



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**SEDE ORELLANA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL**

**EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO POR  
HIDROCARBUROS EN LA COMUNIDAD VIRGEN DEL CARMEN  
DEL CANTÓN JOYA DE LOS SACHAS PROVINCIA DE ORELLANA**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo:** Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA AMBIENTAL**

**AUTORA:** KERLY FERNANDA ESPINOZA CHAVEZ

**DIRECTOR:** Ing. ROLANDO FABIAN ZABALA VIZUETE MSc.

El Coca – Ecuador

2022

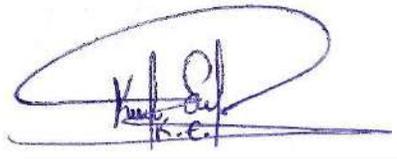
**©2022, Kerly Fernanda Espinoza Chavez**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, KERLY FERNANDA ESPINOZA CHAVEZ, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

El Coca, 28 de julio de 2022

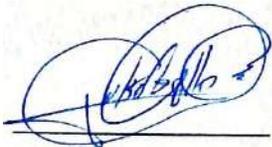
A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized loop at the top, followed by the initials 'K.F.E.' and a horizontal line underneath.

**Kerly Fernanda Espinoza Chavez**

**215013582-6**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**SEDE ORELLANA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto de Investigación, **EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO POR HIDROCARBUROS EN LA COMUNIDAD VIRGEN DEL CARMEN DEL CANTÓN JOYA DE LOS SACHAS PROVINCIA DE ORELLANA**, realizado por la señorita: **KERLY FERNANDA ESPINOZA CHAVEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Julio Rolando Coello Cabezas MSc. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2022-07-28
Ing. Rolando Fabian Zabala Vizueté MSc. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2022-07-28
Ing. Greys Carolina Herrera Morales Mgs. <b>MIEMBRO DE TRIBUNAL</b>		2022-07-28

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de titulación a mi padre que está en el cielo, a mi madre Flora Chavez que me ha brindado siempre su apoyo moral y confianza, a mis hermanos, sobrinas y en especial a mi compañero de vida que siempre ha estado conmigo apoyándome en todo momento a pesar de todas las dificultades que hemos tenido que pasar, para ellos les dedico esta tesis.

*Kerly*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi Dios principalmente por darme la fuerza para seguir adelante y no permitirme decaer en el camino.

A mi padrastro Miguel Verdezoto por apoyarme siempre en el transcurso de mi camino, por confiar en mí y creer en mis capacidades.

A mi querida madre Flora Chavez, hermanos y sobrinas por ser mi soporte fundamental en todo momento siendo de mi vida más alegre y decidida, además me impulsan a lograr cada uno de los retos que me proponga.

A mi compañero de vida que siempre me apoyado a pesar de todo, dando ánimos y fuerzas para culminar mi carrera, haciendo todo lo posible para que siga adelante con mis estudios.

A mi tutor, Rolando Zabala y miembro de mi trabajo de integración curricular Greys Herrera agradecerles infinitamente por el interés, paciencia, comprensión, apoyo, constancia y dedicación hacia mi trabajo de titulación y hacer todo lo posible en ayudarme a solventar todas mis dudas, en ver la manera de como corregir cada parte de mi trabajo, gracias por ser excelentes docentes.

*Kerly*

## TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	1

## CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL .....	10
1.1. Petróleo .....	10
1.2. Origen del petróleo.....	10
1.3. Propiedades del Petróleo .....	11
1.4. Suelo .....	11
1.5. Características generales del suelo .....	12
1.6. Composición del suelo.....	13
1.7. Propiedades del suelo.....	13
1.7.1. <i>Propiedades Físicas del suelo</i> .....	13
1.7.2. <i>Propiedades Químicas del suelo</i> .....	14
1.7.3. <i>Propiedades Biológicas del suelo</i> .....	15
1.8. Tipos del suelo .....	16
1.8.1. <i>Inceptisoles</i> .....	16
1.8.2. <i>Alfisoles</i> .....	17
1.8.3. <i>Histosoles</i> .....	17
1.8.4. <i>Espodosoles o Spodosoles</i> .....	18
1.8.5. <i>Molisoles</i> .....	18
1.9. Muestreo de suelos .....	18
1.10. Tipos de Muestreos para el suelo.....	19
1.10.1. <i>Técnicas de muestreo probabilístico del suelo</i> .....	19
1.10.2. <i>Técnicas de muestreo no probabilístico del suelo</i> .....	20

1.11.	Contaminación del suelo por hidrocarburos .....	20
1.12.	Hidrocarburos .....	21
1.13.	Propiedades fisicoquímicas de los hidrocarburos .....	21
1.13.1.	<i>Propiedades físicas de los hidrocarburos</i> .....	21
1.13.2.	<i>Propiedades químicas de los hidrocarburos</i> .....	22
1.14.	Tipos de hidrocarburos.....	23
1.15.	<i>Bioventing</i> .....	23

## CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO.....	25
2.1.	Materiales y métodos .....	25
2.1.1.	<i>Área de estudio</i> .....	25
2.1.2.	<i>Materiales y equipos</i> .....	27
2.1.2.1.	<i>Materiales de campo</i> .....	27
2.1.2.2.	<i>Equipos de campo</i> .....	27
2.1.2.3.	<i>Instrumentos, equipos y reactivos del laboratorio</i> .....	28
2.2.	Metodología .....	29
2.2.1.	<i>Salida de Campo</i> .....	29
2.2.1.1.	<i>Análisis del Laboratorio</i> .....	31
2.2.1.2.	<i>Análisis de parámetros fisicoquímicos</i> .....	31
2.2.2.	<i>Investigación documental</i> .....	38
2.2.3.	<i>Método de remediación</i> .....	42
2.2.3.1.	<i>División de las unidades experimentales</i> .....	43
2.2.3.2.	<i>Análisis Anova</i> .....	51
2.2.3.3.	<i>Huella de Carbono</i> .....	52

## CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	53
3.1.	Análisis de resultados.....	53
3.1.1.	<i>Caracterización de la calidad del suelo</i> .....	53
3.1.2.	<i>Identificación de los agentes contaminantes del suelo</i> .....	58
3.1.2.1.	<i>Criterios de Calidad del suelo</i> .....	58

<b>3.1.2.2.</b> <i>Criterios de Remediación del suelo</i> .....	59
<b>3.1.3.</b> <i>Propuesta de un plan de mitigación del recurso suelo (método de bioventing)</i> .....	61
<b>3.1.3.1.</b> <i>Comprobación de hipótesis planteada</i> .....	61
<b>3.1.3.2.</b> <i>Comparación de suelos contaminados y suelos tratados</i> .....	65
<b>3.1.3.3.</b> <i>Análisis de la huella de carbono</i> .....	67
<b>3.2.</b> <b>Discusión de los resultados</b> .....	69
<b>CONCLUSIONES</b> .....	71
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	72
<b>GLOSARIO</b>	
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b> Coordenadas Geográficas de los sitios de muestreo y tratamientos .....	26
<b>Tabla 2-2:</b> Rango de cambio en los contenidos de arena, limo y arcilla.....	33
<b>Tabla 3-2:</b> Clasificación del suelo según su salinidad y conductividad eléctrica .....	35
<b>Tabla 4-2:</b> Capacidad de intercambio catiónico.....	36
<b>Tabla 5-2:</b> Reacción acidez a alcalinidad.....	37
<b>Tabla 6-2:</b> Criterios de Calidad del suelo (Valores Máximos Permisibles).....	38
<b>Tabla 7-2:</b> Criterios de Remediación (Valores Máximos Permisibles).....	40
<b>Tabla 8-2:</b> Tiempo que tarda en llenarse el compresor .....	43
<b>Tabla 9-2:</b> Tiempo que demora en ingresar el aire a la superficie del suelo.....	43
<b>Tabla 10-2:</b> Tiempo que demora en ingresar el aire a la superficie del suelo (ts).....	49
<b>Tabla 11-3:</b> Lectura a los 40 segundos.....	53
<b>Tabla 12-3:</b> Lectura a las 2 horas .....	54
<b>Tabla 13-3:</b> Resultados del análisis de textura en suelos. ....	54
<b>Tabla 14-3:</b> Resultados del límite de plasticidad. ....	55
<b>Tabla 15-3:</b> Resultados de la salinidad y conductividad eléctrica del suelo .....	56
<b>Tabla 16-3:</b> Resultados del pH de los suelos .....	57
<b>Tabla 17-3:</b> Criterios de Calidad del suelo de la muestra 1 .....	58
<b>Tabla 18-3:</b> Criterios de Calidad del suelo de la muestra 2 .....	59
<b>Tabla 19-3:</b> Criterios de Remediación de la muestra 1 .....	60
<b>Tabla 20-3:</b> Criterios de Remediación de la muestra 2.....	61
<b>Tabla 21-3:</b> Resultados del Análisis de varianza de los dos tratamientos.....	62
<b>Tabla 22-3:</b> Agrupar información utilizando el método de <i>Tukey</i> y una confianza de 95 .....	63
<b>Tabla 23-3:</b> Comparación del suelo N°. 1 .....	65
<b>Tabla 24-3:</b> Comparación del suelo N°. 2.....	66
<b>Tabla 25-3:</b> Cálculo de la huella de carbono.....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b> Mapa de Ubicación de la Comunidad Virgen del Carmen. ....	25
<b>Figura 2-2:</b> Puntos de referencia de los sitios de muestreos.. ....	26
<b>Figura 3-2:</b> Reconocimiento del perfil del suelo.....	30
<b>Figura 4-2:</b> Medición de cada horizonte del suelo.....	31
<b>Figura 5-2:</b> Triángulo de las clases texturales del suelo. ....	33

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfica 1-3:</b> Comprobación del Análisis de Varianza.....	62
<b>Gráfica 2-3:</b> Comprobación del método <i>Tukey</i> .....	63
<b>Gráfica 3-3:</b> Comparación de intervalos de tiempo 1 y tiempo 2.....	64
<b>Gráfica 4-3:</b> Comparación de residuos para tiempo 1 y tiempo 2.....	65
<b>Gráfica 5-3:</b> Análisis de comparación del suelo N°. 1.....	66
<b>Gráfica 6-3:</b> Análisis de comparación del suelo N°. 2.....	67

