UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TEMA

PROPUESTA DE UN PLAN DE BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS EN EL SECTOR DE AGUAS NEGRAS PLATAFORMA JHOAN 1

AUTORAS

ESTHER NOEMI CALLE CABRERA

GIOMARA ALEXANDRA CORTEZ MOYA

DIRECTOR DEL PROYECTO

ING. JESSICA ALEXANDRA MACHADO CUZCO MSc

Pastaza – Ecuador

2021- 2021

DECLARATORIA Y AUTORÍA DE CESIÓN DE DERECHOS

Nosotros, Calle Cabrera Esther Noemí y Cortez Moya Giomara Alexandra con C.I. 1750387936 y 1600901381, hace constar que son autores/a del Proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado: PROPUESTA DE UN PLAN DE BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS EN EL SECTOR DE AGUAS NEGRAS PLATAFORMA JHOAN 1, el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del Tutor de dicho trabajo, Msc. Machado Cuzco Jessica Alexandra con CI. 0106047822

En tal sentido, manifiesto la originalidad de la conceptualización del trabajo como interpretación de datos y elaboración de conclusiones dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo.

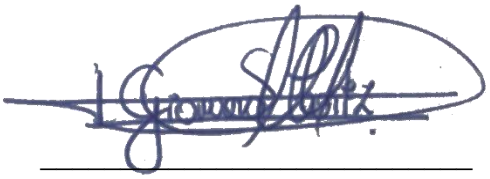
En el cantón Pastaza, a los 16 días del mes de julio del 2021.



Estudiante

Calle Cabrera Esther Noemi

CI: 1750387936



Estudiante

Cortez Moya Giomara Alexandra

CI: 1600901381

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: "PROPUESTA DE UN PLAN DE BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS EN EL SECTOR DE AGUAS NEGRAS PLATAFORMA JHOAN 1"

JESSY PAULINA GUERRERO RUBIO

Firmado digitalmente por JESSY PAULINA GUERRERO RUBIO
DN: cn=JESSY PAULINA GUERRERO RUBIO, c=EC, l=QUITO, o=BANCO CENTRAL DEL ECUADOR, ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION-ECIBCE
Motivo: Soy el autor de este documento
Ubicación:
Fecha: 2021-07-16 15:00-05:00

Jessy Paulina Guerrero Rubio

Msc. Guerrero Rubio Jessy Paulina

Presidente del Tribunal

Firmado electrónicamente por:

DANILO PEDRO SARABIA GUEVARA

Msc. Sarabia Guevara Danilo Pedro

Miembro del Tribunal

Firmado electrónicamente por:

MARCOS DAVID LANDIVAR VALVERDE

Msc. Landivar Valverde Marcos David

Miembro del Tribunal

CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD OBTENIDO EN EL SISTEMA ANTI PLAGIO

Quien suscribe el presente Msc. Machado Cuzco Jessica Alexandra o con CI: 0106047822, certifica que el Proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado:" "PROPUESTA DE UN PLAN DE BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS EN EL SECTOR DE AGUAS NEGRAS PLATAFORMA JHOAN 1", ha sido analizado a través del sistema Antiplagio URKUND y presenta un porcentaje de similitud del 3 %.

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

Firmado electrónicamente por:



JESSICA ALEXANDRA MACHADO CUZCO

Msc. Machado Cuzco Jessica Alexandra

Director del Proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular

DEDICATORIA

Dedico a mi hermana María Calle por haberme apoyado en todo el transcurso de mi formación estudiantil, a mis padres Bernave Calle y Rosario Cabrera que me han enseñado a ser una mujer de bien, han apoyado cada decisión que he tomado en mi vida, a mi hermana Verónica Calle y mi cuñado Cristhian Borja, por motivarme a forjarme ser mejor cada día con sus consejos. De igual forma a todas mis hermanas/os a Josefina, Carmen, Manuel, Rocío, Gladis y Eliza que me han apoyado de una u otra forma alentándome que siga adelante a pesar de todas las circunstancias que he tenido que vivir son mi pilar de vida.

A mi pequeña hija Ashley Calle, mi motivación por mejorar cada día y continuar superándome para que la vida nos depare un mejor futuro, seas una mujer de bien y poder brindarte lo que esté a mi alcance.

A mis amigas que siempre estuvieron ahí en las buenas y malas a Giomara, María, Jomira quienes compartieron los mejores años de mi vida universitaria fortalecimos esta amistad lo cual espero que perdure, cada motivación que nos brindábamos cuando parecía que era el fin y juntas sigamos cosechando éxitos. A mis compañeros de clase que me ayudaron compartiendo sus conocimientos, vivimos momentos únicos y su vez cuando existían dudas reforzaban gracias, sin duda una etapa que siempre perdurará.

Esther Calle

DEDICATORIA

A Dios, por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad, y por brindarme sabiduría para poder desarrollar esta investigación.

A mi madre Cristina Moya, a mis padres Marco Paredes y Alex Cortez, por brindarme su apoyo en todo momento, por los valores inculcados, que a través de su amor y paciencia he alcanzado a cosechar muchos logros, y por ser mis pilares fundamentales para no detenerme.

A mi Esposo Bryan Freire por ser un apoyo incondicional en mi vida, por regalarme esos abrazos, justo en los momentos precisos, que con su amor me ha motivado a seguir adelante para cumplir con mi sueño de terminar mi carrera universitaria.

A mi tía Martha Moya por ser parte importante de mi vida, por cuidarme desde mi niñez hasta ahora, que con su cariño y amor me ha incentivado a no detenerme, sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

A mis hermanos Jean, Leonela, Joshua y Henry, por llenar mi vida de alegrías y momentos inolvidables durante todo este proceso y así poder ser un ejemplo de desarrollo profesional para ellos.

A mis suegros Merjsa y Rigoberto, porque desde un principio me han brindado su apoyo total en mi vida universitaria y me han considerado parte de su familia.

A mis cuñados Cinthya, Alex y Kerly, por brindarme el apoyo y la confianza necesaria en el transcurso de mis estudios, por considerarme como su hermana y hacer que mis días estén llenos de alegría.

A mis ángeles del cielo, que con su luz me han iluminado durante todo el proceso de mi carrera, siempre estarán presentes en mi mente y en mi corazón, por haber creído en mí hasta el último momento. **¡YA SOY INGENIERA!**

Giomara Cortez

AGRADECIMIENTO

En primera instancia agradezco a Dios, por permitirme gozar de esta maravillosa etapa no solo me ayudó nutrirme de conocimientos, sino experiencias y ser mejor cada día, a la Universidad Estatal Amazónica por haberme abierto las puertas de está distinguida institución, a mis maestros que aportaron sus conocimientos, en el transcurso de los cinco años de vida estudiantil.

Agradezco también a mi Tutora del Proyecto, a la Ingeniera. Jessica Machado habernos brindado la oportunidad de guiarnos bajo su capacidad y experiencia en el tema, aclarando cada duda que surgía, la paciencia que mantuvo en el desarrollo del proyecto ya que sin esto no hubiese sido posible llevar a cabo todo el proceso con éxito.

De igual forma agradezco al Ingeniero. Xavier Carvajal por la ayuda brindada, que a su vez me motivó a mejorar el proyecto a través de sus conocimientos, además de ser un maestro es un gran amigo.

Para finalizar agradezco a mi compañera de Proyecto a Giomara Cortez, por ser esa amiga que estuvo en todo el transcurso de mi vida universitaria esa amistad sincera y leal, motivadora para no desfallecer en el desarrollo de nuestro proyecto.

Gracias a todas las personas que confiaron y creyeron en mi capacidad de superarme, quiénes me motivaron constantemente alcanzar mis sueños.

Esther Calle

AGRADECIMIENTO

¡LA MEJOR HERENCIA QUE NOS PUEDEN DEJAR LOS PADRES SON LOS ESTUDIOS, SIN EMBARGO, ¡NO ES EL ÚNICO LEGADO DEL CUAL YO ME SIENTO AGRADECIDA!

A Dios, a mi familia, por todo el apoyo brindado a lo largo de mi vida, que gracias al esfuerzo de trabajo que hacen día a día, me han dado la oportunidad de cursar mi carrera universitaria.

Gracias a la Universidad Estatal Amazónica, a la Facultad Ciencias de la Vida por haber permitido formarme en ella, por haberme brindado tantas oportunidades y enriquecerme en conocimiento, por abrirme las puertas de su seno científico para poder estudiar mi carrera de ingeniería, así como también a los diferentes docentes que me brindaron sus conocimientos y apoyo para seguir adelante día tras día.

Gracias Ingeniera. Jessica Alexandra Machado Cuzco por su inestimable ayuda, paciencia, tiempo y amistad; sus aportaciones a esta tesis han sido de mucha importancia, he sabido contar con una persona muy profesional que ha sabido transmitirme su experiencia en el estudio de suelos contaminados.

A Esther por haber sido una excelente compañera y amiga de tesis, por haberme tenido la paciencia necesaria, por motivarme a seguir adelante en los momentos de desesperación, y por el apoyo recibido en días buenos y malos desde el día que la conocí, que a más de ser mi amiga la considero mi hermana.

Gracias Ingeniero Xavier Carvajal, por darme la oportunidad de aprender cosas nuevas y crecer profesionalmente, por el apoyo y facilidades que me ha otorgado y por los conocimientos brindados que me han sido de mucha ayuda en todo este proceso.

En todo este transcurso de estudio he conocido a muchas personas, que se han sabido ganar mi estima y consideración, de esta manera también quiero agradecer especialmente a Kelly Ayerve, por confiar y creer en mí y haber hecho de mi etapa universitaria un trayecto de vivencias que nunca olvidaré.

Giomara Cortez

RESUMEN

Se elaboró una propuesta de un plan de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos en el sector de aguas negras plataforma Jhoan 1. Durante las últimas décadas se ha evidenciado el desastre ecológico que ha generado la explotación hidrocarburífera en el país, los problemas socioambientales derivados de la industria petrolera, sus derrames y el abandono de la infraestructura. Para ello se estableció el tipo de contaminantes presentes en el suelo causado por el derrame hidrocarburífero en la plataforma petrolera Jhoan 1, a través de la investigación bibliográfica virtual, se identificó los contaminantes que persisten la amazonia son los Hidrocarburos Totales (TPHs) y los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs). Se determinó las propiedades fisicoquímicas del suelo para la utilización de un adecuado plan de biorremediación, mediante el empleo de filtros de preselección esto consiste en realizar dos matrices de relación el cual primero se detalló el tipo de métodos de biorremediación que se han empleado en el Ecuador de acuerdo a las propiedades fisicoquímicas del suelo y determinar cuáles de ellos cumplen bajo la Normativa Ambiental del Acuerdo Ministerial 097 de los LMP (Límites Máximos Permisibles) para un suelo agrícola, las propiedades físicoquímicas del suelo en la zona de estudio arrojo que posee un color gris, su textura es arcilloso-arenoso limoso, pH (6-8), densidad 1.82 T/m^3, conductividad 200 uS/cm, temperatura 24ºC y humedad relativa 88%. Se determinó, el enfoque metodológico a emplear para construir el plan de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos en el sector de Aguas Negras, mediante un análisis bibliográfico virtual, se estableció que la mejor técnica a emplear es un tratamiento mixto en este caso la técnica de bioaumentación y bioestimulación, mediante esta combinación se puede disminuir el mayor porcentaje de contaminantes que más repercuten en la amazonia como es los Hidrocarburos Totales e Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos.

PALABRAS CLAVE: BIORREMEDIACIÓN, HIDROCARBUROS, DERRAMES, TRATAMIENTO, SUELO.

SUMMARY

A proposal for a bioremediation plan for soil contaminated by hydrocarbons in the sector of Aguas Negras in the platform of Jhoan 1 was created. During the last decades, there has been evidence of the ecological disaster that has generated the exploitation of hydrocarbons in the country. The social and environmental problems derived from the petroleum industry, it's spread and the infrastructure abandonment. For which, the type of contamination present in the soil caused by the oil spill in the platform of Jhoan 1 was established. Through a virtual bibliography investigation, the contaminants that remain in the Amazon region were identified as Total Hydrocarbons (TPHs) and the Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). The physical and chemical properties of the soil were determined for the use of an adequate plan for bioremediation through the implementation of reselection filters. This consists of creating two matrices related. The first detailed the type of methods of bioremediation that have been implemented in Ecuador according to the physical and chemical properties of the soil and determine which of them meet the requirements of the Normative Environmental Ministry Agreement 097 of the LMP (Maximum Permitted Limits) for an agricultural soil. The physical and chemical properties of the soil in the studied zone that was a gray color, with a clay-sand silt texture, pH (6-8), density 1.82 T/m^3, conductivity 200 uS/cm, temperature 24ºC and relative humidity 88%. The methodological focus to implement to construct the bioremediation plan of soils contaminated by hydrocarbons in the sector of Aguas Negras was determined through a virtual bibliographical analysis and established that the best technique to use, in this case, is a mixed treatment of the bioaugmentation and biostimulation technique. Through this combination, the majority of the percentage of contaminants that cause repercussions in the Amazon region can be diminished, such as the Total Hydrocarbons and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons.

