambiente apuntan a 1 169 derrames reportados oficialmente entre 2005 y 2015 en Ecuador, de estos, el 81% fue en la Amazonía (Morán, 2020).

Para Anderson y Barragán (2020) fundadores de Amazon Frontlines, afirman que "los derrames de petróleo no son solo una consecuencia desafortunada de la perforación, sino parte del negocio inmundo de lucrar con una destrucción".

Los esfuerzos de las petroleras a lo largo de los años, no han sido suficientes para controlar la contaminación por derrames. Más del 80% de los derrames de crudo han afectado, en especial, a la cuenca del río Napo, conocida como la más biodiversa del mundo en tema de ictiofauna para una cuenca de este tamaño, donde se ha nombrado más de 470 especies de peces (Morán, 2020).

Figura 5. *Contaminación por derrame de crudo cerca del Coca, Sucumbíos, Ecuador*



Fuente: (Pontes, 2020)