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** SELECCIÓN Y MEDICIÓN DEL TERRENO
- ANEXO B:** ESTERILIZACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS
- ANEXO C:** ELABORACIÓN DE CALICATAS
- ANEXO D:** IDENTIFICACIÓN Y MEDICIÓN DEL PERFIL DEL SUELO
- ANEXO E:** TOMA DE MUESTRA
- ANEXO F:** CORTE Y REALIZACIÓN DE HOYOS EN LOS TUBOS PVC
- ANEXO G:** ELABORACIÓN DE HOYOS
- ANEXO H:** COLOCACIÓN DE LOS TUBOS PVC
- ANEXO I:** TRATAMIENTO DE *BIOVENTING*
- ANEXO J:** TOMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS
- ANEXO K:** TOMA DE MUESTRA FINAL DESPUÉS DEL TRATAMIENTO
- ANEXO L:** MATERIALES DEL LABORATORIO
- ANEXO LL:** ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DEL SUELO
- ANEXO M:** ANÁLISIS DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA
- ANEXO N:** IDENTIFICACIÓN DEL COLOR DE SUELO
- ANEXO Ñ:** ANÁLISIS DE MATERIA ORGÁNICA
- ANEXO O:** ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO
- ANEXO P:** LÍMITE DE PLASTICIDAD
- ANEXO Q:** ANÁLISIS DE LA TEXTURA DEL SUELO
- ANEXO R:** SIEMBRA DE *Guaiacum officinale* Y *Syzygium jambos*
- ANEXO S:** ANÁLISIS DE SUELO MUESTRA 1
- ANEXO T:** ANÁLISIS DE SUELO MUESTRA 2
- ANEXO U:** ANÁLISIS DE REMEDIACIÓN DEL SUELO MUESTRA 1
- ANEXO V:** ANÁLISIS DE REMEDIACIÓN DEL SUELO MUESTRA 2
- ANEXO W:** DATOS REALES DE LA REMEDIACIÓN DEL SUELO MUESTRA 1
- ANEXO X:** DATOS REALES DE LA REMEDIACIÓN DEL SUELO MUESTRA 2

## RESUMEN

La contaminación del suelo ocasionada por los hidrocarburos es un problema latente y tiene consecuencias sumamente graves en el desarrollo de los suelos. Por lo tanto, esta investigación tuvo como objetivo evaluar la contaminación del suelo por hidrocarburos en la Comunidad Virgen del Carmen del Cantón Joya de los Sachas Provincia de Orellana, mediante revisión documental de fuentes tanto primarias como secundarias y salidas de campo, con el fin de proponer un plan de mitigación para la remediación del suelo. La metodología de la investigación fue de tipo campo, documental y experimental. Se utilizó fuentes bibliográficas para obtener información preliminar, asimismo para la caracterización fisicoquímica se utilizó el método de hidrómetro y triángulo de textura, límite de plasticidad, tabla de *Munsell*, multiparámetro, pH metro, método del acetato de amonio al 1 N a pH 7 y el método de pérdida por ignición. La evaluación de la calidad del suelo y remediación se llevó a cabo mediante el uso de la tabla 1 y 2 del Anexo-2 del TULSMA. Para la remediación se aplicó el método de *bioventing* mediante un diseño experimental de dos tratamientos y varias repeticiones. Asimismo, mediante el análisis de varianza *Anova* con un nivel de significancia del 0,05 al 95 % de confianza se pudo determinar que el tratamiento dos contribuyó en la reducción de las altas concentración del contaminante, puesto que tuvo un mayor tiempo de exposición y también intervino en la regularización de los procesos fisicoquímicos del suelo. Finalmente, se concluye que el método *bioventing* es eficiente respecto a la reducción de los contaminantes metálicos, alteración de los propiedades fisicoquímicas y compuestos volátiles que se encontraban filtrados en el suelo. Sin embargo, se recomienda utilizar dentro del método de *bioventing* microorganismos que faciliten la degradación del contaminante de una forma acelerada para obtener mejores resultados.

**Palabras claves:** <CONTAMINACIÓN>, <SUELO>, <HIDROCARBUROS>, < BIOVENTING (BIOVENTILACIÓN)>, <CARACTERIZACIÓN DEL SUELO>, <ANOVA (SOFTWARE)>, <NORMATIVA TULSMA>, <REMEDIACIÓN AMBIENTAL>.

Leonardo Medina  
12-07-2022.

Ing. Leonardo Fabio Medina Ñuste MSc.  
C.I: 175777329-4



1824-DBRA-UTP-2022

## ABSTRACT

Soil contamination caused by hydrocarbons is a latent problem and has extremely serious consequences on soil development. Therefore, the objective of this research was to evaluate the contamination of the soil by hydrocarbons in the Virgen del Carmen Community of Joya de los Sachas, Orellana Province, through the revision of primary and secondary sources as well as field trips, in order to propose a mitigation plan for the soil remediation. The methodology of the investigation was of field, documentary and experimental types. Bibliographic sources were used to obtain preliminary information, also for the physicochemical characterization was used the method of hydrometer and texture triangle, plasticity limit, Munsell table, multiparameter, pH meter, method of 1 N ammonium acetate at pH 7, and the loss on ignition method. Evaluation soil quality and remediation were carried out using Tables 1 and 2 of Annex-2 of TULSMA. For the remediation, the bioventing method was applied by means of a design experimental of two treatments and several repetitions. Likewise, by means of the analysis of variance *Anova* with a significance level of 0.05 at 95 % of confidence, it could be determined that treatment two contributed to the reduction of high concentration pollutants since it had long time exposure as well as partook in the regularization of the physicochemical processes of the soil.

Finally, it was concluded that the bioventing method is efficient with respect to the reduction of metal contaminants, alteration of the physicochemical properties and volatile compounds that were filtered in the soil. However, it is recommended to use microorganisms within the bioventing method in order to facilitate the degradation of the pollutant in an accelerated way so as to obtain better results.

**Keywords:** <CONTAMINATION>, <SOIL>, <HYDROCARBONS>, <BIOVENTING>, <SOIL CHARACTERIZATION>, <ANOVA(SOFTWARE)>, <TULSMA REGULATION>, <ENVIRONMENTAL REMEDIATION>



Lic. Erich Gonzalo Guamán Condoy Mgs.

C.I: 070455448-4

## INTRODUCCIÓN

Las acciones consubstanciales a la extracción de hidrocarburos provocan alteraciones nocivas para el medio ambiente, lo cual trae graves consecuencias para la salud y para la misma fábrica. En general, la descontaminación de suelos contaminados con derivados de petróleo, solventes mineros y lodos de perforación es actualmente objeto de una extensa investigación (Alvaro et al., 2017, p. 248).

En la zona del entorno, el proceso de extracción y producción originan efectos medio ambientales desfavorables que perjudican y se presentan a través de la contaminación de los sedimentos (Pérez, 2018, p.1). De esta forma, en los últimos decenios, los hidrocarburos han liberado una gran cantidad de contaminantes dañinos al ambiente (Velásquez, 2017, pp. 153-154).

Por lo tanto, la contaminación del suelo causado por los hidrocarburos tiene consecuencias sumamente graves en el desarrollo de los suelos por la toxicidad bacteriana, salinidad, toxicidad de la vegetación, etc. El movimiento de contaminantes en los sedimentos depende de varios elementos que incluyen como son: la densidad de los hidrocarburos, alteraciones en las propiedades del suelo como: clase, capacidad de carga, potencial hidrógeno, en sus estados sólidos, líquidos y gaseosos (Vaca y Astudillo, 2016, p. 69). Además, los suelos impregnados, al estar expuestos a altas temperaturas los contaminantes del hidrocarburo se descomponen pronto, se gasifican, existen cambios en sus componentes y se impregnan ligeramente. En cambio, al estar expuestos a temperaturas más bajas, la descomposición es demasiado lenta y la disminución de las concentraciones de contaminantes se debe sobre todo a la difusión y ósmosis en el suelo (Vaca y Astudillo, 2016, p. 69). Evidentemente estos elementos cuando ingresan al suelo en porciones muy elevadas exceden los límites permisibles de la Calidad Ambiental, estipulados por la normativa. Esta contaminación es muy grave por lo que lleva a tomar decisiones en el crecimiento y desarrollo de nuevos procesos o técnicas para tratar y rehabilitar ambientes contaminados (Quispe, 2020, p. 1).

Los hidrocarburos son moléculas procedentes de una transformación química básicamente distinta, son incapaces de disolverse en agua, altamente tóxicas para los individuos vivos cuando ingresan en el suelo (Quijano, 2015, p. 1). También están formados por varias moléculas diferentes como son los hidrocarburos alifáticos que poseen un volumen del 57 a 63%, en hidrocarburos aromáticos tienen de volumen el 30 a 38% y de naftenos contiene un volumen de 3,5 a 7,5 % (Vaca y Astudillo, 2016, p. 68).

En Ecuador, los contaminantes de hidrocarburos en los sedimentos más comunes son los que se originan en las infraestructuras permanentes dedicadas a la explotación y destilación de petróleo, lo que finalmente conduce a la remoción de subproductos. Se dispersan en depósito de almacenamiento subterráneos para lugares de aprovechamiento y operaciones de transporte,

provocando daños graves al sedimento (Flores y Mendoza, 2021, p. 18). Las compañías de hidrocarburos determinan las acciones de remediación ambiental, por medio de la magnitud de los suelos contaminados lo cual se realiza una intervención de descontaminación y responsabilidad ambiental; por ello es indispensable elaborar un estudio de alternativas químicas empleables a suelos afectados con hidrocarburos, con el fin de mejorar la vida útil y apoyar los procesos de descontaminación existentes para así brindar medidas de mitigación y cuidado (Páez, 2019, p. 14).

Por otra parte, la comunidad Virgen del Carmen es una de las sociedades más contaminadas por hidrocarburos, dado a que la empresa ENAP ha contaminado estos sectores mediante la extracción y perforación de pozos, lo cual al realizar esta actividad están desechando cierta cantidad de lodos y son enterrados en varias zonas de la comunidad sin haber tenido ningún tratamiento de remediación, provocando daños sumamente graves en el proceso de desarrollo del suelo dejándolos completamente destruidos por la contaminación.