KEYWORDS: BIOREMEDIATION, HYDROCARBONS, SPILLS, TREATMENT, SOIL.

INDÍCE

CAPÍTULO I *1*

INTRODUCCIÓN *1*

1.1. Objetivos 2

1.1.1. Objetivo general 2

1.1.2. Objetivos específicos 2

1.2. Planteamiento del problema 2

1.3. Justificación 4

CAPÍTULO II *5*

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA *5*

2.1. Ambiente 5

2.2. Contaminación ambiental 5

2.2.1. Causas y Consecuencias de la Contaminación Ambiental 5

2.3. Remediación 6

2.3.1. Técnicas de remediación 6

2.4. Tecnologías 8

2.5. Tratamientos Biológicos 10

2.5.2. Tipos de biorremediación 10

2.5.3. Factores que condicionan la remediación del suelo 11

2.6. Suelo 16

2.6.1. Tipos de suelo 17

2.6.2. Tipos de suelos en el Ecuador 18

2.6.3. Suelos en la Amazonía ecuatoriana 21

2.7. Hidrocarburos 22

CAPÍTULO III *23*

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN *23*

3.1. Localización de la Parroquia de Aguas Negras 23

3.2. Tipo o diseño de la investigación 24

3.2.1. Enfoque Cualitativo 24

3.2.2. Investigación exploratoria 25

3.2.3. Exploratoria cualitativa de estudios de casos 25

3.3. Método 26

3.3.1. Inductivo 26

CAPÍTULO IV *29*

ANÁLISIS DE RESULTADOS *29*

4.1. Establecimiento de tipo de contaminantes presentes en el suelo causado por el derrame hidrocarburífero en la plataforma petrolera Joan 1. 29

4.2. Determinación de las propiedades fisicoquímicas del suelo para la utilización de un adecuado Plan de Biorremediación. 29

4.3. Comparación de los Tratamientos de Biorremediación con la Normativa Ambiental del Ecuador (Acuerdo Ministerial 097) 30

4.3.1. Selección del tratamiento de biorremediación para la plataforma Jhoan 1 ... 41

CONCLUSIONES *42*

RECOMENDACIONES *42*

BIBLIOGRAFÍA *44*

TABLAS

Tabla 1 – 2: *Principales Tecnologías de Remediación según el tipo de tratamiento 9*

Tabla 2 – 2: *Características de los Tratamientos Biológicos……13*

Tabla 3-3: *Estudios de suelos contaminados por hidrocarburos ……27*

Tabla 3-4: *Elementos que constituyen los hidrocarburos en la Amazonía ecuatoriana….. 29*

Tabla 4-4: *Propiedades Físicoquímicas de la Parroquia Aguas Negras ……..30*

Tabla 5-4: *Comparación de la concentración de los contaminantes con la norma ecuatoriana (Acuerdo Ministerial 097) Tratamiento Bioaumentación con la especie (Pseudomonas Fluorescens)…… 31*

Tabla 6-4*: Comparación de la concentración de los contaminantes con la norma ecuatoriana (Acuerdo Ministerial 097) Tratamiento Bioestimulación con el fertilizante NPK 10-30-10……32*

Tabla 7-4: *Comparación de la concentración de los contaminantes con la norma ecuatoriana (Acuerdo Ministerial 097) Tratamiento Biotransformación de metales, con las especies (Corynebacterium diphteriae, Aeromonas hydrophila, Pantoea agglomerans)…. 32*

Tabla 8-4: *Comparación de la concentración de los contaminantes con la norma ecuatoriana (Acuerdo Ministerial 097) Tratamiento Bioventing…… 33*

Tabla 9-4: *Comparación de la concentración de los contaminantes con la norma ecuatoriana (Acuerdo Ministerial 097) Tratamiento Compostaje…….. 34*

Tabla 10-4: *Comparación de la concentración de los contaminantes con la norma ecuatoriana (Acuerdo Ministerial 097) Tratamiento Fitorremediación (Helianthus annuus L)…….. 35*

Tabla 11-4: *Comparación de la concentración de los contaminantes con la norma ecuatoriana (Acuerdo Ministerial 097) Tratamiento Landfarming…… 36*

Tabla 12-4: *Comparación de la concentración de los contaminantes con la norma ecuatoriana (Acuerdo Ministerial 097) Tratamiento Lodos Biológicos…….. 37*

Tabla 13-4: *Comparación de la concentración de los contaminantes con la norma ecuatoriana (Acuerdo Ministerial 097) Tratamiento Pilas Biológicas…… 38*

Tabla 14-4: *Ventajas, Desventajas, Costos y Duración de los Tratamientos de Biorremediación ……39*

FIGURAS

Figura 1– 2: Clasificación de las Tecnologías de Remediación……..7

Figura 2 – 2: Composición en Volumen del Suelo…….. 17

Figura 3-3: Mapa de la Parroquia de Aguas Negras…… 23

Figura 4-3: Dimensiones del enfoque cualitativo ……24

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El crecimiento exponencial de la población, la explotación excesiva de recursos naturales (renovables y no renovables) y la expansión de diferentes industrias, ha provocado una degradación progresiva del medio ambiente y sus componentes. El descubrimiento del petróleo significó en gran medida el desarrollo de la forma de vida de la humanidad, sin embargo, durante los procesos de exploración, perforación, extracción, transformación, almacenamiento y el uso, provocan la contaminación del aire, el agua y el suelo (Jiménez, 2020).

La demanda de productos derivados del petróleo sigue aumentando; en 2018, la demanda mundial de petróleo aumentó en 1,5 millones de barriles por día, 1,6% superior al promedio de la última década. Inevitablemente durante la exploración, recuperación, almacenamiento y transporte de tales grandes cantidades de productos petrolíferos, así los hidrocarburos ingresan al medio ambiente causando graves daños a la tierra.(Khudur et al., 2019).

En su estudio Molina Solis (2020), menciona que los derrames de hidrocarburos en zonas de explotación petrolera son comunes en Ecuador, siendo la Amazonía la región más afectada. Estos derrames datan mayormente de 1972 a 1992, y se estima que se han descargado 17 000 millones de galones de petróleo y 30 000 millones de galones de hidrocarburos tóxicos en el suelo y en flujos de agua de la región amazónica. Los derrames de hidrocarburos repercuten en la salud humana, el medio ambiente y las propiedades fisicoquímicas del suelo. Además, afectan principalmente la estructura del suelo, siendo un desafío especial remediar suelos arcillosos que, ante la presencia de hidrocarburos, aumentan su capacidad de compresión, disminuyen su sistema de drenado, lo que a su vez interfiere con la disponibilidad de nutrientes y limita el desarrollo del microbiota del suelo. Justamente, este tipo de suelos son los que prevalecen en la Amazonía ecuatoriana por lo que hay que aplicar técnicas de manejo de suelo para incrementar la cantidad de materia orgánica y de esta forma mejorar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de los suelos arcillosos,

incluida la capacidad de absorción de líquidos y la asimilación de nutrientes de manera que se facilite la biorremediación.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Plantear una Propuesta de Biorremediación de Suelos Contaminados por Hidrocarburos, identificando los diferentes métodos y técnicas para determinar la mejor propuesta de biorremediación que pueda ser implementado en la zona de estudio.

1.1.2. Objetivos específicos

- Establecer el tipo de contaminantes presentes en el suelo causado por el derrame hidrocarburífero en la plataforma petrolera Jhoan 1.
- Determinar las propiedades fisicoquímicas del suelo para la utilización de un adecuado Plan de Biorremediación.
- Describir el enfoque metodológico a emplear, para construir el plan de Biorremediación de Suelos contaminados por Hidrocarburos en el sector de Aguas Negras, mediante un análisis bibliográfico.

1.2. Planteamiento del problema

Las actividades hidrocarburíferas y sus derivados en el Ecuador han sido una de las fuentes principales de ingresos económicos para el país, siendo la Amazonía el mayor productor de crudo a nivel nacional desde 1972 cuando el petróleo se convirtió en el motor de la economía marcando los ritmos sociales y políticos (Montalvo, 2018)

Por esta razón se ha suscitado serios problemas sociales, culturales, ambientales durante la fase de exploración, explotación y abandono de pozos petroleros, en este contexto, las malas prácticas empleadas por las diferentes compañías petroleras asentadas en el país, han sido los precursores de dicha contaminación, entre ellas las que se puede citar son derrame durante su explotación, accidentes de cargueros, fugas en tuberías, ruptura en tanques de almacenamiento de crudo y accidentes de transporte generando daños al

ecosistema, principalmente al suelo, fuentes hídricas, cobertura vegetal a la flora y fauna, daños a la salud de la población (Puentestar, 2015).

Durante las últimas décadas se ha evidenciado el desastre ecológico que ha generado la explotación hidrocarburífera en el país, los problemas socioambientales derivados de la industria petrolera, sus derrames y el abandono de la infraestructura, para ello la empresa debe emplear planes de remediación que permitan mitigar los efectos generados por esta actividad (Regato, 2015). En lo que respecta al sector de Aguas Negras, Plataforma Jhoan 1 son recurrentes los incidentes producidos por derrame petrolero afectando la calidad de suelo, debido a las percolaciones de hidrocarburos y metales pesados, por causa de una evasión en la tubería que conduce hacia la planta central. (GADPRA, 2019)

Conforme lo antes mencionado el presente proyecto de investigación desarrollará una propuesta de biorremediación de la contaminación hidrocarburífera de los suelos contaminados en el sector de Aguas Negras en la Provincia de Sucumbíos, mantener los suelos libres de contaminación es de vital importancia, en virtud de que es el material orgánico que compone la corteza terrestre y es el lugar donde se desarrollan gran parte de los ciclos vitales, es el lugar donde el ser humano puede cultivar y nutrirse de los productos cultivados, además es menester tomar en cuenta que en la comunidad rural de "Aguas Negras" los suelos libres de contaminación son necesarios para la manutención de varias familias, ya sea, a través de actividades agrícolas y pecuarias o cualquier proceso relacionado con el sector alimenticio. (Bembibre, 2017)

A lo largo del desarrollo industrial se realizan prácticas para la obtención de petróleo, dichas prácticas han traído repercusiones al medio ambiente debido a la mala planeación del cuidado de los recursos, por ende, es de vital importancia utilizar un método adecuado tanto para la prevención como para la recuperación de suelos afectados, ya que la contaminación de suelos por exploración, explotación y procesamiento de petróleos y sus derivados causan cambios físicos y químicos en los suelos (Ortega, 2015).

1.3. Justificación

La presente investigación contribuirá a mejorar la difícil situación de contaminación del suelo en el sector de “Aguas Negras” producido por la contaminación hidrocarburífera, esta propuesta de biorremediación es relevante en virtud de que sentará los lineamientos biotecnológicos de recuperación al usar procesos naturales para la degradación de hidrocarburos, asociando técnicas que utilizan encimas y microorganismos monooxigenadas que degradan hidrocarburos de cadena larga (Gamarraga, 2018).

Su alcance será preventivo y de acción programática en tanto que evitará por un lado la consecución de desastres y posibilitará remediar los ya ocasionados por el derrame de petróleo a nivel nacional, las aplicaciones prácticas pueden permitir la remediación del daño ambiental tanto del suelo como también del agua permitiendo de esta manera una regeneración de los ecosistemas de manera sustentable (Garbisu, 2016).

Los fundamentos teóricos en cuanto a la biorremediación reflejan técnicas innovadoras y exitosas en el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos a bajos costos operacionales, así también la teoría ha encontrado en el proceso de aplicabilidad de las distintas metodologías de biorremediación no obstante, la utilización de mecanismos biotecnológicos puede remediar esta limitante, de este modo los principios bioquímicos de la biorremediación nos permitirán entender las reacciones de óxido reducción que produce la cadena respiratoria de los electrones de la célula, en el proceso de degradación de los carburos (García, 2016).