Finalmente, este trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar la contaminación de suelo por hidrocarburos en la Comunidad Virgen del Carmen del Cantón Joya de los Sachas Provincia de Orellana, mediante revisión bibliográfica de fuentes primarias, secundarias y salidas de campo, con el fin de proponer un plan de mitigación para la remediación del suelo.

## **ANTECEDENTES**

A continuación, se presentan distintas investigaciones a nivel internacional, nacional y local con relación a la contaminación del suelo por hidrocarburos.

### **Internacional**

A nivel mundial, la industria petrolera ha ocasionado uno de los problemas más graves en materia de contaminación de suelos, como fugas, derrames, filtraciones accidentales, descargas fugitivas mediante las operaciones de explotación, extracción y transporte de materiales en hidrocarburos.

Del mismo modo, en los últimos años, los hidrocarburos han provocado una contaminación generalizada en uno de los elementos más importantes de los recursos naturales. Según Velásquez (2016, p. 10) las afectaciones por hidrocarburos generan una fuerte debilidad en la fertilización, a través de mecanismos como la toxicidad directa en los organismos del suelo, comenzando con una serie de procesos fisicoquímicos contemporáneos, causando una reducción en la retención de humedad y/o nutrientes, textura del suelo, compactación, cambios en pH y salinidad, dependiendo del tipo de hidrocarburo, pueden ser procesos prácticamente lentos lo que ocasiona una mayor toxicidad.

Por lo tanto, se puede decir que se han realizado investigaciones recientes como en Europa que existe contaminación por hidrocarburos con un total de 2.5 millones de sectores (Agnello et al., 2016, p. 1). También existen más de 340.000 de lugares que están básicamente contaminados, los elementos que contaminan estos sedimentos son por medio de los hidrocarburos, originarios del petróleo que se suscitan en los lugares provenientes de alguna fuga o filtraciones por accidentes, que perjudican comúnmente al suelo y al medio ambiente (Agnello et al., 2016, p. 2). En México, desde hace 30 años y más la industria petrolera es uno de los lugares con más contaminación por sus actividades de extracción, que han sido causados por medio de los procesos de perforación y fangos contaminados. En China la calidad ambiental del suelo ha superado sus estándares de calidad, por las altas dosis de contaminación provocados por hidrocarburos (Mahar et al., 2016, p. 111). En Perú, a partir del año 1977 hasta el año 2016, han existido 61 derrames de hidrocarburos sucesivos en el país, por el descuido y desinterés de las mismas empresas, que son causantes de estos daños severos (Mego, 2021, p. 49). Finalmente se consignan 5000 derrames y fugas de petróleo desde 1978 hasta la actualidad, además otros países como Chile, Estados Unidos, entre otros países más, no quedan ajenos a esta contaminación (Ramón, 2020, pp. 5-6).

## **Nacional**

Ecuador ha afianzado su economía de los últimos cuarenta años en la labor extractiva originalmente en la Amazonia. Para el país el petróleo es uno de los principales fundamentos importantes como son sus ingresos financieros por medio de las fases de la actividad petrolera y en su rendimiento. Además, el Ecuador se ve evidenciado con este problema debido al aprovechamiento del petróleo, que se han visto perjudicadas a causa de los derrames (Simbaña, 2016, p. 1).

Según Vizúete (2020, p. 179) La explotación petrolera es el culpable de 651 mil barriles de crudo derramado de la Amazonia ecuatoriana, lo cual provocó la liberación de sustancias tóxicas, como son los metales o elementos pesados que han contaminado suelos de la región.

Los sectores básicos de la producción y extracción de petróleo en el Ecuador se ubican en las provincias de Santa Elena en la costa de Ecuador, y las provincias de Sucumbíos, Orellana, Pastaza, Morona, Santiago y Napo en el sector oriental (Fuentes, 2016, p. 11).

Las operaciones y actividades asociadas con la industria del petróleo generan grandes cantidades de desechos peligrosos (lodos, petróleo crudo, químicos, etc.) en sus distintas fases sísmicas, perforación, producción, otros, que se trata de derrames, que se definen como fugas de hidrocarburos generadas por causas no operativas, previstas o por causas naturales, en diferentes recursos, como el suelo que es uno de los recurso más afectados por este tipo de contaminantes (Decreto, 2020, p. 15).

En otro aspecto, de todos los años de extracción de petróleo, la provincia de Orellana tiene un historial negativo en cuanto a su ecología, ya que no se realizaron los nueve saneamientos para la reducción de la contaminación del suelo. Los recursos económicos que se obtienen de la venta de petróleo no permiten su financiamiento, desconociendo los efectos de la extracción de hidrocarburos, que contaminan el suelo. Por otro lado, el movimiento del suelo hace que el suelo pierda minerales y materia orgánica de la capa superior, creando deslizamientos de tierra como parte del proceso de corrosión (Vizúete, 2016, p. 8-9).

## **Local**

El cantón Joya de los Sachas posee 191 perforaciones y cuatro estaciones en sus tierras (Torres, 2019, p. 11). La Comunidad Virgen del Carmen, cuenta con la estación MDC-CPF, y cuenta con cinco plataformas más, lo cual se unen a las demás estaciones petroleras existentes en la provincia de Orellana región Amazónica.

Se puede analizar que en el Cantón Joya de los Sachas se encuentra más del 90% de su territorio con licencia para la explotación de petróleo, las zonas petroleras o bloques se encuentran unos en ciclo de desarrollo y varios en explotación (Cipradec, 2015, p. 77). También se puede decir, que uno de estos bloques se encuentra en la Comunidad Virgen del Carmen perteneciente a la parroquia Unión Milagreña.

La Empresa Nacional del Petróleo más conocida como (ENAP) comenzó a relacionarse con la comunidad en el año 2004, aunque obtienen ayuda económica por la empresa los habitantes no se encuentran conformes con el trabajo que realizan al explotar sus tierras. Sin embargo, los daños locales de las actividades petroleras durante los últimos años son realmente devastadoras, lo cual la explotación de la empresa ENAP es responsable de la contaminación acústica, aire, ríos y suelos por metales pesados contenidos en el petróleo derramado o extraído. Estos aspectos han perjudicado desventajosamente a la Comunidad Virgen del Carmen, lo cual impide que las personas conserven un ambiente sano al damnificar gran parte de sus recursos naturales (Vizúete, 2016, p. 11).

## **IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

Los hidrocarburos al llegar al suelo pueden alterar la función de los sedimentos, lo cual impide la permutación de las flatulencias con el aire, que dan comienzo a una secuencia de desarrollo fisicoquímicos sincrónicos, como la gasificación y filtración. Además, dependen de algunos factores como son la temperatura o calor, estructura y porción del sedimento, contenido de humedad y el tipo de hidrocarburo, por ello la sucesión puede ser sumamente lenta, lo que conduce a una mayor toxicidad. También, existen muchas dificultades en las zonas contaminadas con hidrocarburos, dado a que sus costos son extremadamente altos para la limpieza y remediación de los sedimentos (Torres, 2019, p. 13).

De la misma forma, al estar expuesto el suelo a cierto contaminante esto le puede originar varios cambios en su estructura, por lo cual produce un impedimento en el crecimiento de la vegetación en las zonas donde fueron protagonistas de un derrame, fuga o cubrimiento de lodos contaminados, igualmente, producen intercambios en la dinámica de la población vegetal, animal y microbiana (Quispe, 2020, p. 2).

Una de las primeras dificultades ambientales de suma importancia actualmente es la contaminación de los sedimentos por fugas, lodos de perforación que poseen elementos químicos y derrames de hidrocarburos en especial por petróleo. Por lo tanto, cada una de estas causas perciben consigo una secuencia de alteraciones progresivas de sus propiedades fisicoquímicas en la calidad del suelo (Vizuete, 2016, p. 12). Habitualmente esto sucede en las instalaciones mediante operaciones o accidentales que corresponden a un evento casual e inesperado. También, puede ser por hacer caso a las omisiones de la legislación ambiental vigente.

## JUSTIFICACIÓN

El suelo al estar expuesto a un agente contaminante como son los hidrocarburos que han originado efectos graves y rigurosos. Hoy en día, los lodos no tratados, derrame, fugas de petróleo y otros productos químicos son evaluados como un desastre ambiental a causa de los peligros que representan para el bienestar de las personas y los bienes naturales. Por lo general, en los sedimentos afectados hay una lámina superior de 15 centímetros a 1 metro de profundidad o las precipitaciones están humedecidas de hidrocarburos, lo cual no facilita la conmutación de gas natural, además perjudica y conduce a la hipoxia de los suelos y sedimentos sumamente dañados (Quijano, 2015, p. 23).

En la comunidad Virgen del Carmen hay contaminación del suelo por hidrocarburos debido a que, diariamente explotan estas zonas por el mismo hecho de ser ricas en estas sustancias. Mientras que al haber dicha contaminación por estos elementos al tratar de remediarlos son sumamente difíciles de manejar por sus propiedades fisicoquímicas. Además, poseen costos extremadamente altos en su sostenimiento y control, por esta razón es indispensable aplicar un método de tratamiento alternativo para disminuir el grado de contaminación que posee el suelo.

Por tal motivo, se emplea el método de *bioventing* para la degradación y purificación del suelo, este tratamiento tiene como función enviar aire a presión en el suelo a través de hoyos o pozos de suministro hasta llegar a la zona profundidad insaturada para remover todas las partículas dañinas presentes en el sedimento, siendo accesible a una fase volátil del agente contaminante como son los hidrocarburos.

Este proceso es muy beneficioso porque impide el desplazamiento de las partículas o sustancias contaminantes a otras áreas. También es un método fácil de manejar, posee menor costo, sus materiales pueden ser reemplazables. Se usan para remediar principalmente suelos contaminados por hidrocarburos de petróleo, herbicidas, coloides no clorados y algunos otros elementos orgánicos volátiles.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Evaluar la contaminación de suelo por hidrocarburos en la Comunidad Virgen del Carmen del Cantón Joya de los Sachas Provincia de Orellana, mediante revisión documental de fuentes tanto primarias como secundarias y salidas de campo, con el fin de proponer un plan de mitigación para la remediación del suelo.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar la calidad del suelo mediante métodos para el estudio de los parámetros fisicoquímicos del suelo.
- Identificar los agentes contaminantes del suelo mediante la Normativa del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), para la verificación del cumplimiento de cada parámetro permisible establecido en la norma.
- Proponer un plan de mitigación del recurso suelo contaminado por hidrocarburos mediante el método de *bioventing* para la remediación del suelo de la comunidad Virgen del Carmen del Cantón Joya de los Sachas Provincia de Orellana.