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Ambiente

El concepto de ambiente involucra múltiples factores y ámbitos de un contexto, es decir, "todo aquello que rodea al hombre, lo que puede influenciarlo y puede ser influenciado por él", por lo que el ambiente donde la persona está inmersa se conforma de elementos circunstanciales físicos, sociales, culturales, psicológicos y pedagógicos del contexto, los cuales están interrelacionados unos con otros (García- Chato, 2014)

2.2. Contaminación ambiental

Se puede definir como contaminación ambiental a la introducción de un agente nocivo en un entorno determinado que afecta al equilibrio, convirtiendo a este en un ambiente inseguro, cuando las concentraciones son elevadas repercute de manera negativa causando desorden e inestabilidad de los entornos ecológicos, Según la Fundación Internacional Aquae, 2017; se distinguen dos tipos de contaminación natural y artificial, la primera es causada por fenómenos naturales tales como incendios forestales, erupciones volcánicas, tsunamis o terremotos que por sus factores modificatorios del ambiente provocan algún tipo de contaminación, por el contrario la segunda hace referencia a las causas provocadas por la actividad del ser humano como por ejemplo la manipulación de los ciclos naturales, mala administración en cuanto a los recursos o gestión inapropiada de residuos. (Estupiñan, 2019)

2.2.1. Causas y Consecuencias de la Contaminación Ambiental

2.2.1.1. Causas

Las principales causas de contaminación del suelo se deben a industrias de distinto origen que son las causantes de contaminar el suelo entre las principales se encuentran las químicas, textiles, las de pinturas y principalmente petróleo y sus derivados (Dávila, 2018). En los suelos, la manipulación negligente; el goteo de tuberías, corrosión de infraestructuras y derrames, disminuyen la calidad de estos. (Veloz et al., 2016). La contaminación con

petróleo provoca que los compuestos solventes se filtren, y los sólidos y grasas permanezcan en la superficie o sean llevados hacia tierras más bajas (Vasquez, 2018).

2.2.1.2. Consecuencias

Los daños que la contaminación por hidrocarburos ha ocasionado pueden dividirse fundamentalmente en las siguientes: humanos, al patrimonio, y ecológicos. Dichas afectaciones nocivas en los humanos han provocado principalmente intoxicaciones; no obstante, en el ideario nacional se encuentra latente el Caso Chevron por sus repercusiones internacionales, así como también el grave e irreversible resultado que ocasiono en el país. (Jimenez, 2016)

Los daños patrimoniales han involucrado la pérdida de áreas campesinas cultivables, también, cada vez que existe un derrame de hidrocarburos se provoca la afectación al suelo, muchas veces incrementando de este modo las brechas de desigualdad, finalmente, los daños ecológicos implican son: afectaciones al suelo, a los cultivos y al agua y en muchos de los casos son irrecuperables. (Ocaña, 2018)

2.3. Remediación

La remediación es el conjunto de medidas a las que se someten los sitios contaminados para eliminar o reducir los contaminantes hasta un nivel seguro para la salud y el ambiente o prevenir su dispersión en el ambiente sin modificarlos, de conformidad con lo que establece en esta ley (ReLASC, 2012).

2.3.1. *Técnicas de remediación*

Según la investigación realizada por Candia (2019). Las tecnologías de remediación de suelos y / o aguas subterráneas abarcan todas aquellas operaciones que tienen como objetivo reducir la toxicidad, movilidad o concentración del contaminante presente en el medio ambiente, alterando la composición de la sustancia peligrosa o del medio ambiente, mediante acciones químicas, físicas o biológicas.

Actualmente, existe una amplia gama de tecnologías para la remediación de sitios contaminados, algunas de aplicación habitual y otras aún en fase experimental, diseñadas para aislar o destruir sustancias contaminantes. Su elección depende de las características

intrínsecas del medio y del contaminante, la eficacia esperada de cada tratamiento, su viabilidad técnico-económica y el tiempo estimado para su ejecución. (Candia, 2019)

Las tecnologías de remediación normalmente pueden agruparse en función de sus características de operación o finalidad, según los siguientes criterios:

- Objetivo de la remediación,
- Lugar en que se aplica el proceso de remediación y
- Tipo de tratamiento utilizado.

Además de los criterios anteriores, también pueden clasificarse en base al grado de desarrollo técnico en el que se encuentran.

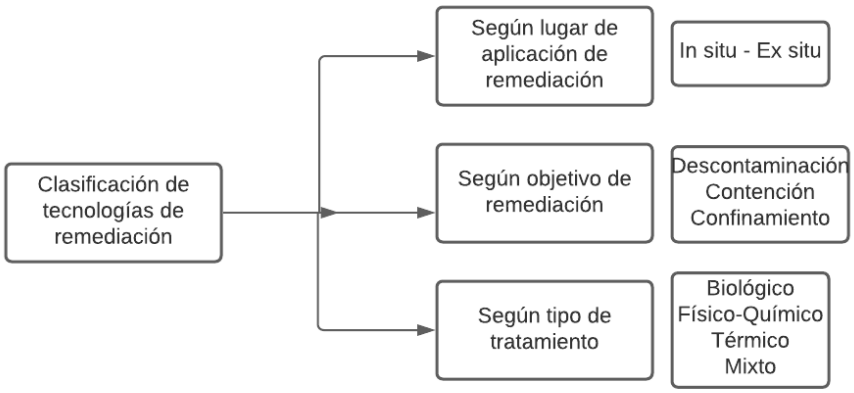


Figura 1– 2: Clasificación de las Tecnologías de Remediación
Fuente: *Candia (2019)*

2.4. Tecnologías

Existen numerosas tecnologías de remediación de suelos dentro de las cuales podemos encontrar la tecnología Biológica, Fisicoquímicas y Térmicas, las cuales se usan de acuerdo a las condiciones del suelo para degradar, transformar o remover compuestos orgánicos tóxicos, las rutas de biodegradación y el uso de cada una de las tecnologías depende de los contaminantes orgánicos, los cuales varían en función a su estructura química y la composición microbiana degradadora. la biorremediación puede emplear organismos propios del sitio contaminado o de otro sitio es decir in situ o ex situ, en condiciones aeróbicas o anaeróbicas (Velasco, 2016).

A continuación, se presentan algunas de las tecnologías de remediación más utilizadas para tratar aguas subterráneas y suelos contaminados, en base al tipo de tratamiento (biológico, fisicoquímico, térmico y mixto).

Tabla 1 – 2: *Principales Tecnologías de Remediación según el tipo de tratamiento*

Tratamientos Biológicos	Tratamientos Físico-Químicos	Tratamientos Térmicos	Tratamientos Mixtos
Bioaumentación	Adición de enmiendas	Calentamiento por reducción térmica	Extracción Multifase
Biodegradación Asistida/Bioestimulación	Barreras de suelo seco	Calentamiento por radio frecuencia	Atenuación natural
Biotransformación de Metales	Barreras físicas (Verticales/Horizontales)	Calentamiento por resistencia eléctrica	
Bioventing	Barreras Hidráulicas	Desorción térmica	
Compostaje	Barreras permeables activas	Incineración	
Fitorremediación	Electrocinética	Inyección de agua caliente	
Landfarming	Estabilización Física- Química	Inyección de aire caliente	
Lodos Biológicos	Extracción de agua	Inyección de vapor	
Pilas Biológicas	Flushing	Pirólisis	
	Extracción de aire	Vitrificación	
	Inyección de aire comprimido		
	Inyección de Solidificantes		
	Lavado de suelos		
	Oxidación UV		
	Pozo de recirculación		
	Lavado de suelos		

Fuente: *Candia (2019)*
Elaborado por: Esther Calle y Giomara Cortez

2.5. Tratamientos Biológicos

2.5.1. Biorremediación

Se puede definir a la biorremediación como el proceso a través del cual se pretende remediar sitios contaminados a través de una serie de mecanismos entre los que se encuentran la capacidad de aprovechar el potencial de ciertos microorganismos de degradar y descomponer los contaminantes orgánicos que contienen los hidrocarburos, optimizando a través de técnicas físicas, químicas y tecnológicas las condiciones para la acción microbiológica. (Nápoles, 2019)

Tal como lo mencionan Flores & Mendoza (2017) ; en su tesis "Biorremediación de Suelo Contaminado con Hidrocarburos por Derrames de la Estación de Servicio en el Campamento de Guarumales-Celec"

> "La biorremediación consiste en utilizar la habilidad de los diferentes microorganismos (levaduras, enzimas, bacterias, hongos) que pueden ser naturales o mejorados genéticamente para aumentar en los contaminantes su tasa de degradación natural para luego descomponer y degradar las sustancias peligrosas en otras menos tóxicas, recuperando los sitios contaminados y consiguiendo un suelo apto para la agricultura. Algunos microorganismos obtienen los nutrientes y la energía que necesitan para desarrollarse al descomponer los diferentes contaminantes consiguiendo como resultado de esta descomposición dióxido de carbono y agua, al terminarse su fuente de alimento la población microbiana disminuye hasta desaparecer. La biorremediación ha obtenido sus mejores rendimientos en procesos de descontaminación de hidrocarburos, pero puede tratar otros tipos de contaminantes como (herbicidas, pesticidas, hidrocarburos clorados"

2.5.2. Tipos de biorremediación

El término biorremediación se aplica a cualquier sistema o proceso en el que se empleen métodos biológicos para transformar contaminantes del suelo la biorremediación de los suelos puede llevarse a cabo a través de:

2.5.2.1. Biorremediación in situ

Este tipo de remediación es la opción más adecuada para recuperar el suelo ya que no se necesita de preparación ni excavación del material contaminado, se debe tomar en consideración diversos factores entre los cuales destacan principalmente el impacto ambiental de la zona, actividades industriales que pueden verse afectadas, los costos comparativos que surgen con otros tratamientos, de la misma forma hay que tomar en consideración el acceso a la zona contaminada para proveer oxígeno y nutrientes, la determinación del porcentaje del tratamiento y la velocidad del proceso, la biorremediación in situ de suelos puede dividirse en dos tipos, tratamientos de compuestos volátiles y tratamiento de compuestos semi volátiles (Salamone, 2016).

2.5.2.2. Biorremediación ex situ

Este procedimiento se realiza fuera del lugar de contaminación a través de tres procesos Landfarming, Biopilas y Biorreactor, el Landfarming y el Biopilas son procesos en los cuales la biorrecuperación se da por vía sólida se usa generalmente en los lodos contaminados por hidrocarburos, el Landfarming trata capas de suelos menos profundas en cuanto a que el Biopilas requiere grandes apilamientos de material degradable, como el petróleo, en el tratamiento Biorreactor se excava el material contaminado y se traslada a un reactor. La característica de este método es la suspensión en un medio acuoso del suelo contaminado, es decir, el tratamiento se lleva a cabo bajo condiciones de saturación de agua. (Benalcazar, 2015)

Los procesos de biodegradación consisten en un conjunto de técnicas o prácticas cuyo propósito es estimular la degradación de contaminantes contribuyendo a la restauración del ecosistema a través de procesos biológico. (Gomez, 2019)

2.5.3. Factores que condicionan la remediación del suelo

Según Gutiérrez (2017), la biodegrabilidad de una mezcla de hidrocarburos presente en un suelo contaminado que depende de diversos factores como es:

1) Temperatura
2) pH
3) Humedad

4) Necesidad de Nutrientes Inorgánicos
5) Oxígeno
6) Microorganismos
7) Textura del Suelo
8) Estructura del Contaminante

Tabla 2 – 2: *Características de los Tratamientos Biológicos*

Tratamiento-Descripción	Objetivo Remediación	Aplicación	Matriz	Contaminantes Tratados
Bioaumentación	Consiste en la adición controlada de microorganismos de acción dirigida, especialmente formulados y de ocurrencia natural para ayudar a los que se encuentran naturalmente y promover la biodegradación.	In Situ	Suelo	Amplio espectro de contaminantes orgánicos, biodegradables
Biodegradación Asistida/Bioestimulación	Aceleración abels reacciones de biodegradación a través de optimización de condiciones factores ambientales que favorecen crecimiento de esos microorganismos que realizan el metabolismo de contaminantes orgánico presente en suelos y / o agua bajo tierra .	In Situ	Suelo	Amplio espectro de contaminantes orgánicos biodegradables.
Biotransformación de Metales	Inmovilización y/o transformación microbiana de metales u otros compuestos inorgánicos presentes en suelos contaminados mediante mecanismos de oxidación, reducción, metilación, dimetilación, formación de complejos, biosorción y/o acumulación intracelular, entre otros (Candia, 2019).	In Situ	Suelo	Metales
Bioventing	Consiste en suministrar oxígeno mediante el uso de bombas, de esta manera, se estimula el crecimiento microbiano aumentando las actividades de los microbios autóctonos. Para obtener mejores resultados, se modifican las condiciones del suelo agregando nutrientes y humedad logrando una mejora en la biodegradación con el objetivo	In Situ	Suelo	Hidrocarburos del petróleo de peso mediano, explosivos (DDT, DNT)

	fin de transformar contaminantes a un estado inofensivo (Cruz & Lincango, 2021).			
Compostaje	Es un proceso a través del cual interviene un pecado número de microorganismos en la descomposición de diferentes componentes orgánicos que al final lograrás un componente llamado compost; que trae grandes beneficios para las plantas y el suelo, ya que contiene grandes componentes nutricionales como nitrógeno, fósforo y potasio (Castellanos, 2019).	Ex Situ	Suelo	Explosivos (TNT, RDX, HMX), hidrocarburos aromáticos policíclicos, hidrocarburos del petróleo, clorofenoles y pesticidas.
Fitorremediación	Técnica que se basa en el uso de especies que sirven para eliminar, contener o transformar contaminantes, además una de sus ventajas de implementación es bajo costo, se puede dar directa o indirectamente (Santos, 2020).	In Situ Ex Situ	Suelo Sedimentado	Metales, pesticidas, solventes, explosivos, hidrocarburos aromáticos policíclicos, crudo.
Landfarming	Esta técnica consiste en excavar los suelos contaminados, extenderlos sobre un área suficientemente amplia y estimular las variables de incidencia en el proceso para promover la actividad de los microorganismos (Benalcazar, 2015).	Ex Situ	Suelo	Hidrocarburos del petróleo de peso mediano.
Lodos Biológicos	La aplicación de lodos de depuradora al suelo es la práctica preferida para el manejo de estos desechos internacionalmente, ya que ofrece la posibilidad de reciclar materia orgánica y nutrientes, evitando impactos ambientales y económicos asociados con otras opciones de	Ex Situ	Suelo	Compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles no halogenados, explosivos, hidrocarburos del petróleo, petroquímicos, solventes y pesticidas.

	eliminación como vertederos o incineración (Del et al., 2020).			
Pilas Biológicas	La técnica conocida como bioceldas o biopilas es un tratamiento de biorrecuperación en condiciones no saturadas, que consiste en la reducción de la concentración de contaminantes derivados del petróleo (Smith, 2015).	Ex Situ	Suelo	Derivados del petróleo, compuestos orgánicos volátiles halogenados y no halogenados, compuestos orgánicos semivolátiles y pesticidas.

Fuente: *Candia (2019)*
Elaborado por: Esther Calle y Giomara Cortez

2.6. Suelo

El suelo es un recurso natural, finito y no renovable que presta una gama de servicios ecosistémicos o ambientales, como son los ciclos biogeoquímicos de elementos clave para la vida como carbono, nitrógeno, fósforo, etc. No obstante, lo más conocido, es que el suelo es el asiento natural para la producción de alimentos y materias primas, las cuales depende la sociedad mundial. Por eso hoy se juzga que debe haber un manejo respetuoso del suelo, no solo para incrementar la producción de alimentos sino también para preservar los servicios ecosistémicos y regular el clima. (Vargas, 2015)

El suelo posee tres componentes esenciales; biológicos, físicos y químicos constituyéndolo en un medio dinámico, sus componentes interactúan con factores internos y externos determinados por las condiciones del suelo, el clima, relieve y tipo de vegetación, en cuanto a las propiedades morfológicas del suelo es menester mencionar que la textura está determinada por la cantidad de partículas elementales que dan forma, color y aroma en consonancia con el tipo de microorganismos que ahí habiten posee ciertas características nutricionales que determinan el margen de fertilidad del mismo. (Porta, 2019)

En cuanto a las características químicas la acidez y alcalinidad definen su gama nutricional, la medida está determinada por el pH que permite establecer la cantidad de iones de hidrógeno si la muestra oferta un resultado de siete el pH es neutro, valores mayores a siete demuestran alcalinidad y menores acidez, en cuanto a las características biológicas la descomposición de la materia orgánica del suelo provoca dos acontecimientos importantes para el funcionamiento de los ecosistemas terrestres, la mineralización y humificación, en condiciones adecuadas libres de contaminación el suelo alberga más del 25% de la biodiversidad del planeta. (Barois et al., 2018)

El suelo está compuesto por una fase sólida que corresponde a las partículas minerales, cuyos lados no se encuentran completamente unidos entre sí, sino que dejan espacios llamados poros. Los poros del suelo son ocupados por aire y agua cuyas concentraciones son fluctuantes, manteniendo un equilibrio entre ambos. La Figura 1 muestra la composición en volumen de un suelo de textura franca donde el 50 % del volumen está constituido por la fase sólida formada por partículas minerales y materia orgánica y el espacio

restante está formado por el espacio poroso, donde se almacena el agua y aire del suelo (Angella et al., 2016)

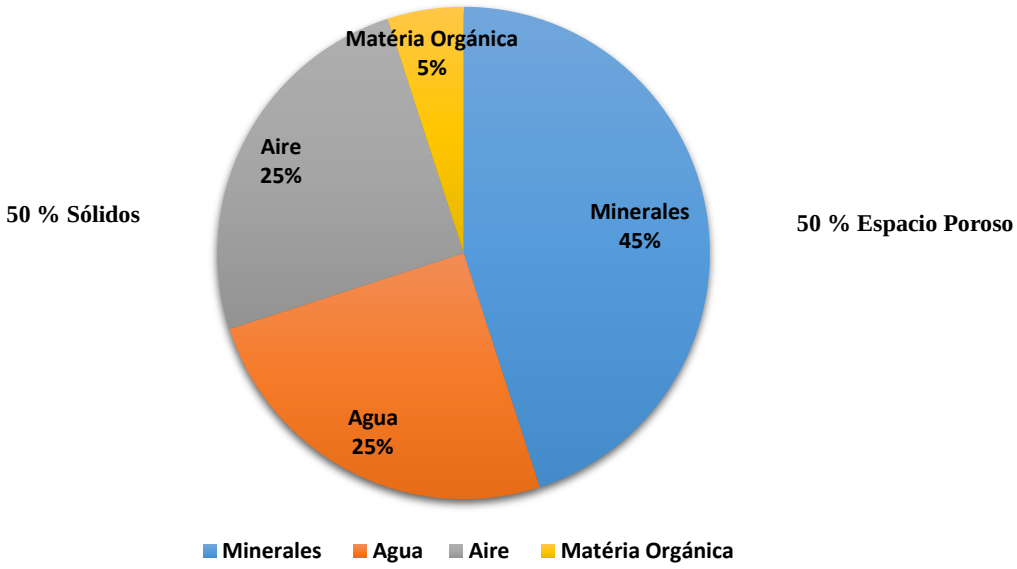


Figura 2 – 2: Composición en Volumen del Suelo
Fuente: *Angella et al.(2016)*

2.6.1. Tipos de suelo

Según como lo mencionan (Moreno & Lascano, 2017) . Se distinguen diferentes tipos de suelo según la mezcla de partículas con el entorno lo que otorga ciertas características que los vuelve diferenciables entre algunos de los principales tenemos:

a) Suelo Arenoso**. -** Este tipo de suelo posee partículas más grandes que los demás suelos tiene aspecto áspero al tacto los elementos que lo componen no se encuentran compactados por lo que drena rápidamente el agua, lo que conlleva a que sean de buena calidad para la agricultura debido a que no retienen los nutrientes.
b) Suelos Limosos**. –** Se componen de una mezcla de arcilla fina y arena, lo que les permite retener agua por más tiempo y en consecuencia los nutrientes esenciales, en virtud de su grado de humedad son aptos para la agricultura.
c) Suelos Humíferos. – Se denominan de esta manera a aquellos que poseen gran cantidad de materia orgánica descompuesta lo que otorga ciertas características a los

mismos, se pueden encontrar organismos y microorganismos beneficiosos para el cultivo.

d) Suelos Arcillosos. – Poseen un 45% de arcilla son también conocidos como suelos pesados son fértiles ya que contienen nutrientes lo que juntamente con la carga de minerales les permite almacenar agua.

2.6.2. Tipos de suelos en el Ecuador

Los suelos del Ecuador se encuentran entre los más diversos de la tierra, de acuerdo a sus componentes, estos se agrupan en: suelos aluviales (zonas cercanas a los ríos, fácilmente inundables), suelos sobre cenizas volcánicas y suelos sobre otros materiales (rocas antiguas). Por su parte, la actividad volcánica en las zonas más altas de los Andes ha resultado en la formación de suelos fértiles volcánicos y de pradera con capas superficiales oscuras ricas en materia orgánica (Castillo, 2018).

Según el estudio de SIGTIERRAS (2017), el Ecuador posee diez tipos de suelos que son los siguientes:

2.6.2.1. Alfisoles

Son suelos minerales con buen nivel de desarrollo edafogenético que poseen un horizonte superficial claro sobre un horizonte enriquecido con arcilla producto de la translocación de arcilla del horizonte superficial. Tienen una saturación de bases más grande al 35% y principalmente se desarrollan sobre relieves bastante viejos o en paisajes adolescentes empero que han permanecido estables, en otras palabras, libres de erosión y otras perturbaciones edáficas, en el Ecuador dichos suelos abarcan un área de 1 044 782 ha, que representan el 5% del área cartografiada del territorio. Predominan en relieves de procedencia tectónico erosivo (relieves montañosos, relieves colinados a partir de bastante bajos a bastante altos), con un sistema de humedad ústico, cubiertos por bosques y pastizales.

2.6.2.2. Andisoles

Son suelos principalmente negros que se desarrollan desde depósitos volcánicos (ceniza volcánica, roca pómez, lava) o de materiales piroclásticos. Muestran un apreciable contenido de alófana (arcillas amorfas) y/o complicados de humus-aluminio, y una baja densidad aparente (composición, por consiguiente, con un óptimo drenaje y con buena

retención de humedad. Principalmente, si permanecen cercanos a los volcanes, su textura es gruesa y si permanecen alejados de ellos, la textura es más fina como limosa o franco limoso. Su aprovechamiento es para pastos abarcan un área de 3` 819 796 ha, que representan el 19% de la región nacional cartografiado. Se localizan en los relieves de las vertientes externas de la cordillera occidental y en los relieves del gran cono tabular de la llanura costera.

2.6.2.3. Aridisoles

Son suelos minerales adolescentes y poco evolucionados que se hallan en zonas secas, bastante secas y cálidas; muestran un epipedón ócrico por abajo del cual aparecen varios horizontes de diagnóstico en funcionalidad de las condiciones y de los materiales originales. Dichos suelos gracias a su sistema de humedad y a su escasa fertilidad por contener poca materia orgánica, permanecen evidentemente limitados en la productividad de cultivos, abarcan un área de 167 273 ha que representa el 1% del área cartografiada.

2.6.2.4. Entisoles

Son suelos que se caracterizan por ser los de más baja evolución, con bastante escasa o ni una prueba de formación de horizontes edafogenéticos; muestran inconvenientes para su aprovechamiento como es la erosión, pedregosidad, desmesurados recursos gruesos, susceptibilidad a inundaciones y la saturación de agua persistente; no obstante hay suelos potencialmente bastante fértiles gracias a los diferentes aluviones recibidos que sirven de soporte a una agricultura exhaustiva, esta clase de suelos ocupan una área de 1 324 302 ha, que representa el 6% de la región nacional cartografiado..

2.6.2.5. Histosoles

Tienen un alto contenido de material orgánico en diferentes estados de variación en un espesor mayor a 40 centímetros, sin características ándicas y/o con saturación de agua a lo largo de 30 días o más todos los años. Dichos suelos permanecen limitados a cuencas pobremente drenadas, depresiones, pantanos y tierras pantanosas con grado freático somero y superficies de tierras altas con una alta interacción de precipitación/evapotranspiración. En Ecuador ocupan poco territorio (3 085 ha cartografiadas), se les menciona por ser un tipo distinto de suelo y por ser de interés ecológico, ya que siempre reciben aportes de materia

orgánica; la rapidez de dichos aportes es más grande que la de su devastación, por lo cual trabajan como sumideros de carbono.