## **HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN**

En la aplicación del método de *bioventing* se ha propuesto para los distintos sectores de remediación de los suelos contaminados por hidrocarburos dos tratamientos. El primero tratamiento ayuda a disminuir con una baja factibilidad la alta concentración del contaminante por tener menor cantidad de exposición a la bioventilación. En cambio, el segundo tratamiento ayuda a disminuir con mayor facilidad la alta concentración del contaminante por tener mayor cantidad de exposición a la bioventilación.

**Hipótesis nula ( $H_0$ ):** El primer tratamiento **NO** ayuda a disminuir con una baja factibilidad la alta concentración del contaminante por tener menor cantidad de exposición a la bioventilación.

**Hipótesis Alternativa ( $H_1$ ):** El segundo tratamiento **SI** ayuda a disminuir con mayor facilidad la alta concentración del contaminante por tener mayor cantidad de exposición a la bioventilación.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1. Petróleo

Según Barois et al., (2018. p. 8). La palabra petróleo nace de los vocablos latinos *petro* que significa (piedra) y *óleum* (aceite); al unir las dos palabras se puede deducir como “aceite de piedras”, pero también se lo puede conocer en otros términos como “aceite mineral”, “aceite natural”, “aceite negro” y “aceite noble”. Por lo tanto, se puede definir que el petróleo es un aceite mineral que está conformado por varios compuestos orgánicos, que se lo puede identificar por su color, olor y textura. Además, está formado por elementos principales como son hidrogeno (H), carbono (C), nitrógeno (N), oxígeno (O), azufre (S), sales y minerales. El petróleo se genera a partir de la putrefacción anaeróbica (ausencia de oxígeno) de la materia orgánica y es utilizado como materia prima para diferentes beneficios en la industria química. Además, es catalogado como un recurso natural no renovable, lo cual se debe de utilizar de una manera moderada para evitar su agotamiento.

El petróleo es muy importante porque es la fuente sustancial de la energía a nivel mundial por su materia prima. Dado a que se puede realizar varios procesos de refinación y producción para beneficios del país como el combustible, que tiene como función hacer que las maquinas se muevan como son las centrales eléctricas, transportes, entre otros. También se emplean como material para arreglar las vías de las ciudades y un sin número de precedentes necesarios para la vida diaria. A su vez el petróleo es esencial para las riquezas económicas, empleo, y energía del país ecuatoriano (Pérez, 2018, pp. 7-8).

Pero en la actualidad, el petróleo es uno de los elementos que ha causado mayor daño a nivel ambiental por su extracción, derrames, fugas, perforaciones entre otros aspectos, perjudicando gravemente a los ecosistemas terrestres, que ocurren en actividades de explotación y transporte de los mismos.

#### 1.2. Origen del petróleo

El petróleo se origina a partir de la descomposición de organismos acuáticos microscópicos, vegetales y animales que vivieron en los antiguos mares de la Tierra hace millones de años, cuando aún no existían los humanos. En ese momento, la superficie de este planeta no tenía las mismas

características que tiene hoy. La única enorme masa de tierra que ha existido al final de la era Paleozoica es denominada *Pangea*, en la que se unificaron todos los continentes (Iñesta, 2019, p. 3). Cuando estas plantas y animales mueren y caen al fondo de grandes masas de agua, capas sucesivas de sedimentos inorgánicos (arena y arcilla) se asientan en la parte superior, enterrándolos cada vez más profundamente. Las altas presiones de las capas de la Tierra, las altas temperaturas y la actividad microbiana en condiciones hipóxicas, es decir, en un ambiente anaeróbico, transformaron lentamente la materia orgánica en el petróleo que hoy en día lo conocemos como petróleo crudo. El proceso de putrefacción de la materia orgánica y la conformación del petróleo tarda entre 10 y 100 millones de años (Iñesta, 2019, p. 4).

### **1.3. Propiedades del Petróleo**

El petróleo es muy dificultoso, pero fuera de los elementos de bajo punto de ebullición, las refinerías no intentan deshacer los componentes puros que se hallan en el petróleo. Se elaboran exámenes analíticos relativamente simples en petróleo y sus resultados se utilizan con correlaciones empíricas para estimar el petróleo como materia prima para una refinería en particular. Cada parte se compara con otras materias primas disponibles y, según el realismo del producto, se le consigna un valor. Las propiedades más importantes son: la densidad, punto de fluidez, contenido en azufre, residuo de carbono, contenido en sales, factores de caracterización, contenido de nitrógeno, intervalo de destilación y contenido en metales (Gary, 2020, pp. 18-20).

### **1.4. Suelo**

El suelo (término derivado del latín *solum* que significa piso) es la capa superficial de la tierra llamada pedosfera. Además, el suelo es el fragmento exterior de la corteza terrestre, formada inicialmente por residuos de rocas en desarrollo erosivo y otras alteraciones físicas y químicas, así como materia orgánica proveniente de la actividad biológica que ocurre en la superficie. Cabe destacar que el suelo y sus funciones varían considerablemente en el ecosistema de un lugar a otro debido a los factores que posee, como las variaciones climáticas, la flora y fauna que habitan en el suelo, la roca madre, la posición del suelo en el paisaje y la edad del suelo (Guerra, 2018, p. 23).

El suelo es uno de los bienes naturales más esenciales para los seres vivos dado a que es limitado y no renovable, lo cual debemos de valorarlo para que no se nos acabe. De igual manera presta diferentes servicios ecosistémicos o medio ambientales, entre ellos. Además, se encuentran vinculados con su participación en los ciclos biogeoquímicos como compuestos claves para la vida

como carbono (C), nitrógeno (N), fósforo (P), etc., que constantemente y por consecuencia de la energía disponible, pasan de los sistemas vivos a los elementos no vivos del mundo. No obstante, lo más conocido, es que el suelo es el componente fundamental para el rendimiento de los alimentos y materias primas siendo esencial para la sociedad en general (Burbano, 2016, p. 118).

Los suelos desempeñan un papel de gran importancia, pues participan en la cantidad y tipo de gases en la atmósfera. Además, almacenan, transfieren calor y afectan a la temperatura de la atmósfera. Otra función indispensable de los suelos es que provee anclaje y soporte físico para las plantas, controlan su actividad y la de otros organismos que habitan en el suelo. Así mismo, es capaz de aportar los nutrientes necesarios para el crecimiento de los vegetales y almacenar agua de lluvias cediéndola a las plantas a medida que la necesitan (Pereira, 2015, p. 6).

El almacenamiento de materiales diferentes durante los años y la desintegración de las rocas es de ahí donde nace la formación de los suelos, en un proceso que implica numerosas alteraciones físicas, químicas y biológicas, que da como consecuencia una distribución en capas bien distinguidas, siendo verificables en los puntos de obstrucción o fractura de la terrestre (UNLP, 2020, p. 2).

### **1.5. Características generales del suelo**

- Poseen tamaños diversos integrados por partículas sólidas.
- Poseen elementos orgánicos (como desechos animales y vegetales en descompensación) y elementos inorgánicos (como son los minerales).
- Los fragmentos sólidos son el resultado de la formación de agua en los espacios vacíos a contener y también por la retención de los mismo.
- Poseen cualidades fisicoquímicas peculiares que dependen de la porción de agua, sustancia orgánica y los minerales que disponen, así como su transformación.
- Poseen minerales que nutren sus vegetales y permiten el desarrollo de diversas especies como el nitrógeno (N), fósforo (P) y magnesio (Mg).
- Su composición se debilita al tener un mal manejo en las actividades agrícolas.
- Poseen características que se desenvuelven con el tiempo y van variando en su productividad ya sea disminuyendo o aumentando.
- Se evalúan por el tamaño de sus fragmentos, su formación química, física y biológica, por la distribución de sus horizontes y su transformación, entre otros aspectos (Ortega, 2018).

## 1.6. Composición del suelo

Los componentes del suelo se pueden dividir en tres elementos como son sólidos, líquidos y gaseosos. En primer lugar, se puede decir que el fragmento sólido o estructura mineral cambia según el sustrato rocoso de su origen, siendo la actividad de los seres humanos y sus divisores erosivos. En segundo lugar, el fragmento líquido está conformado por agua (H<sub>2</sub>O), sales e iones diluidos en ella. Asimismo, se incorporan ciertos elementos orgánicos en estado líquido. Finalmente, el fragmento gaseoso está formado básicamente por flatulencias atmosféricas oxígeno (O<sub>2</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), en escalas volubles según la acción microbiana y cobertura vegetal del suelo. Se puede decir que en suelos no bien manejados suelen aparecer ciertos gases como el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y el metano (CH<sub>4</sub>) (Gobierno de Canarias, 2021).

## 1.7. Propiedades del suelo

Los suelos poseen tres propiedades como son: físicas, químicas y biológicas.

### 1.7.1. *Propiedades Físicas del suelo*

**Estructura:** La estructura del suelo es la regularización de las moléculas fundamentales de los sedimentos como (arcilla, limo y arena) en agregados, que se desglosan de los elementos próximos por superficies originales de fragilidad o desprendimiento como la (superficie de ruptura) (Gavande, 2019, p. 3).

**Textura:** Es la descripción porcentual de cada una de las sustancias primarias inferiores de 2 milímetros de diámetro. Por lo tanto, se identifican por su tamaño como en la arcilla, limo y arena. Además la textura es una de las características fijas del suelo, sin embargo, puede padecer de cambios bruscos por el mal uso de los suelos como (mezcla de horizontes), desgaste de rocas (suelos más voluminosos que ocasionan daño del material), flujo de agua (evacuación de elementos más finos) (Pellegrine, 2019, p. 3).