2.6.2.6. Inceptisoles

Son esos suelos incipientes o adolescentes que permanecen comenzando a expresar el desarrollo de los horizontes puesto que son sutilmente más desarrollados que los Entisoles. En este orden pudimos encontrar suelos con características físicas y químicas bastante cambiantes, suelos a partir de mal drenados a bien drenados, texturas de arenosas a arcillosas, pH de sutilmente ácidos a sutilmente alcalinos, con saturación de bases más grande o menor a 60%, etcétera.; características que fueron estratégicamente aprovechadas en nuestro sector agrícola en cultivos claves en la economía del territorio, como cacao, maíz duro, palma africana y banano ocupando 8 571 823 ha que representa un 35% del área cartografiada

2.6.2.7. Molisoles

Son suelos cuya primordial característica es la vida de un horizonte superficial rico en materia orgánica y bases de cambio, de color obscuro y con otras excelentes características físicas favorables para el desarrollo radicular. Dichos suelos se desarrollan en una extensa variedad de regímenes climáticos a partir de secos a bastantes húmedos, y a partir de cálidos a bastante fríos. Referente a los cultivos su aprovechamiento más recurrente en nuestra región es para cacao, maíz suave, maíz duro, caña de sacarosa y papa, ocupan un área de 1 872 652 ha que representa el 9 por ciento de la región nacional cartografiado

2.6.2.8. Oxisoles

Suelos minerales con baja fertilidad natural de las regiones tropicales cálidas y húmedas que han sufrido intensos y prolongados procesos de meteorización y lavado, lo cual permite la formación de estos suelos maduros. Son de color rojo o amarillo gracias a la alta concentración de hierro (III) y óxidos e hidróxidos de aluminio; la mayoría de dichos suelos está dedicada a ganadería extensiva o se mantienen como reservas o regiones forestales, ocupan un área de 18 642 ha.

2.6.2.9. Ultisoles

Este tipo de suelos son considerados los “hermanos pequeños” de los Alfisoles, debido a la diferencia entre ambos es el porcentaje de saturación de bases que en los Ultisoles es menor

a 35%; esta característica junto a la presencia de un horizonte argílico o un kándico y otras propiedades, darán lugar al desarrollo de estos suelos. Se pueden presentar en cualquier régimen de humedad del suelo excepto el arídico, así como en cualquier régimen de temperatura del suelo, son suelos ácidos debido a su baja saturación en bases, ocasionando que no todos los cultivos puedan desarrollarse sobre éstos. En Ecuador los Ultisoles abarcan una superficie de 1 746 296 ha, que representa un nueve por ciento del área cartografiada.

2.6.2.10. Vertisoles

Son suelos poco desarrollados, principalmente negros que muestran caras de fricción y/o agregados a modo de cuña y un elevado contenido de arcillas expansibles (>30%), conocidas como montmorillonitas, las mismas que en etapa lluviosa se inundan de forma fácil gracias a su hinchamiento e impermeabilidad, y en etapa seca se contraen presentando grietas verticales que están abiertas al menos 90 días seguidos. Son suelos con un limitado desplazamiento del agua, bastante compactos en la era seca (extremadamente duros) y bastante plásticos o pesados en la húmeda, realizando su desempeño bastante difícil.

2.6.3. Suelos en la Amazonía ecuatoriana

A través del Sistema de Información Geográfica y Agropecuaria (SIGAGRO, 2011), ha determinado las características de los suelos en base al tipo de suelo y niveles de pH, generando un mapa taxonómico de suelos en el marco del convenio Ministerio de Agricultura MAG, la Amazonía constituyen que los órdenes de suelos más representativos son Inceptisoles, Entisoles, Histosoles y Molisoles clasificados de acuerdo al sistema americano de Clasificación de Suelos denominado Soil Taxonomy del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 1975).

Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del (GADPRA, 2019), menciona que los suelos de la parroquia Aguas Negras poseen una capa de materia orgánica que supera 15 cm, de textura arcillo arenoso limoso con una coloración gris de pH ácido menores a cinco, por su característica son aptos para la agricultura en épocas determinadas del año. Según la clasificación taxonómica norteamericana Soil Taxonomy (USDA, 1975), la mayor parte de la parroquia está cubierta por suelos Inceptisoles.

2.7. Hidrocarburos

Son substancias naturales producidas por la descomposición de la materia orgánica a lo largo de millones de años, parte de un ciclo del carbono lo que otorga cualidad de solubilidad, volatilidad debido a su conformación de átomos de carbono e hidrógeno, constituyen hoy en día una de las principales fuentes de energía alrededor del mundo por lo que dinamizan la economía, se estima que aproximadamente el 88% de la energía en el mundo proviene de hidrocarburos principalmente del petróleo, los principales componentes químicos son: carbono e hidrógeno conjuntamente con otras impurezas orgánicas como; oxígeno, nitrógeno, mercaptanos, dióxido de azufre, ácido sulfúrico, cloruros y sulfatos de calcio, estos elementos químicos determinan sus características de color densidad y viscosidad, al ser compuestos orgánicos existe la posibilidad de que los mismo sean biodegradados o transformados en otros compuestos menos tóxicos. (Pinto & Vargas, 2018)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización de la Parroquia de Aguas Negras

La parroquia de Aguas Negras se encuentra ubicada al Sureste de la Provincia de Sucumbíos, a 0º 07´ de Latitud Sur y a 76º 25´ de Longitud Occidental cuenta con una extensión de 453 km2 que corresponde al 12 % del territorio de la provincia. Limita al Norte con la parroquia Palma Roja, al Sur y Oeste con la parroquia Tarapoa, al Este con la parroquia Puerto Bolívar posee un rango altitudinal 200 a 300 msnm, su temperatura oscila 18 a 35 ºC (GADPRA, 2019).

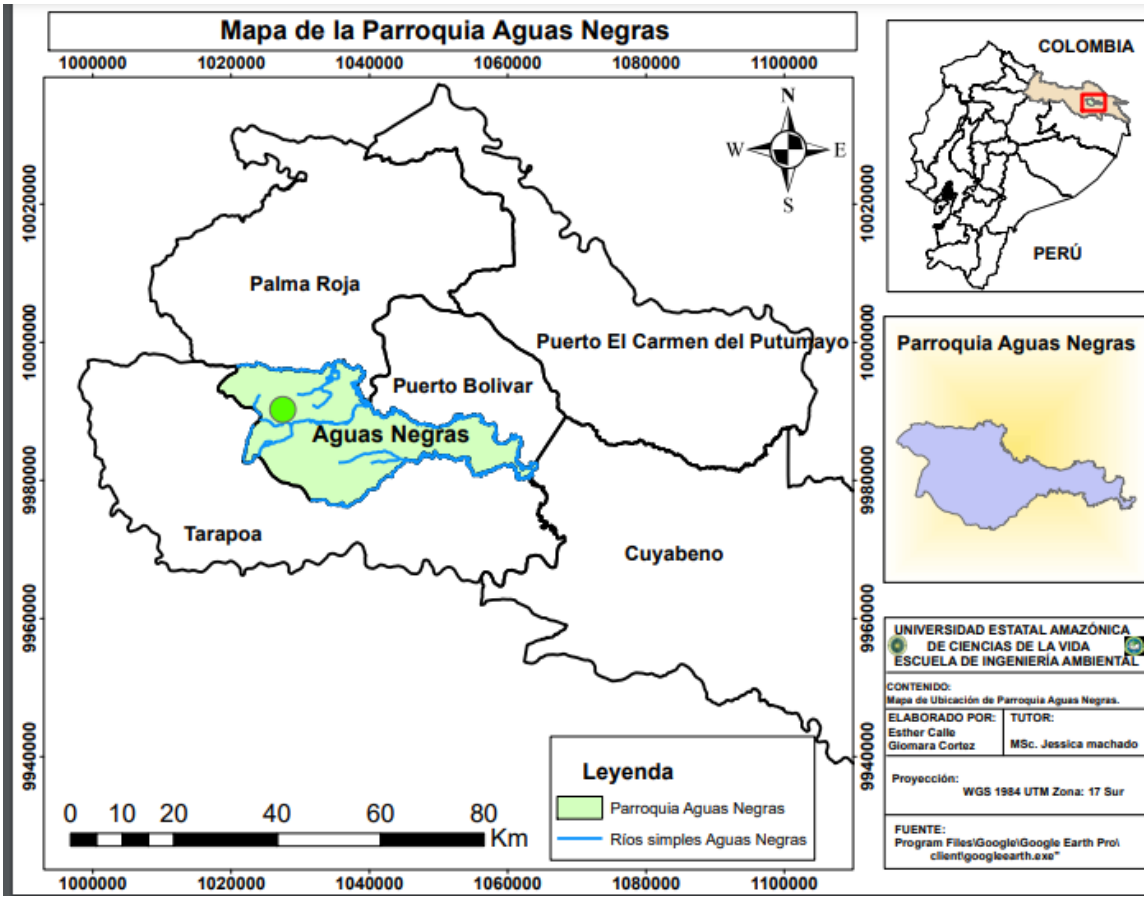


Figura 3-3: Mapa de la Parroquia de Aguas Negras
Fuente: *GADPRA(2019)*

3.2. Tipo o diseño de la investigación

3.2.1. Enfoque Cualitativo

Los métodos cualitativos también se denominan "no tradicionales", y están orientados a profundizar sin pretender generalizar estos resultados, sino más bien describir los fenómenos mediante las características particulares, tal como se perciben en su contexto, por lo tanto, no pretenden medir, sino calificar estos hallazgos. (Díaz, 2018)

Es así como la presente investigación posee un enfoque cualitativo, ya que de acuerdo a Ortega (2018), se aplicó un estudio, donde ingresa un proceso que requiere la recolección de datos sin medición numérica, esto estudia la realidad en su contexto natural y como sucede, tomando e interpretando los fenómenos de acuerdo con los objetos involucrados.

El análisis de la información obtenida se realizó mediante cinco dimensiones fundamentales en el proceso de aplicación, visto desde el tipo de investigación en relación a la problemática de los derrames hidrocarburíferos, que servirá para poner en marcha una propuesta de un plan de biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos en el sector de Aguas Negras Plataforma Jhoan 1.

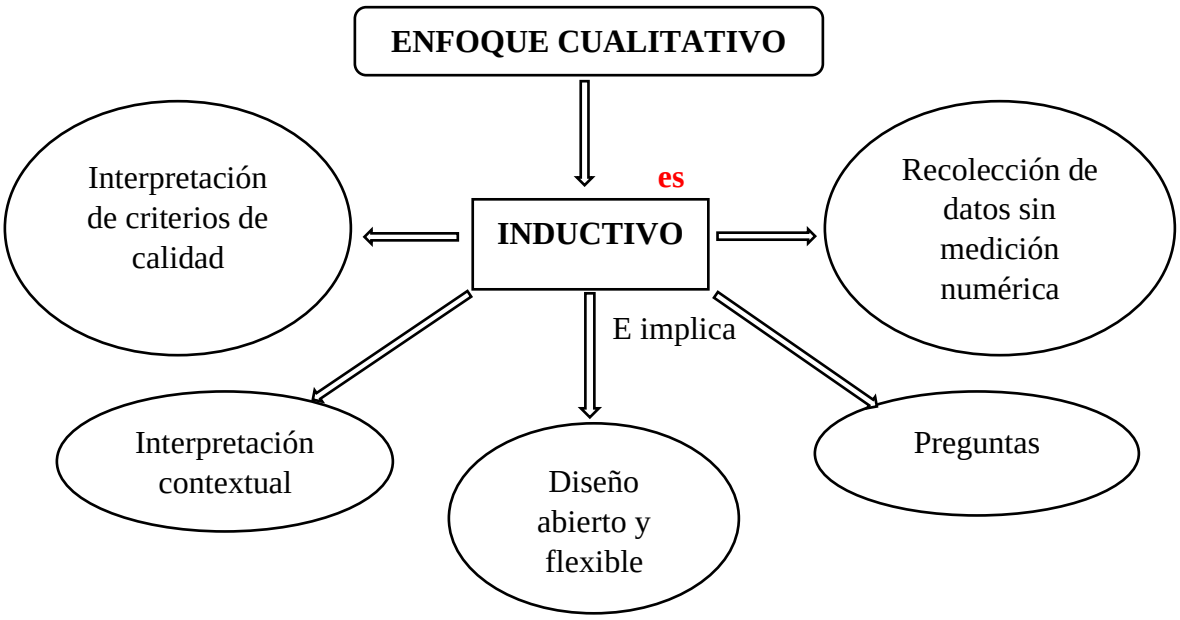


Figura 4-3. Dimensiones del enfoque cualitativo
Fuente: *Ortega (2018)*

Es así como el enfoque cualitativo nos permite profundizar en la práctica, el

fenómeno educativo y contribuye a la conciencia social. Debido a que, por un lado, permite analizar y explicar la comprensión de la complejidad, el detalle, el contexto y la interacción social. (Weimar, 2018)

3.2.2. Investigación exploratoria

Estos estudios exploratorios, tienen como objetivo “formular un problema para permitir una indagación o el desarrollo más preciso de una hipótesis", la cual se le ha formulado a lo largo del análisis de esta investigación. (Nicomedes, 2018).

Generalmente se determinaron tendencias, se identificó el área contaminada con hidrocarburos, entornos, contextos y las situaciones presentes de este estudio, las relaciones potenciales entre variables; para investigaciones posteriores, más elaboradas y rigurosas.

Estas indagaciones se caracterizan por ser más flexibles en su método frente a las descriptivas, correlacionales o explicativas, son más amplias y dispersas. Así mismo, implican mayor riesgo y exigen gran paciencia, serenidad y competencia por parte del investigador. (Hernández Sampiere et al., 2014)

La investigación que se realizó es de tipo exploratoria ya que se llevó a cabo un análisis textual de la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos, con el propósito de identificar en su contexto cuales fueron las causas para que se de este derrame, con el fin de recopilar información, indagar nuevos problemas, identificar conceptos y establecer prioridades, para tener la posibilidad de llevar a cabo una investigación más completa y detallada.

3.2.3. Exploratoria cualitativa de estudios de casos

Este estudio documental exploratorio cualitativo nos ha permitido una primera revisión de las diferentes fuentes secundarias existentes (libros, artículos, informes e investigaciones, etc.); para saber que, si bien es un tema de interés o un tema actualizado, correspondiente a la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos.

Por tanto, la combinación de técnicas ofrece numerosas ventajas teniendo en cuenta la naturaleza de la información a lograr para dar respuesta a los objetivos planteados en esta investigación, que se detallarán a continuación. (Martinez & Gema, 2016)

3.3. Método

3.3.1. Inductivo

El método inductivo intenta establecer enunciados universales ciertos a partir de la experiencia. Es decir, ascender lógicamente a partir de conocimiento científico, desde la observación de los fenómenos o hechos de la realidad a ley universal que los contiene (Lemus, 2009).

Tomando en cuenta a lo planteado con anterioridad, nos permitió conocer las mejores técnicas de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos, mediante la recopilación de información de fuentes bibliográficas considerando las más oportunas, pertinentes y útiles para luego proceder hacer un análisis comparativo de las causas y consecuencias del problema a fin de identificar las variables y particularidades de este tipo de contaminación así como las características demográficas para buscar las técnicas de menor impacto.

- Para el cumplimiento del primer objetivo específicos: se utilizó diferentes fuentes investigativas; tesis, papers, revistas científicas, repositorios digitales, informes entre otras fuentes que permitirá analizar el tipo de contaminantes en el suelo por derrames de hidrocarburos existentes en la Parroquia de Aguas Negras.

Tabla 3-3: *Estudios de suelos contaminados por hidrocarburos*

Tratamiento	Estudio	Fuente
Bioaumentación	Evaluación de la biorremediación en suelos contaminados con hidrocarburos utilizando pseudomonas fluorescens	*Pozo (2018)*
Bioestimulación	Recuperación de suelos contaminados con cobre y plomo mediante métodos biológicos al interior del campamento guarumales - corporación hidroeléctrica del ecuador, Celec ep-unidad de negocio Hidropaute	*Guartatanga & Siguencia (2019)*
Biotransformación de metales	Biotransformación de metales pesados presentes en lodos ribereños de los ríos Bogotá y Tunjuelo	*González et al. (2010)*
Bioventing	Bioventing en suelos colombianos	*Martínez C. (2015)*
Compostaje	Biorremediación de suelos contaminados por petróleo en el campo libertador mediante la técnica de compostaje	*Jara (2018)*
Fitorremediación	Fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos	*Hildebrando et al. (2014)*
Landfarming	Estudio técnico para la implementación de un sistema de tratamiento de suelos contaminados de hidrocarburos que minimizará el impacto ambiental de la empresa Asociación SMC. Pacifpetrol Inc. ubicada en la parroquia Ancón, provincia de Santa Elena.	*Ayala (2018)*
Lodos biológicos	Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos empleando lodos de aguas residuales como fuente alterna de nutrientes	*Gutiérrez (2017)*
Pilas biológicas	Biorremediación de suelos contaminados con fluidos de producción	*Neruda (2016)*

Elaborado por: Esther Calle y Giomara Cortez

- Para el cumplimiento del segundo objetivo específico: se empleó dos filtros de preselección esto consiste en realizar dos matrices de relación el cual primero se detalló el tipo de métodos de biorremediación que se han empleado en el Ecuador de acuerdo a las propiedades fisicoquímicas del suelo y determinar cuáles de ellos cumplen bajo la Normativa Ambiental del Acuerdo Ministerial 097 de los LMP (Límites Máximos Permisibles), la segunda matriz se determinó las variables de costo, tecnología y área que nos permitieron analizar que métodos de biorremediación representan mayor efectividad y menor costo según el área de estudio a tratar.
- Una vez identificados los tipos de contaminantes, las propiedades físicoquímicas de suelo contaminado causado por el derrame de hidrocarburos en la plataforma Jhoan 1, se procedió a comparar la mejor técnica de biorremediación comparando con variables de interés de la investigación como: tecnologías usadas por cada método, cantidad de contaminantes tratados, área de tratamiento y costos de tratamiento. Los cuales se aplicarán en una matriz de selección con los diferentes métodos ya descritos en el trabajo.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Establecimiento de tipo de contaminantes presentes en el suelo causado por el derrame hidrocarburífero en la plataforma petrolera Joan 1.

De acuerdo al estudio de Pozo (2018), con el tema denominado Evaluación de la biorremediación en suelos contaminados con hidrocarburos utilizando *Pseudomonas fluorescens.* Desarrollado en la provincia de Orellana, ciudad Francisco de Orellana, sector "El Coca" perteneciente a la región de la Amazonía ecuatoriana, se determinó que los contaminantes de mayor influencia son:

Tabla 3-4: *Elementos que constituyen los hidrocarburos en la Amazonía ecuatoriana*

Tipo de Contaminantes	Tipo de suelo
Hidrocarburos Totales (TPHs)	Areno Arcillosa
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos	
Acenaftaleno	
Benzo (a) Antraceno	
Fenantreno	
Naftaleno	

Fuente: *Pozo (2018)*
Elaborado por: Esther Calle y Giomara Cortez

4.2. Determinación de las propiedades fisicoquímicas del suelo para la utilización de un adecuado Plan de Biorremediación.

De acuerdo al Plan de Ordenamiento Territorial Parroquial de Aguas Negras de la Provincia de Sucumbíos, establece las siguientes propiedades físicoquímicas del suelo. Donde cada tratamiento biológico requiere ciertas condiciones óptimas para el proceso de biorremediación, y así nos facilitará elegir el tratamiento ideal de acuerdo a las características que presenta el suelo del caso de estudio.

Tabla 4-4: *Propiedades Físicoquímicas de la Parroquia Aguas Negras*

Parámetros	Descripción
Color	Gris
Textura	Arcilloso-arenoso limoso
pH	6-8
Densidad	1,82 T/m^3
Conductividad	200 uS/cm
Temperatura	24ºC
Humedad Relativa	88 %

Fuente: *GADPRA (2019) y Petroleum (2019)*
Elaborado por: Esther Calle y Giomara Cortez

Los parámetros que condicionan el proceso de biorremediación son las propiedades físicas y químicas como la textura, pH, la temperatura, humedad relativa, densidad y conductividad. Favoreciendo estas propiedades para que cada uno de los tratamientos puedan realizar la actividad microbiana en el proceso de biorremediación.

Tomando como referencia en nuestra zona de estudio que posee una temperatura de 24º C, donde es propicia para que se dé un crecimiento óptimo de los microorganismos. Así también las demás propiedades aportan de una manera favorable para que (bacterias, hongos y plantas) puedan transformar o degradar los contaminantes tóxicos y así los procesos de biorremediación tengan un mayor porcentaje de eficacia.

4.3. Comparación de los Tratamientos de Biorremediación con la Normativa Ambiental del Ecuador (Acuerdo Ministerial 097).

Mediante la recopilación bibliográfica de varios estudios aplicados a suelos contaminados por hidrocarburos hemos tomado como referencia el análisis de los diferentes contaminantes relacionando el valor inicial y final, para posteriormente comparar con los Límites Máximos Permisibles de la Normativa Ambiental del Ecuador (Acuerdo Ministerial 097). Lo cual nos proporcionará elegir el mejor tratamiento de biorremediación para la zona de estudio, en función de las ventajas, desventajas, costos y tiempo que implica el tratamiento.

Tabla 5-4: *Comparación de la concentración de los contaminantes con la norma ecuatoriana (Acuerdo Ministerial 097) Tratamiento Bioaumentación con la especie (Pseudomonas Fluorescens).*

Contaminante	Contaminación inicial registrada (mg/kg)	Concentración después del tratamiento (mg/kg)	Valor del Límite Máximo Permisible (LMP) (mg/kg)	Medida del % de degradación	Cumplimiento
Acenaftaleno	8.20	7.00	0.10		No cumple
Benzo (a) Antraceno	7.30	0.10	0.10	99.25	Si cumple
Fenantreno	32.00	0.10	0.10		
Naftaleno	65.00	0.10	0.10		

Fuente: *Pozo (2018)*
Elaborado por: Esther Calle y Giomara Cortez

Análisis: el tratamiento de bioaumentación con la especie *(Pseudomonas Fluorescens),* contribuye a la degradación de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) en un 99.25% es decir, resulta eficaz para la biodegradación de dichos hidrocarburos, el Acenaftaleno no estuvo en las condiciones ambientales adecuadas, por ende, no cumplió con los LMP (Límites Máximos Permisibles) de la normativa ambiental.

Tabla 6-4: *Comparación de la concentración de los contaminantes con la norma ecuatoriana (Acuerdo Ministerial 097) Tratamiento Bioestimulación con el fertilizante NPK 10-30-10*

Contaminante	Contaminación inicial registrada (mg/kg)	Concentración después del tratamiento (mg/kg)	Valor del Límite Máximo Permisible (LMP) (mg/kg)	Cumplimiento
Plomo (Pb)	298.1	51.4	60	Si cumple
Cobre (Cu)	224.45	88.8	63	No cumple

Fuente: *Guartatanga & Siguencia (2019)*
Elaborado por: Esther Calle y Giomara Cortez

Análisis: mediante el análisis bibliográfico del tratamiento de bioestimulación se utilizó el fertilizante químico NPK 10-30-10, lo cual se determinó que disminuye el contaminante de plomo y cobre, pero el que cumple los LMP (Límites Máximos Permisibles) es el Pb (plomo) que redujo 246,7 mg/kg y de cobre 135.65 mg/kg.

Tabla 7-4: *Comparación de la concentración de los contaminantes con la norma ecuatoriana (Acuerdo Ministerial 097) Tratamiento Biotransformación de metales, con las especies (Corynebacterium diphteriae, Aeromonas hydrophila, Pantoea agglomerans).*

Contaminante	Concentración después del tratamiento (mg/kg)	Valor del Límite Máximo Permisible (LMP) (mg/kg)	Cumplimiento
Cromo VI	>0,005	0.4	No cumple
Plomo (Pb)	>0,049	60	No cumple
Mercurio (Mg)	>0.01	0.8	Si cumple

Fuente: *González et al. (2010)*
Elaborado por: Esther Calle y Giomara Cortez

Análisis: el siguiente estudio realizado tuvo como objetivo, determinar la concentración de cromo, plomo y mercurio en la zona media de los ríos de Bogotá y Tunjuelo, mediante la

técnica de absorción atómica; obteniendo como resultado que disminuyó solo el mercurio, encontrándose bajo los Límites Máximos Permisibles (LMP), de la normativa ambiental para el uso de suelo agrícola.

Tabla 8-4: *Comparación de la concentración de los contaminantes con la norma ecuatoriana (Acuerdo Ministerial 097) Tratamiento Bioventing.*

Contaminante	Contaminación inicial registrada (mg/kg)	Concentración después del tratamiento (mg/kg)	Valor del Límite Máximo Permisible (LMP) (mg/kg)	Cumplimiento
Hidrocarburos Totales (TPHs)	8587.88	658.02	150	No cumple

Fuente: *Martínez C. (2015)*
Elaborado por: Esther Calle y Giomara Cortez

Análisis: el tratamiento bioventing no cumple con los límites máximos permisibles de la normativa ambiental, ya que no redujo su concentración para un suelo agrícola, siendo este disminuyó 7929,86 mg/kg apto para un suelo industrial.

Tabla 9-4*: Comparación de la concentración de los contaminantes con la norma ecuatoriana (Acuerdo Ministerial 097) Tratamiento Compostaje.*

Contaminante	Contaminación inicial registrada (mg/kg)	Concentración después del tratamiento (mg/kg)	Valor del Límite Máximo Permisible (LMP) (mg/kg)	Cumplimiento
Cobre (Cu)	4.36	32	63	Si cumple
Cadmio (Cd)	1.11	0.24	2	
Zinc (Zn)	162.12	148	200	
Plomo (Pb)	4.80	0.07	60	
Níquel (Ni)	38.74	15	50	

Fuente: *Jara, (2018)*
Elaborado por: Esther Calle y Giomara Cortez

Análisis: a lo largo de la investigación, según los resultados expuestos estos fueron analizados con los (Límites Máximos Permisibles) LMP, de acuerdo a la Normativa Ambiental 097, donde se obtuvo que todos los contaminantes como el cobre, plomo, cadmio, zinc y níquel; si cumplen con los límites, además la adición de compost al suelo reduce significativamente estos metales.