**Color:** El color del suelo depende de sus elementos y cambian con el volumen de humedad, presentes en las sustancias orgánicas y minerales por su nivel de oxidación. Además se utiliza para caracterizar los horizontes del suelo, establecer la causa de sustancia parental, aspecto de elementos orgánicos, estado de adquisición, sales y carbonato en presencia (FAO, 2021).

**Densidad:** Es el volumen y peso del sedimento. Además la densidad se divide en dos tipos muy importantes que son densidad real (moléculas densas que cambian) y densidad aparente contiene una (alta compactación y baja negatividad en el ambiente) (FAO, 2021).

**Consistencia:** La consistencia posee muchos estados que están presentes en el suelo y dependen del volumen de humedad del sedimento. Los estados de estabilidad evidencian la relación en que se ubican las fuerzas de cohesión (atracción entre sustancias del mismo elemento) y las fuerzas de adhesión (atracción entre sustancias diferentes) en el suelo (Fertilab, 2015, p. 1).

**Disponibilidad:** Es la porción de agua reservada en el suelo luego de haber sido saturada y drenada libremente impidiendo la evapotranspiración hasta que la capacidad hídrica se formalice. Además poseen dos elementos importantes como los macroporos que son capaces de desaguar hacia las láminas inferiores bajo la resistencia de la gravedad y los microporos se encargan de rellenar completamente el agua (FAO, 2021).

**Porosidad:** Es el porcentaje absoluto del volumen en el sedimento que no es habitado por sustancias sólidas. También son espacios que albergan agua, oxígeno y la acción biológica del sedimento. (Gavande, 2019, p. 2).

**Profundidad:** Es el área en donde las raíces de las plantas pueden ingresar sin tener ningún problema, con el objetivo de obtener lo indispensable como el agua y los nutrientes (García, 2017, p. 9).

### ***1.7.2. Propiedades Químicas del suelo***

**Capacidad de intercambio catiónico:** Es una medida de porciones en cargas negativas presentes en el área de los minerales y elementos orgánicos del suelo como (sustancias orgánica o húmicas y arcillas) que manifiestan las porciones de cationes que las superficies logran retener como calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K), amonio (NH<sub>4</sub>), etc, (FAO, 2021).

**pH:** Ayuda a establecer el grado de acidez, neutro o alcalinidad de iones por las moléculas del suelo, perjudicando así su disolubilidad, desplazamiento, accesibilidad y estructuras iónicas de un agente contaminante y otros integrantes más del suelo (Fuentes, 2016, p. 24).

**Porcentaje de saturación de bases:** Es la estimación de cada base relacionado al valor suficiente para el intercambio del catiónico en general. Se pueden examinar estos valores detenidamente con un rango de Ca 60-80%, Mg del 10-20%, K del 2-6% y Na del 0-3% (Moro, 2015, p. 1).

**Nutrientes:** Los nutrientes posee iones hidratados, y en inferir las cavidades en este caso son las partículas inorgánicas y elementos apreciados, además se clasifican en macro y micro nutrientes (Bonadeo et al., 2017: p. 229).

**Carbono orgánico:** Es el elemento esencial de la sustancia orgánica del suelo. Además son indicadores del suelo, como son los dones del carbono orgánico mediante la elaboración de los alimentos, disminución y aplicación al calentamiento global (Lefèvre, 2017, p. 6).

**Nitrógeno:** Es el elemento primordial y contiene *albuminoideo* como ácidos nucleicos, catalizadores y otros elementos celulares de todos los seres vivos. El nitrógeno es esencial en la atmosfera con el 78% en general de oxígeno no todos son capas de reducir estos gases (Costa y Ocete, 2018: p. 2).

**Salinización:** Es el proceso de almacenamiento de sales en los sedimentos con superioridad de calcio (Ca) y magnesio (Mg) (Fernández et al., 2016: p. 1).

**Alcalización:** Esta se componen en lugares áridos su elaboración depende de la formación del material que realizo el sedimento original, flora, agua y el uso de los sedimentos (Fertilab, 2016, p. 1).

### ***1.7.3. Propiedades Biológicas del suelo***

**Ciclo del nitrógeno:** Tiene que ver con la función microbiana y fauna del suelo como lambrijas, nemátodos, protozoos, setas, bacilos e invertebrados. Se puede decir que los especímenes del suelo deshacen la sustancia orgánica siendo estos derivados de residuos vegetales y animales, descargando en su momento los nutrientes para ser captados por las plantas (FAO, 2021). Además, las bacterias desempeñan un papel importante en el Ciclo del Nitrógeno con ayuda de diversos procesos: primeramente, se comienza por la mineralización que es un proceso en el que las estructuras reales del nitrógeno (N) se vuelven en amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) con la cooperación de los descomponedores. En segundo término, está la nitrificación que implica un proceso en el que se dividen tres fases. En su primera fase las bacterias cambian el nitrógeno en manera de amonio

(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) por lo que permiten que las raíces de las plantas absorban. En la segunda fase el amonio se corrompe y se forma nitrito (NO<sub>2</sub>). En la tercera fase por medio de oxidación se forma el nitrato (NO<sub>3</sub>). En tercer lugar, es la fijación del nitrógeno pasan con bacterias en el suelo o algas suficientes para fijar el nitrógeno atmosférico añadiéndolo a su organismo y precipitado el suelo una vez ya muertos. Por otra parte, la desnitrificación regresa el nitrógeno a la atmósfera luego sobrepasa el proceso que ocurre (FAO, 2021).

**Ciclo de carbono:** Es un proceso de las variaciones químicas de elementos que implican carbono en la permutación entre la atmósfera como las partículas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (aire), hidrósfera posee carbonato (agua), litósfera entre ello está el carbón y petróleo (suelo), biósfera (organismos vivos), pedosfera (procesos de formación) y geósfera (intercambio de flujos). Además es un ciclo biogeoquímico de mucha importancia para la regularización del ambiente en la Tierra, y en él se ven involucradas las acciones básicas para la conservación de la vida (Iroz et al., 2018: pp. 4-5). Su proceso comienza principalmente por la combustión esta sucesión, es ocasionada por la acción volcánica, en las conflagraciones forestales y en el manejo del petróleo, carbón y el gas natural, que emanan carbono a la atmósfera, en forma de monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Por una parte, la fotosíntesis con la ayuda de los organismos autótrofos integra el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) atmosférico y lo usan para crear sustancias orgánicas (como la sacarosa) y emanan oxígeno (O<sub>2</sub>) a la atmósfera (Cornejo, 2020). Por otra parte, la respiración celular por medio del gas atmosférico o el que está diluido en el agua es utilizado para adquirir la energía desde las partículas orgánicas, mediante la respiración celular aeróbica. A partir de este proceso se emanan dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) al ambiente. Finalmente, mediante el proceso de descomposición de la sustancia orgánica los hongos, bacterias y reductores, aplican el carbono presente en las partículas orgánicas de desperdicios o sobras orgánicas para llevar a cabo la respiración celular y lo reintegran al ambiente como es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Cornejo, 2020).

## **1.8. Tipos del suelo**

En la región amazónica del Ecuador se han identificado seis tipos de suelos que son: Inceptisoles, Alfisoles, Histosoles, Espodosoles y Molisoles que se detallarán a continuación.

### **1.8.1. Inceptisoles**

Los inceptisoles son suelos que están iniciando a mostrar perspectivas de crecimiento siendo estos

suelos relativamente jóvenes y aún están en una etapa de desarrollo. Por lo tanto, los suelos de este orden se encuentran con uno o más horizontes de valoración, y su origen es la formación rápida con procesos de desplazamientos materiales o transformación externa (Peña, 2020). También se incluyen suelos con una capa de valoración, además son menos desarrollados y carecen de otras propiedades del suelo. Asimismo, estos suelos poseen propiedades físicas y químicas muy versátiles como: suelos muy mal drenados a excelentemente bien drenados, texturas arcillosas o arenosas, pH puede ser levemente ácido o alcalino, con una congestión básica mayor o menor que 60%, etc. Los activos de la industria agrícola de nuestro país han sido explotados estratégicamente en los principales cultivos de la economía del país. En el Ecuador estos suelos tienen una gran división geográfica, siendo los más característicos, ocupando 8.571.823 hectáreas que representa un 35% del área cartografiada (Sigtierras, 2017, pp. 8-9).

### ***1.8.2. Alfisoles***

Los suelos alfisoles son minerales con perspectivas de buen crecimiento relativo; Muestran un perfil superficial luminoso y lavado (separación) sobre un perfil arcilloso elevado (acumulación de lodo). Se ubican en establecimientos muy remotos que cubren diversos paisajes. En áreas con buen almacenamiento de agua, estos suelos son de intereses agrícolas, con condiciones naturales de fertilidad única moderada (Calvache, 2016, pp. 8-9). En Ecuador, este suelo recubre un área de 1.044.782 hectáreas, que es el 5% del área georreferenciada del país. Se halla principalmente en relieves de procedencia tectónica corrosiva (elevaciones montañosas de muy bajas a muy altas, relieves montañosos), con humedad rural, recubiertas de praderas y bosques (Sigtierras, 2017, pp. 3-4).

### ***1.8.3. Histosoles***

Los histosoles son suelos con alta materia orgánica y materia vegetal literalmente descompuesta. Por lo general, prosperan donde la sustancia orgánica se aglomera en las superficies sin degradarse debido a los descensos de las temperaturas (climas extremos) o suelos saturados extensos (en los trópicos húmedos). El suelo se vuelve menos fértil cuando la vegetación original es sustituida repentinamente por cultivos agrarios. El ciclo de nutrientes de las plantas se detiene, lo que resulta en el agotamiento de los productos químicos del suelo. Particularmente falta del contenido de cobre, boro y zinc (Fao, 2021). Además, la petrografía de este suelo afecta en primera instancia a su conducción interna, haciéndolo muy pobre y bajo en agua subterránea a nivel superficial y en algunas estaciones del año sobre el nivel del suelo. El pH de este suelo cambia de 3 a 6, lo que

expone a este suelo a un ambiente predominantemente ácido, agente muy fundamental en la acción microbiana responsable de la formación del suelo y su materia orgánica (Sigtierras, 2017, p. 1). En Ecuador habitan pequeñas tierras (se han cartografiado 3.085 mapas), pero aquí se mencionan por ser un tipo de tierra diferente y por su interés ambiental, recibiendo constantemente aportes de la sustancia orgánica; La tasa de estas contribuciones es mayor que la tasa de su devastamiento, por lo que se ejecutan como sumideros de carbono (Sigtierras, 2017, p. 8).