Tabla 10-4: *Comparación de la concentración de los contaminantes con la norma ecuatoriana (Acuerdo Ministerial 097) Tratamiento Fitorremediación (Helianthus annuus L)*

Tratamientos	Contaminante	Contaminación inicial registrada (mg/kg)	Concentración después del tratamiento (mg/kg)	Valor del Límite Máximo Permisible (LMP)	Cumplimiento
SC	Plomo (Pb)	156.60	22.31	60	Si Cumple
SC+B			23.00		Si Cumple
SC+HL			21.03		No Cumple
SC+HL+B			26.99		Si Cumple
SC+P			22.85		Si Cumple
SC+HL+			26.90		Si Cumple

SC: Suelo contaminado por hidrocarburos, B**:** Aserrín de bolaina, **HL:** Humus de lombriz, **P:** Perlita

Fuente: (Hildebrando et al., 2014)
Elaborado por: Esther Calle y Giomara Cortez

Análisis: la presente investigación se realizó en la refinería Maple Gas – Pucallpa en el país de Perú y tuvo como finalidad efectuar el análisis especial en el suelo contaminado y determinar el porcentaje de concentración de Pb, a través del tratamiento de la fitorremediación (fitoextracción). Siendo así, al aplicar los distintos tratamientos se obtuvo como resultado los valores variaron de 21.03 y 26.90 de Pb, lo cual cumplen con los límites máximos permisibles de la normativa ambiental del Ecuador.

Tabla 11-4: *Comparación de la concentración de los contaminantes con la norma ecuatoriana (Acuerdo Ministerial 097) Tratamiento Landfarming.*

Contaminante	Contaminación inicial registrada (mg/kg)	Concentración después del tratamiento (mg/kg)	Valor del Límite Máximo Permisible (LMP) (mg/kg)	Cumplimiento
Hidrocarburos Totales (TPH)	6109,9	399.11	150	No cumple
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs)	<0.6	0.6	0.1	No cumple
Cadmio (Cd)	<0.8	0.8	2	Si cumple
Níquel (Ni)	<30	30	50	Si cumple
Plomo (Pb)	<20	20	60	Si cumple

Fuente: *Ayala (2018)*
Elaborado por: Esther Calle y Giomara Cortez

Análisis: mediante el análisis bibliográfico, la técnica de landfarming tuvo una alta significancia con los contaminantes cadmio, níquel y plomo, los cuales obtuvieron resultados eficaces para el proceso de promover la actividad de microorganismos encargados de biodegradar los hidrocarburos, cumpliendo también los LMP (Límites Máximos Permisibles) LMP**.**

Tabla 12-4: *Comparación de la concentración de los contaminantes con la norma ecuatoriana (Acuerdo Ministerial 097) Tratamiento Lodos Biológicos*.

Tratamientos	Contaminante	Concentración inicial (mg/kg)	Concentración Final (mg/kg)	Valor máximo Permisible (LMP) (mg/kg)	Cumplimiento
Suelo natural	TPH	1732,0	187.0	150	No Cumple
Suelo+ Lodo+ Fertilizante			68.2		Si Cumple
Suelo+ Lodo			19.2		Si Cumple
Suelo+ Lodo (DS4)			49.6		Si Cumple
Suelo+ Fertilizante			96.5		Si Cumple

Fuente: *Ramírez (2017)*
Elaborado por: Esther Calle y Giomara Cortez

Análisis: el presente estudio se realizó en el país de Chile en el Municipio de Hualpén, Octava región del Bío-Bío- su objetivo fue evaluar al proceso anaeróbico de biorremediación como sistema de tratamiento en suelos contaminados con diésel, considerando el uso de lodos residuales como fuente alterna de nutrientes. Sus resultados fue que alcanzaron tasas de remoción de los contaminantes en un 89 y 99% aplicando los diferentes tratamientos, lo cual se considera que es un tratamiento apto para disminuir la concentración de suelos contaminados por hidrocarburos.

Tabla 13-4: *Comparación de la concentración de los contaminantes con la norma ecuatoriana (Acuerdo Ministerial 097) Tratamiento Pilas Biológicas***.**

Contaminante	Contaminación inicial registrada (mg/kg)	Concentración después del tratamiento (mg/kg)	Valor del Límite Máximo Permisible (LMP) (mg/kg)	Cumplimiento
Hidrocarburos Totales (TPH)	616	24.12	150	Si cumple
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs)	<0.1	<0.3	0.1	No cumple
Cadmio (Cd)	0.1	<1.50	2	Si cumple
Níquel (Ni)	4.5	45.85	60	Si cumple
Plomo (Pb)	10	<15	50	Si cumple

Fuente: *Velazquez (2016)*
Elaborado por: Esther Calle y Giomara Cortez

Análisis: los hidrocarburos totales, el cadmio, níquel y plomo cumplen con los requisitos de los LMP (Límites Máximos Permisibles) de un suelo agrícola, llegando alcanzar un 95% de remoción de hidrocarburos y para el caso de los hidrocarburos aromáticos policíclicos no cumplen ya que este obtiene un valor menor a los LMP, en este caso se aplicará cultivos para recuperar propiedades agronómicas y puedan tener una aplicación agroforestal.

Tabla 14-4: *Ventajas, Desventajas, Costos y Duración de los Tratamientos de Biorremediación*

Tratamientos	Ventajas	Desventajas	Costos	Duración
Bioaumentación	Perfecciona la bioactividad Mitiga la DBO Mejora la estabilidad del sistema Disminuye el volumen de lodo	Antes de llevar a cabo la bioaumentación en un sitio debe realizarse cultivos de enriquecimiento, aislar microrganismos capaces de utilizar el contaminante como fuente de carbono y cultivarlos hasta obtener grandes cantidades de biomasa.	25-105 USD/m^3	70 días
Biodegradación asistida/Bioestimulación	No requiere excavación ni transporte de suelo, resultando en menos perturbación de las actividades y presentando un ahorro significativo sobre otros métodos.	Las soluciones acuosas pueden aumentar la movilidad del contaminante. Altas concentraciones de metales pesados	30-100 USD/m^3	81 días
Biotransformación de metales	Se puede emplear dos o más organismos de una manera sinérgica Los metales pueden ser liberados de manera sencilla y recuperados	Se requieren nutrientes como fuente de carbono para el crecimiento microbiano. Se tiene la posibilidad de tratar metales a bajas concentraciones por la toxicidad que presentan.	25-105 USD/m^3	365 días
Bioventing	No se requiere adquirir microorganismos exógenos	Suelos de baja permeabilidad disminuye la eficiencia de esta tecnología. Puede ser solicitado un monitoreo de los gases residuales en la superficie .	10-70 USD/m^3	450 días
Compostaje	El diseño y la obra son subjetivamente sencillos El suelo remediado no necesita ser confinado luego y al degradarse aporta nutrientes al suelo.	Necesidad de excavar el suelo contaminado lo cual puede ocasionar la liberación de COVs. No se puede emplear metales pesados	130-260 USD/m^3	105 días
Fitorremediación	Menor costo Se puede emplear una pluralidad de contaminantes	La toxicidad y biodisponibilidad de los productos de la degradación no	24.000 y 40.000 USD/ha	60 días

		constantemente se conoce y tienen la posibilidad de bioacumularse en animales. Alta densidad de contaminantes puede resultar dañinos. La integración de suelo contaminado en suelo limpio produce un gran volumen de material, por lo cual se deberá contar amplio espacio.		
Landfarming	Menor costo No produce peligro de contaminación tanto superficial como subterránea.	Verificación de instalaciones recolectoras de escorrentías. Los contaminantes inorgánicos no son biodegradables para este tratamiento.	25-150 USD/m^3	180 días
Lodos Biológicos	Dispone de una alta eficiencia Ocupa áreas limitadas	Necesita de un riguroso control operacional. Inconstancia en la sedimentación de lodos	130-220 USD/m^3	105 días
Pilas Biológicas	Es relativamente sencillo de diseñar. El costo es adversario	No es eficiente para altas concentraciones (> 50,000 ppm de TPHs). Necesita de un área extensa para la disposición de la pila.	25-150 USD/m^3	365 días

Fuente: Candia (2019)
Elaborado por: Esther Calle y Giomara Cortez

4.3.1. Selección del tratamiento de biorremediación para la plataforma Jhoan 1

Se procedió a elegir los mejores tratamientos de biorremediación que ayudará efectivamente a disminuir los contaminantes presentes en la zona de estudio plataforma Jhoan 1, lo cual será mediante la bioaumentación, bioestimulación y compostaje debido a las siguientes razones:

La técnica de bioaumentación elimina los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos redujo el contaminante en un 99.25 % y de acuerdo a la Normativa Ambiental (Acuerdo Ministerial 097) cumple con los límites máximos permisibles para el uso de suelo agrícola. Ya que los HAPs (Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos) según estudios realizados en los seres humanos demuestran que las personas expuestas a través de la respiración o el contacto de la piel durante largos períodos de tiempo con mezclas que contienen HAPs y otros compuestos también pueden contraer cáncer (ATSDR, 2016).

La técnica de bioestimulación ayudó a disminuir el contaminante del plomo (Pb) en un 72.22%, ya que es "el metal más ubicuo y es detectable en prácticamente todos los ecosistemas y en todos los sistemas biológicos" (Moran, 2014). Por ser neurotóxico este le convierte en el contaminante más peligroso lo cual tiende acumularse en los cuerpos de los organismos acuáticos y organismos del suelo. Estos experimentarán efectos en su salud de envenenamiento por plomo (Benavides & Gélvez, 2015).

El tratamiento de compostaje contribuyó a reducir los contaminantes orgánicos como el cobre, plomo, níquel, cadmio y zinc. Considerando así el cobre un agente contaminante en el medio acuático, suelos y sedimentos, así como efectos sobre la salud de las personas produciendo efectos agudos menores como (náuseas, diarrea y dolor abdominal) hasta efectos crónicos como (genéticas y epigéneticas) (Torres, 2005).

Según la revisión bibliográfica se determinó que se puede emplear un tratamiento mixto en este caso la técnica de bioaumentación y bioestimulación, mediante esta combinación se puede disminuir el mayor porcentaje de contaminantes que más repercuten en la amazonia como es el TPHs (Hidrocarburos Totales) y los HAPs (Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos). Debido a la alta toxicidad de estos contaminantes hacen que los suelos pierdan fertilidad, nutrientes y minerales importantes para el desarrollo de los

microorganismos, así también provocan daños a la salud humana como: cáncer de piel, cuello uterino, estómago y pulmones.

CONCLUSIONES

- En el transcurso de esta revisión bibliográfica se tomó en cuenta cierta cantidad de estudios realizados en suelos contaminados por hidrocarburos, que aplicaron diferentes tratamientos de biorremediación, lo cual se determinó que los contaminantes que más inciden en la Región Amazónica del Ecuador son los Hidrocarburos Totales (TPHs) y los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs).
- Hemos concluido que los tratamientos de bioaumentación, bioestimulación, compostaje y lodos biológicos poseen un alto porcentaje de biodegradación en suelos contaminados por hidrocarburos especialmente los contaminantes TPHs y HAPs y llegan a cumplir con los requerimientos de límites máximos permisibles de la normativa ambiental del Ecuador (Acuerdo Ministerial 097).
- De acuerdo a las condiciones presentadas en la zona de estudio de la Plataforma Jhoan 1 se llegó analizar las diversas posibilidades de fusionar más de una técnica donde se puede optar a emplear un tratamiento mixto como es de bioaumentación y bioestimulación, debido a su capacidad de biodegradar en un lapso de 70 y 81 días en función de la recopilación bibliográfica presentada.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar análisis microbiológicos en laboratorios para conocer las características del suelo como es la disponibilidad de oxígeno y nutrientes que posee la zona de estudio a tratar, cabe destacar que estos factores influyen la degradación de los hidrocarburos.
- Proponer alternativas para la gestión de integridad y mantenimiento de cañerías a la empresa encargada de la extracción petrolífera perteneciente a la plataforma Jhoan 1, con el propósito de mitigar posibles fugas y derrames que puedan afectar a la zona de estudio y población aledaña.

- Se recomienda realizar estudios completos de suelos contaminados por hidrocarburos en zonas dónde sea factible encontrar información detallada, debido a que la empresa encargada de la plataforma Jhoan 1 posee normas de confidencialidad.

BIBLIOGRAFÍA

Angella, G., Frías, C., & Salgado, R. (2016). Conceptos Básicos de las Relaciones Agua-Suelo-Planta. *Inta Ediciones*, *93*(Research Gate), 5. https://www.researchgate.net/publication/322888562_Conceptos_basicos_de_las_relaciones_agua-suelo-planta

ATSDR. (2016). *Resúmenes de Salud Pública - Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) [Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PHA)]*. Agencia Para Sustancias Tóxicas y El Registro de Enfermedades. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs69.html

Ayala, M. (2018). *Estudio técnico para la implementación de un sistema de tratamiento de suelos contaminados de hidrocarburos que minimizará el impacto ambiental de la empresa Asociación SMC. Pacifpetrol Inc. Ubicada en la parroquia Ancón, provincia de Santa Elena.* [La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2018.]. https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/4337/1/UPSE-TII-2018-0008.pdf

Barois, I., Contreras, S. H., Santos, B., Martín de los; Martínez, F., & García, D. (2018). *EL suelo y el Petróleo* (CONACYT).

Bembibre, C. (2017). *Importancia del Suelo Libre de Contaminación*. https://www.importancia.org/?s=Suelo

Benalcazar, N. (2015). *Biorremediación EX SITU* (Antares).

Benavides, M., & Gélvez, R. (2015). *Análisis Ambiental del Ciclo de Vida de las baterías plomoácido.* https://minio2.123dok.com/dt02pdf/123dok_es/pdf/2020/08_01/wufnoa1596273207.pdf?X-Amz-Content-Sha256=UNSIGNED-PAYLOAD&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=LB63ZNJ2Q66548XDC8M5%2F20210704%2F%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20210704T003335Z&X-Am

Candia, R. (2019). *Manual de Tecnologías de Remediación de Sitios Contaminados*. Chile. https://fch.cl/wp-content/uploads/2019/10/manual-de-tecnologias-de-remediacion-de-sitios-contaminados_baja-1.pdf

Castellanos, R. (2019, July). *El compostaje y su posible relación con el desarrollo de la estimación de la magnitud de masa en estudiantes de quinto de primaria*.

Castillo, I. (2018). Lifeder. *Suelos Del Ecuador: Características, Tipo y Usos*. https://www.lifeder.com/suelos-del-ecuador/

Cruz, J., & Lincango, J. R. (2021). *EVALUACIÓN DEL PROCESO DE BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO UTILIZANDO Trichoderma sp. Y Bacillus pumilus, MEDIANTE EL SISTEMA DE BIOPILAS A ESCALA DE LABORATORIO* [UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO]. https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19882/1/UPS - TTS283.pdf

Dávila, J. (2018). *Principales Contaminantes de la Biosfera* (Antares).

Del, M., Medina-Herrera, R., De La Luz, M., Negrete-Rodríguez, X., Paul Gámez-Vázquez, F., Álvarez-Bernal, D., & Conde-Barajas, E. (2020). LA APLICACIÓN DE LODOS RESIDUALES AFECTA, A CORTO PLAZO, LA BIOMASA MICROBIANA Y SU ACTIVIDAD EN SUELOS SÓDICOS The application of sewage sludge affects, in the short term, microbial biomass and its activity in sodic soils. *Rev. Int. Contam. Ambie*, *36*(3), 577–591. https://doi.org/10.20937/RICA.53425

Díaz, C. (2018). Investigación cualitativa y análisis de contenido temático. Orientación intelectual de revista Universum. *Orientación Intelectual*, *28*(1132–1873), 119–142. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6680164

Estupiñan, J. (2019). *Tipos de Contaminantes Medioambientales* (BelgradoS:).

Flores, C., & Mendoza, J. (2017). Cambios en las propiedades físicas y químicas de un suelo debido a un proceso de restauración aplicado a un derrame de hidrocarburos. *Science*, *29*. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-62662019000100230&lang=es

GADPRA. (2019). *Gobierno autónomo descentralizado parroquial aguas negras*. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial.

Gamarraga, L. (2018). MICROORGANISMOS, ENZIMAS, PLÁSMIDOS Y GENES

INVOLUCRADOS EN LA DEGRADACIÓN DE PLAGUICIDAS N-METILCARBAMATOS. *Revista Internacional Contaminación Ambiental*, *52–61*.

Garbisu, C. (2016). Biorremediación y ecología. *Revista Ecosistemas*.

García- Chato. (2014). Su significado en educación preescolar. *Revista de Educación y Desarrollo*, *29*, 64.

García, I. (2016). *Biorremediación de los Recursos Naturales* (Inta edici).

Gomez. (2019). *Absorción de metales en la planta Senecio collinus en suelos disturbados y no disturbados en la zona de la Laguna Yanamate, con la finalidad de realizar una remediación ambiental* [Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1445/1/T026_47570213_T.pdf

González, E., Gutiérrez, S., Rey, J., & Soto, C. (2010). Biotransformación de metales pesados presentes en lodos ribereños de los ríos Bogotá y Tunjuelo. *Nova*, *8*(14), 195. https://doi.org/10.22490/24629448.450

Guartatanga, E., & Siguencia, K. (2019). *Recuperación de Suelos Contaminados con cobre y plomo mediante Métodos Biológicos al interior del campamento Guarumales-Corporación Hidroeléctrica del Ecuador, CELEC EP-Unidad de negocio Hidropaute* [UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL]. https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17835/1/UPS-CT008444.pdf

Gutiérrez, C. (2017). *Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos empleando lodos de aguas residuales como fuente alterna de nutrientes* [UNIVERSIDAD DEL BIO-BIO]. http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/3096/1/Gutierrez_Ramirez_Claudio_Andres.pdf

Hernández Sampiere, R., Fernández Collado, C., & Baptista, M. del pilar. (2014). *Metodología de la Investigación* (J. M. Chacón (ed.); Mexicana).

Hildebrando, B., Cruz, F., Meza, C., & Árevalo, J. (2014). Fitorremediación de Suelos Contaminados por Hidrocaburos. *Revista de Investigación UNMSN*, *(1)*(Alma máter

Segunda época,), 113–121. https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/alma/article/view/11873

Jara, S. (2018). *"BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR PETRÓLEO EN EL CAMPO LIBERTADOR MEDIANTE LA TÉCNICA DE COMPOSTAJE"* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/10546/1/236T0405.pdf

Jimenez, L. (2016). *Análisis del Caso Chevron Ecuador*.

Jiménez, V. (2020). *EVALUACIÓN DE BACTERIAS Y HONGOS POTENCIALMENTE UTILIZABLES PARA LA BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS* [Universidad Agraria del Ecuador]. https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/JIMENEZ VELEZ VILMA CECIBEL.pdf?fbclid=IwAR3unQKeuUIExmXdpNKWc52ICtFIps2fK-AVwde1IrbYpdERRo7jZeuSBoE

Khudur, L. S., Shahsavari, E., Webster, G. T., Nugegoda, D., & Ball, A. S. (2019). The impact of lead co-contamination on ecotoxicity and the bacterial community during the bioremediation of total petroleum hydrocarbon-contaminated soils. *Environmental Pollution*, *253*, 939–948. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.107

Lemus, P. (2009). Inducción y deducción como origen de la ciencia. Konvergencias. *Revista de Filosofía y Culturas En Diálogo, Año VII*, *21*, 122–133.

Martinez, N., & Gema, y de G. L.-R. (2016). LA INFLUENCIA DE LOS BLOGS DE MODA EN EL COMPORTAMIENTO DEL CONSUMIDOR: UN ENFOQUE EXPLORATORIO. *Vivat Academia*, *135*, 85–109. https://doi.org/10.15178/va.2016.135.85-109

Molina Solis, G. N. (2020). *Determinación de las condiciones para producción de mucopolisacáridos por aislados de Azotobacter provenientes de suelos arcillosos contaminados con hidrocarburos de la región amazónica* [PUCE - Quito]. http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/18037/Trabajo de titulación %2815%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Montalvo, J. O. (2018). *Ecuador 1972-1999: El boom del Petróleo* (IAEN).

Moran, J. (2014). La contaminación ambiental y ocupacional por plomo y sus efectos en la salud reproductiva masculina, evidencia de daño al ADN. *Revista Iberoamericana de Las Ciencias de La Salud*, *1*, *Num.2*, 8. file:///C:/Users/Usuario/Downloads/La_contaminacion_ambiental_y_ocupacional_por_plomo (1).pdf

Moreno, R., & Lascano, A. (2017). *Tipos de Suelo Y Contaminantes* (Planeta).

Nápoles, J. (2019). *Disminución del extracto orgánico total en suelos contaminados con hidrocarburos* (Tecnoquim).

Neruda, S. (2016). *"BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON FLUIDOS DE PRODUCCION."*

Nicomedes, T. (2018). *TIPOS DE INVESTIGACIÓN*. http://repositorio.usdg.edu.pe/bitstream/USDG/34/1/Tipos-de-Investigacion.pdf

Ocaña, M. (2018). *Daños del Suelo*.

Ortega, A. (2018). ENFOQUES DE INVESTIGACIÓN. *Métodos Para El Diseño Urbano - Arquitectónico*. file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Otero-OteroA_Enfoques.pdf

Ortega, M. (2015). *Práctica con Hidrocarburos* (Repositori).

Petroleum, A. (2019). *Reevaluación al estudio de impacto ambiental y plan de manejo ambiental para la fase de desarrollo y producción de los campos del sector occidental del bloque tarapoa, para la perforación de cuatro (4) nuevos pozos de desarrollo y producción y cambio de f*. https://maecalidadambiental.files.wordpress.com/2019/03/reevaluacic393-andes-petroleum-2.pdf

Pinto, D., & Vargas, V. (2018). *Biorremediación de Suelos Contaminados por Hidrocarburos* (Universida).

Porta, J. (2019). *Protección del Suelo* (Amveedicio).

Pozo, M. R. P. (2018). *EVALUACIÓN DE LA BIORREMEDIACIÓN EN SUELOS*

CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS UTILIZANDO Pseudomonas fluorescens. [UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO]. https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15446/1/UPS-QT12601.pdf

Puentestar, W. (2015). *LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL Y EL DETERIORO DE LOS RECURSOS NATURALES EN EL ECUADOR. UNA PERSPECTIVA DESDE LA GEOGRAFÍA* [Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/8665/LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL Y EL DETERIORO DE R.N. EN EL ECUADOR. UNA PERSPECTIVA DESDE LA GEOGRAFI.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ReLASC. (2012). *LA REMEDIACION Y REUTILIZACION DE SITIOS CONTAMINADOS*. Orientaciones Para Personal Técnico DeInstituciones Públicas de Gobierno, Pequeñas y MedianasEmpresas e Instituciones de Educación Superior.

Salamone, I. G. de. (2016). *Biorremediación de Suelos* (INTA EDISO).

Santos, S. (2020). *Plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos del proceso productivo de una Curtiembre.* [Universidad César Vallejo]. https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/51037

SIGAGRO. (2011). *Sistema de Información Geográfica y Agropecuaria*. Atributos Edafológicos. https://www.agricultura.gob.ec/sipa/

SIGTIERRAS. (2017). *Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica*. Memoria Explicativa Del Mapa de Órdenes de Suelos Del Ecuador. Quito, Ecuador. file:///C:/Users/Usuario/Downloads/MEMORIA_MAPA_DE_ORDENES_DE_SUELOS_MAG_SIGTIERRAS.pdf

Torres, J. C. (2005). Cobre, Medio Ambiente y Salud Aportes de la Ciencia. In Comisión Chilena del Cobre (Ed.), *Cobre y Salud Humana: Desafío Estratégico Presente y Futuro para Chile* (Maval Ltda, pp. 31–40). https://www.codelco.com/prontus_codelco/site/artic/20110222/asocfile/20110222213251/cobre.pdf

USDA. (1975). *Departamento de Agricultura de los Estados Unidos*. Servicio de Conservación de Recursos Naturales Suelos. https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/soils/survey/class/maps/

Vargas, R. (2015). *Descripción del Suelo* (Fiant Pani).

Vasquez, J. (2018). Contamination of soil and water by hydrocarbons in Colombia. Analysis of phytoremediation. *UNADE*, 32–37.

Velasco, J. A. (2016). *Técnologias de la Biorremediación* (Instituto).

Veloz, S., Cano, J., & Espinoza, V. (2016). *La remediación Ambiental por Contaminación de Hidrocarburos* (Repositori).

Weimar, G. (2018). Investigación educativa desde un enfoque cualitativo. *La Historia Oral Como Método*, *3*(1665–1596). file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-InvestigacionEducativaDesdeUnEnfoqueCualitativo-6521971.pdf