#### ***1.8.4. Espodosoles o Spodosoles***

Los espodosoles se caracterizan por alear aluminios y sustancias orgánicas procedentes de compuestos bajos en hierro. También, incorporan 3,35 millones de kilómetros cuadrados, con un porcentaje de superficie terrestre del 2,58% o el 2,98% respectivamente a nivel del suelo. Además, son suelos porosos que no contiene arcillas silicatadas por lo cual su textura se va a desprender en capas arenosas y en limosas o de textura gruesa. Finalmente, estos suelos se desenvuelven en medios húmedos y lugares con cambios de inclinación (Gutierrez, 2021).

#### ***1.8.5. Molisoles***

Los suelos molisoles son muy valiosos dados a que poseen con abundancia elementos orgánicos en sus capas superficiales y principios de intercambio. Además, tienen una coloración oscura y otros rasgos físicos acogedores para el crecimiento de las raíces. Este suelo se adapta a climas muy diferentes como cálidos a sumamente fríos y secos a bastante húmedos. Generalmente estos suelos son aptos para plantas herbáceas, pero bajos en la producción de plantas forestales. Finalmente, abarcan una superficie de 1.872.652 hectáreas, con un porcentaje del 9% en el territorio nacional designado; se encuentran principalmente en los realces estructurales y crestas de la tercera línea costera, así como en los realces del fondo de las cuencas volcánicas de placer del fiordo interregional (Sigtierras, 2017, pp. 9-10).

### **1.9. Muestreo de suelos**

El muestreo es una fase original y básica de explicar plenamente los resultados adquiridos en el laboratorio. Pero cuando el suelo es un componente sumamente variado, con su estado de origen, terreno, manipulación, tipos de cobertura vegetal entre otros. Es necesario identificar las cantidades que contengan cualidades prácticamente idénticas, lo cual esto ayudaría a definir las unidades de

muestreo. Además, es fundamental tener en cuenta que los métodos de muestreo se llevan a cabo dependiendo de la finalidad del estudio. De esta manera, se puede asegurar que existen procesos de muestreo del suelo en cuestión de feracidad, la determinación microorganismos y macroorganismos biológicos, fisonomía, mineralogía, taxonomía, etc (IGAC, 2017, p. 1).

### **1.10. Tipos de Muestreos para el suelo**

Por lo general se puede extraer una muestra y realizar el análisis mediante dos variedades que son: probabilística y no probabilística. El proceso de muestreo probabilístico ayuda a percibir la posibilidad de encajar a cada sujeto estudiado en la muestra mediante selección aleatoria. Por otro lado, el proceso de muestreo no probabilístico, se lo realiza mediante la elección de los individuos de investigación estos dependerán de una secuencia de cualidades, perspectivas, etc. Dado a que estos pueden ser poco correctos y verídicos; puesto que esta variedad de muestra no se acomodan a una justificación probabilística (Otzen y Manterola, 2017: p. 228).

#### ***1.10.1. Técnicas de muestreo probabilístico del suelo***

**Muestreo aleatorio simple:** Cada componente del grupo posee una posibilidad equivalente de ser escogido y consignado un número (Porras, 2017, pp. 4-5).

**Muestreo sistemático:** La muestra se elige recolectando cada elemento de los habitantes después de que los elementos de muestreo hayan sido enumerados u ordenados de alguna manera. La letra  $k$  es la tasa de muestreo, es decir, la relación entre el tamaño de los habitantes y el tamaño de la muestra (Porras, 2017, p. 5).

**Muestreo estratificado:** En este tipo de muestreo se debe de distribuir a la demografía en clases o especies. Por lo tanto, los elementos incorporados en cada zona tienen que ser parcialmente variadas en relación a las cualidades a examinar. Además, se debe de coger una submuestra de cada zona por medio de una sucesión al azar simple, para conseguir una muestra de los habitantes, y se debe de mezclar las submuestras de todas las zonas. Por lo general, los elementos muestrales se dividen por pisos y corresponden al número referente de las unidades en cada zona de su localidad, finalmente esta técnica se llama muestra estratificada proporcional (Porras, 2017, pp. 5-6).

**Muestreo por conglomerados:** En este tipo de muestreo se realiza la selección de forma aleatoria

de algunos vecindarios o negocios dentro de un distrito, así como ciudades, municipios, etc. Después se eligen las unidades sumamente diminutas como calles, clínicas y escuelas; una vez ya seleccionada dicha unidad, se aplicará la medida a todos sus miembros (Otzen y Manterola, 2017: pp. 228-299).

### ***1.10.2. Técnicas de muestreo no probabilístico del suelo***

En las técnicas o métodos de muestreos no probabilístico del suelo se dividen en tres secciones que son intencional, por conveniencia y accidental o consecutivo que se detallarán a continuación.

**Intencional:** Se pueden identificar los hechos peculiares de una muestra pequeña de la población en estos hechos exclusivos. Por tanto, se emplean en situaciones donde la población es bastante voluble y, por ende, la muestra es sumamente diminuta (Otzen y Manterola, 2017: p. 230).

**Por conveniencia:** En este caso se puede detallar y emplear aquellos hechos alcanzables que acepten ser incorporados. Esto depende de la relevancia y proximidad de los temas al investigador (Otzen y Manterola, 2017: p. 231).

**Accidental o consecutivo:** Depende de los hechos de reclutamiento hasta alcanzar las cifras requeridas de los individuos para complementar el volumen de muestra solicitada. También puede ser seleccionada al azar, de manera que las personas que realizan la investigación escojan una ubicación, reclutando inadvertidamente los temas de investigación sobre la población que está disponible para ellas. Además es semejante al muestreo de ajuste, a excepción de las muestras alcanzables lo cual permite involucrar a todos los objetos (Otzen y Manterola, 2017: p. 232).

### **1.11. Contaminación del suelo por hidrocarburos**

Se puede evaluar un suelo contaminado por sus características físicas-químicas y biológicas originales que han sido trastornadas debido a las labores antropogénicas y representan un peligro para el ambiente. Químicamente, se puede enfatizar que el petróleo es un agregado complejo de hidrocarburos, sobre todo está conformado por carbono e hidrógeno, con porciones inferiores de otras sustancias como: nitrógeno (N), azufre (S), etc. Además la contaminación del suelo por hidrocarburos se pueden dividir de la mezcla principal como los Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) y otros son desintegrados por microorganismos del suelo (Rodríguez, 2018, p. 8).

Se puede deducir que la contaminación por hidrocarburos provoca daños a los seres humanos y pérdida de recursos naturales esenciales. Los daños producidos por un suelo contaminado pueden cambiar en el transcurso del tiempo existiendo un plazo corto y largo, por lo cual las causas o efectos en muchos casos no se encuentran precisamente (Simbaña, 2016, p. 13). Un suelo posiblemente contaminado puede exhibirse en distintos lugares, involucrando ciertos factores, esto suelos pueden ser aquellos que ofrecen soporte a las grandes industrias para que elaboren este producto contaminante como son las fábricas reproductoras de químicos, entre ellos plaguicidas, empresas hidrocarburiíferas, etc. Los contaminantes que están en el suelo pueden considerarse como elementos que puedan provocar algún daño y riesgo para la salud de todos (Simbaña, 2016, p. 14).

## **1.12. Hidrocarburos**

Los hidrocarburos son compuestos orgánicos que están estructurados por átomos de carbono e hidrógeno y se unifican por los enlaces C-C, estos se pueden dividir en dos tipos: hidrocarburos aromáticos e hidrocarburos alifáticos (Simbaña, 2016, pp. 15-16). Además, los hidrocarburos son una fuente de energía sumamente importantes para las industrias, casas y para el crecimiento de la vida diaria de la población. Siendo de ellos esenciales el combustible, los procesos extremadamente avanzados en la elaboración de ciertos productos y el uso de esta materia prima en la industria petroquímica (Torres, 2019, p. 19).

## **1.13. Propiedades fisicoquímicas de los hidrocarburos**

Como propiedades fisicoquímicas de los hidrocarburos se pueden clasificar en elementos físicos como densidad, olor, color, viscosidad, volatilidad, tensión superficial, y como elemento químico se tiene su composición química. A continuación, se detallará cada uno de ellos.

### ***1.13.1. Propiedades físicas de los hidrocarburos***

**Densidad:** El aceite es más ligero que el agua. En este caso la densidad se ve afectada por los componentes físicos y la formación química del petróleo. Además contienen 0,75-0,95 kilogramos / Litro (Gobierno de México, 2017).

**Olor:** El olor es sumamente fuerte lo cual se lo puede diferenciar de cualquier componente además esto depende de la formación del petróleo y de la naturaleza. Para distinguir su olor también

depende mucho de que hidrocarburos se tratan como los hidrocarburos no insaturados, estos poseen un olor extremadamente repulsivo debido a que poseen varios elementos de azufre (S) y sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S). En cambio en los hidrocarburos puros poseen un olor muy fragante pero estos aromas varía según la dosis de hidrocarburos ligeros e impurezas (Gobierno de México, 2017).

**Color:** Su color es literalmente negro, pero cambia al momento que se incrementa su densidad, en este caso pueden ser de color marrón rojizo, amarillo, verdoso y oscuros. En el caso de ser un hidrocarburo natural es decir sumamente puros no poseen color, pero con frecuencia se tiñe por la oxidación, en particular los hidrocarburos insaturados y los que poseen elementos como N, O, S, así como H y C (Gobierno de México, 2017).

**Viscosidad o resistencia al flujo:** La viscosidad se puede calcular por la duración en la que tarda una cierta cantidad de aceite en fluir a través de un pequeño orificio (Gobierno de México, 2017).

**Volatilidad:** El aceite natural depende del punto de ebullición de los distintos elementos (Gobierno de México, 2017).

**Tensión superficial y fuerza capilar:** Ayudan en el movimiento de los hidrocarburos por medio de las piedras de la cubierta terrestre. Además, al tener gases disueltos en los petróleos es sumamente baja su tensión superficial. Por tanto, al tener una baja tensión superficial tiende a reducir el valor de las resistencias capilares en el movimiento del crudo, en un medio permeable gracias al gas de elevada presión (Gobierno de México, 2017).

**Fluorescencia:** Es la aparición de hidrocarburos en estado líquido y gaseoso bajo la influencia de la radiación infrarroja (Gobierno de México, 2017).

### ***1.13.2. Propiedades químicas de los hidrocarburos***

**Composición química:** El petróleo es un componente puro que está formado por carbono con un grado de 83-87% e hidrógeno con un grado de 11-14% H. Por tal motivo posee demasiadas impurezas orgánicas, lo cual contienen elementos como azufre (S), nitrógeno (N), oxígeno (O), ácido sulfhídrico (S<sub>2</sub>H), mercaptano (CH<sub>3</sub>-SH), dióxido de azufre (S<sub>2</sub>O) y alcohol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH). También existen diferentes sales minerales como sulfatos de calcio, magnesio, hierro y cloruros (Gobierno de México, 2017).

#### 1.14. Tipos de hidrocarburos

**Hidrocarburos alifáticos:** Estos hidrocarburos se separan en base a los dos átomos de enlace de carbono (C), que son alcanos estos poseen un solo enlace, los alquenos tienen dos enlaces y alquinos contienen tres enlaces. En este caso para los elementos alifáticos se utilizan los alcanos (Rodríguez, 2018, p. 7).

**Hidrocarburos aromáticos:** Estos elementos poseen un olor fuerte y se derivan del benceno, por la existencia de una estructura periódica, el benceno, en su momento, muestra cierta inconsistencia debido a la peculiaridad de la presencia de dos enlaces combinados (Rodríguez, 2018, p. 7).

**Hidrocarburos alifáticos cíclicos:** Son compuestos de cadena siendo utilizado los cicloalcanos en ellos están la parafina cíclica y los naftenos cíclicos que forman el petróleo natural (Simbaña, 2016, p. 16).

**Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos:** Son comúnmente nombrados por sus siglas (HAP's), estos elementos que están constituidos por seis moléculas simples de benceno (Simbaña, 2016, p. 16).

#### 1.15. Bioventing

El *bioventing* o también conocido como inyección de aire es un proceso de biorremediación mediante transformaciones físicas que impulsan el desenvolvimiento de los microorganismos aeróbicos del suelo mediante la inyección a presión de aire para preservar su acto en el proceso de biodegradación connatural de elementos orgánicos de agentes contaminantes. Además, es un procedimiento *in situ* que se aplica directamente sobre el sedimento contaminado, de manera similar a la aeración y extracción al vacío, pese a que en este método se insertan flujos bajo de oxígeno en el lugar no saturado del sedimento los movimientos son frágiles para prevenir la volatilización de elementos como la inyección coaccionada preserva la densidad de oxígeno indispensable para conservar e impulsar la actividad de los microorganismos característicos del suelo (Muñoz et al., 2019: p.484). Finalmente, se agregan desenlaces de nutrientes y verificadoras de pH para conservar el movimiento microbiano. Este método se puede emplear con éxito en sedimentos impregnables y pocos saturados si la contaminación es por elementos orgánicos biodegradables como hidrocarburos, óleos minerales, carburantes y otras sustancias orgánicas no cloradas poseen como ventaja inicial, asimismo tiene menor valor frente a otros métodos como la sencillez de la operación

y el bajo efecto sobre su cavidad (Muñoz et al., 2019: pp. 484-485).

Este tratamiento tiene como función descomponer las partículas orgánicas volátiles (VCOs) una vez que los vapores se desplacen por el suelo; Del mismo modo, los contaminantes se retiran mediante una bomba al vacío (Vilca, 2019, p. 7). Al realizar este tratamiento es importante considerar estos dos elementos para obtener un buen control en el manejo del sistema que es la filtración del suelo, el lugar en donde se vaya a disponer para el soporte de aireación, el espacio entre las calicatas y el tamaño del aspersor. Es decir el primer dispositivo suministran el oxígeno y el segundo elementos es la biodegradabilidad de las partículas orgánicas, que establece la rapidez y el grado de descomposición (Yagual, 2020, p. 33).

Esta técnica tiene como ventajas ser muy eficiente en el tratamiento de la contaminación con elementos en disminución de presión a vapor menor de 1 milímetro de mercurio a 20°C, y su velocidad de descomposición es ligeramente superior a la volatilización. Además, este tratamiento *in situ* es muy económica dado a que no necesita de una adecuación bastante amplia ni de materiales o transportes pesados (Yagual, 2020, p. 35).

De igual manera tiene desventajas como: la clase y densidad del agente contaminante, corto en humedad del sedimento lo cual no permite que circule el aire por el área contaminada, la pérdida de sustento en el sedimento, se necesita mucho tiempo para lograr la acumulación final de hidrocarburos anhelados, se puede manifestar que la duración del lavado pueden perdurar meses o años (Yagual, 2020, p. 34). Su profundidad, debe de ser mínimo de 1,2 m, esenciales para contener apropiadamente el aire inyectado; y máximos de unos 9 m, en este caso sería sumamente dificultoso manejar la dirección del movimiento del aire (Suarez, 2013, p. 25). Para la inyección de aire a presión debe ser de 3,0 a 3,5 lb de oxígeno por cada libra de hidrocarburo presente en el sedimento, siendo muy importante para el proceso de biodegradación (Plata, 2012, p. 19).

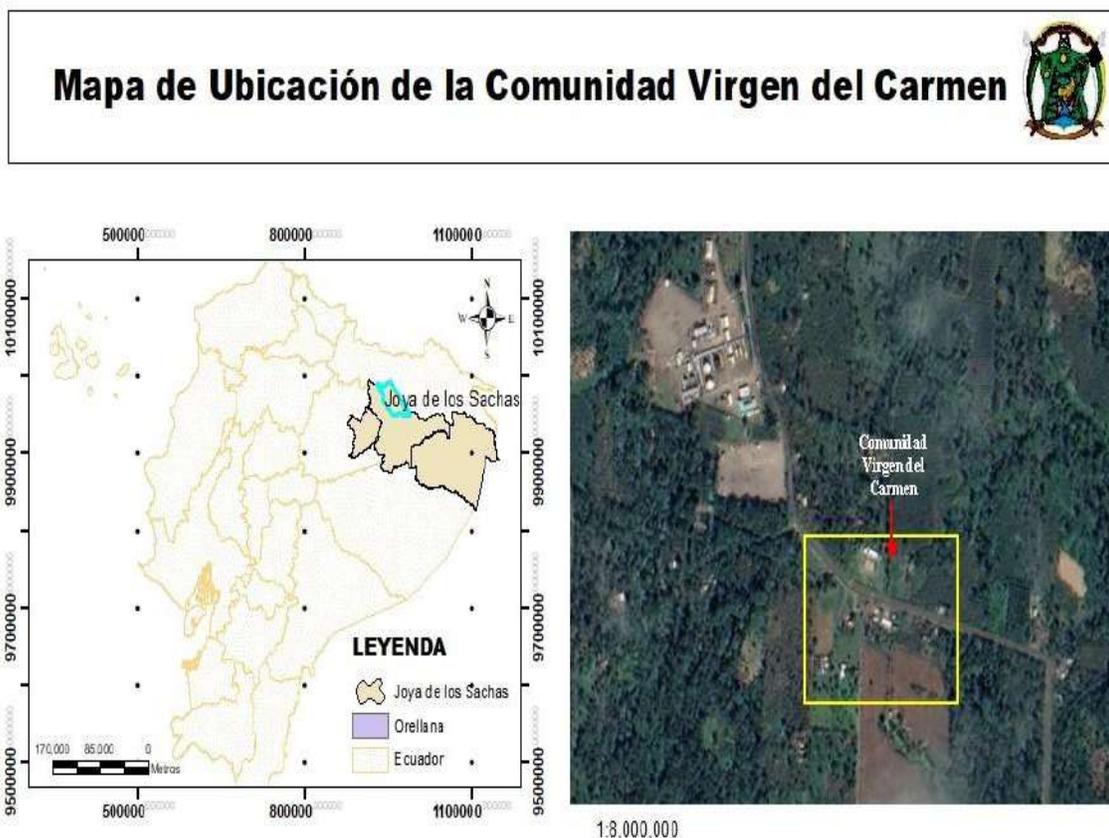
## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Materiales y métodos

##### 2.1.1. Área de estudio

En la amazonia ecuatoriana se encuentra situada la provincia de Orellana, la cual se subdivide en 4 cantones como son: El Coca, Aguarico, Loreto y la Joya de los Sachas. Se pudo señalar que la presente investigación tuvo un enfoque principal en la comunidad Virgen del Carmen que corresponde a la Parroquia Unión Milagreña, ubicado en el cantón Joya de los Sachas. Además, cuenta con una superficie de 175 metros sobre el nivel del mar. A continuación, la figura 1-2.



**Figura 1-2:** Mapa de Ubicación de la Comunidad Virgen del Carmen.

Realizado por: Espinoza, Kerly, 2021.

La comunidad cuenta con una estación llamada ENAP (Empresa Nacional de Petróleo), esta

empresa logró afectar casi todo el entorno de la sociedad como suelos, aire, entre otros. Por lo tanto, existen bastantes fincas contaminadas por sustancias no tratados que contienen hidrocarburos, lo cual estas sustancias fueron extraídas de pozos sin tener ningún tratamiento adecuado y fueron enterrados en estas zonas. Dado el caso, se analizó y se escogió específicamente dos fincas con mayor contaminación, así como se muestra en la figura 2-2 a continuación.



**Figura 2-2:** Puntos de referencia de los sitios de muestreos.

**Realizado por:** Espinoza, Kerly, 2021.

**Tabla 1-2:** Coordenadas Geográficas de los sitios de muestreo y tratamientos

<b>Coordenadas Geográficas Zona 18 M</b>			
<b>Puntos</b>	<b>Coordenada Este X</b>	<b>Coordenada Norte Y</b>	<b>Altitud</b>
P1	0298429	9957411	252 msnm
P2	0298560	9957055	293 msnm

**Fuente:** Google Earth Pro, 2021.

**Elaborado por:** Espinoza, Kerly, 2022.

### **2.1.2. Materiales y equipos**

Para la realización de este proceso de investigación se utilizaron los siguientes materiales:

#### *2.1.2.1. Materiales de campo*

- Pala redonda
- Palín
- Pala de palote
- Fundas *ziploc* de polietileno sellable
- Pico
- Valde
- Machete
- Libreta
- Etiquetas
- Esfero
- Agua destilada
- Tubo PVC de 3 in
- Metro
- Tapones
- Plástico negro
- Sierras de corona con punta de carburo
- Barreno manual
- Botas de caucho

#### *2.1.2.2. Equipos de campo*

- GPS
- Pesa
- Taladro
- Moledora
- Compresor
- Cámara fotográfica digital

### 2.1.2.3. Instrumentos, equipos y reactivos del laboratorio

- Vasos de precipitación de 250 ml, 50 ml, 500 ml y 1000 ml
- Espátula
- Bagueta
- Probeta graduada de 100 ml y 1000 ml
- Piseta
- Tamiz N° 10 de 2 mm
- Tamiz de malla N° 40
- Cajas petri
- Cuchara espátula
- Matraces *Erlenmeyer* de 250 ml
- *Beaker* de 600 ml
- Propipeta
- Pipetas graduadas de 5 ml y 10 ml
- Papel filtro
- Papel aluminio
- Toallas absorbentes
- Cacerola de vidrio
- Tablas de *Munsell*
- Cronómetro
- Hidrómetro de ASTM 152 H en g/L
- Termómetro
- Vasija de porcelana de 115 mm de diámetro
- Placa de vidrio esmerilado de 30 cm con un espesor de 1 cm
- Patrón de comparación de cobre de 3 mm de diámetro
- Contenedores de aluminio con tapa
- Mortero con pilón

#### **Equipos**

- Balanza analítica
- Agitador magnético
- Multiparámetro

- pH Metro
- Horno de secado

### **Reactivos**

- Hexametáfosfato de sodio (NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub>
- Carbonato de sodio Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>
- Solución pH 4
- Solución pH 7
- Solución de STD 1413 uS/cm
- Agua detallada
- Formol al 37%
- Fenolftaleína
- Acetato de amonio C<sub>2</sub>H<sub>7</sub>(NO<sub>2</sub>) al 1 N a pH 7
- Cloruro de sodio (NaCl) al 10%
- Hidróxido de sodio (NaOH) al 0,1 N

## **2.2. Metodología**

La investigación se realizó de tres formas: campo, documental y experimental. Por lo tanto, la metodología del presente estudio se dividió en tres secciones. El primero se basó en la caracterización de la calidad del suelo, mediante métodos para el estudio de los parámetros físicoquímicos del suelo. La segunda sección consistió en la identificación de los agentes contaminantes del suelo mediante la Normativa del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), para la verificación del cumplimiento de cada parámetro permisible establecido en la norma. Finalmente, en la tercera sección fue proponer un plan de mitigación del recurso suelo contaminado por hidrocarburos mediante el método de *bioventing* para la remediación del suelo de la comunidad Virgen del Carmen del Cantón Joya de los Sachas Provincia de Orellana.

### **2.1.1. Salida de Campo**

En la primera sección se realizó una calicata en cada finca, dando un total de dos calicatas.

En la primera finca del señor Luis Yumbo se elaboró una calicata de 1 metro cúbico con una profundidad de 1,20 metros, lo cual se observó con mayor facilidad el perfil del suelo. Luego se

midió cada uno de los horizontes, el primer horizonte (A) midió 20 centímetros, el segundo horizonte (B) 40 centímetros, el tercer horizonte (C) 60 centímetros y el cuarto horizonte (D) 80 centímetros. Posterior a eso se realizó la toma de 11 submuestras de los primeros tres horizontes A, B y C, con una profundidad de 70 centímetros. Después se removió en un valde esterilizado las submuestras formando una solo muestra homogénea de 2 libras. Finalmente, se obtuvo la primera muestra la cual se etiquetó con los datos más importantes como fecha, nombre de la finca, profundidad de muestreo, etc. Por último, se cubrió totalmente toda la calicata con un plástico negro para que no ingrese agua dentro de ella.



**Figura 3-2:** Reconocimiento del perfil del suelo.

Realizado por: Espinoza, Kerly, 2021.

De igual manera, se realizó el mismo procedimiento en la segunda finca del señor Daniel Valarezo lo cual se elaboró una calicata de 1 metro cúbico con una profundidad de 1,90 metros, donde se diferencié cada uno de los horizontes. Posterior a eso se midió cada uno de los horizontes, el primer horizonte (A) midió 30 centímetros, el segundo horizonte (B) 70 centímetros, el tercer horizonte (C) 120 centímetros y el cuarto horizonte (D) 180 metros. Luego se realizó la toma de submuestra de los primeros tres horizontes A, B y C, con una profundidad de 70 centímetros. Después se removió en un valde esterilizado las 11 submuestras formando una solo muestra homogénea de 2 libras.

Finalmente, se obtuvo la segunda muestra la cual se etiquetó con los datos más importantes como fecha, nombre de la finca, profundidad de muestreo, etc. Por último, se cubrió totalmente toda la calicata con un plástico negro para que no ingrese agua dentro de ella.



**Figura 4-2:** Medición de cada horizonte del suelo.

Realizado por: Espinoza, Kerly, 2021.

#### *2.1.1.1. Análisis del Laboratorio*

Al tener una muestra de cada sector se procedió a llevar las muestras al Laboratorio de Análisis y Evaluación Ambiental (AQLAB) ubicando en el cantón el Coca provincia de Orellana, para la evaluación de siguientes parámetros: Conductividad eléctrica, bario (Ba), cadmio (Cd), níquel (Ni), plomo (Pb), hidrocarburos totales (TPH), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's) y el potencial de hidrogeno (pH).

#### *2.1.1.2. Análisis de parámetros fisicoquímicos*

Los parámetro físico-químicos se los analizó en el laboratorio de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Orellana, en ellos se determinó la textura del suelo, color, plasticidad, salinidad y conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, pH y materia orgánica que se detallaran a continuación.

- **Parámetros físicos**

- **Textura**

Se basó en el método del *Bouyoucos* (Andrades, Moliner y Masaguer, 2015: pp. 25-26) y el Triángulo Textural de los suelos (Pellegrine, 2019, pp. 5-6). Primeramente, se disolvió el hexametáfosfato de sodio con 50 gramos en agua destilada con un volumen de un litro con una agitación severamente constante. Segundo el carbonato de sodio se disolvió 30 gramos en un litro de agua destilada. Posterior a eso se secó las muestras de cada suelo en el horno a 105 °C durante 24 horas. Luego se tamizó los suelos con un tamiz de N°10 de 2 milímetros. A continuación, se pesó 50 gramos de suelo en la balanza analítica, se agregó la muestra a un vaso precipitado de 250 mililitros con agua destilada en el mismo vaso precipitado se colocó 10 mililitros de hexametáfosfato y 10 mililitros de carbonato de sodio, con una bagueta se removió la solución durante 10 minutos para obtener una muestra homogénea. Después se pasó la mezcla a una probeta de 1000 mililitros con 725 mililitros de agua destilada vaciando todo el contenido, nuevamente se lavó la mezcla para que no quedé ningún residuo en el vaso precipitado y se añadió a la probeta hasta completar los 1000 mililitros de volumen. Seguido se agitó dentro de la probeta con una bagueta la solución durante un minuto, se introdujo el hidrómetro en la probeta durante 40 segundos y se tomó la primera lectura y la temperatura, el mismo proceso se realizó después de dos horas, se toma la segunda lectura y la temperatura. Para obtener los resultados del porcentaje de las clases texturales se usó la siguiente fórmula (Recinos Derick, 2018, pp. 1-2):

$$\begin{aligned}\% \text{ Arena} &= 100 - \frac{L1 \times 100}{Pm} \\ \% \text{ Arcilla} &= 100 - \frac{L2 \times 100}{Pm} \\ \% \text{ Limo} &= (\% \text{ Arena} + \% \text{ Arcilla}) - 100\end{aligned}$$

Dónde:

**L1** = Primera lectura del hidrómetro tomada en 40 segundos.

**T2** = Segunda temperatura tomada en dos horas.

**Pm** = Peso de la muestra

Para la obtención del cálculo de la corrección del hidrómetro se usó la siguiente expresión:

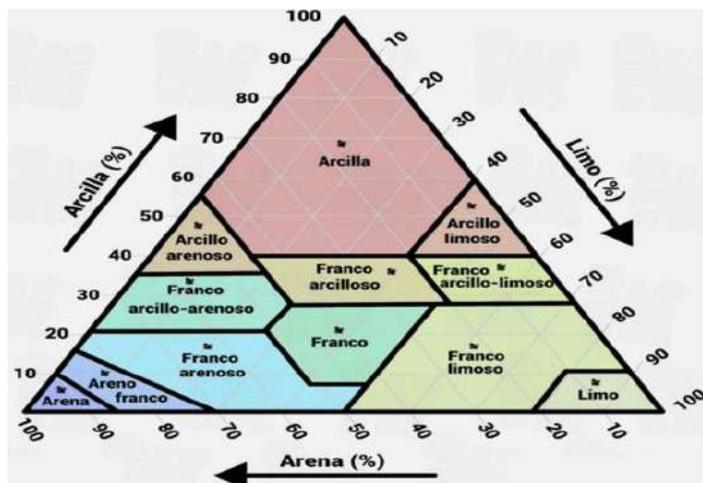
$$(c) = (t \times 0.36) - 7$$

Donde:

$t$  = temperatura obtenida de los 40 segundos y 2 horas.

$c$  = Se adiciona dicho valor cuando es determinado con el hidrómetro y se corrige.

Después de obtener los cálculos apropiados, donde se caracterizó por el método de triángulo textural y se identificó el tipo de textura exacta del suelo.



**Figura 5-2:** Triángulo de las clases texturales del suelo.

Fuente: Sola, 2019.

Además, los resultados obtenidos se relacionaron con la tabla 2-2.

**Tabla 2-2:** Rango de cambio en los contenidos de arena, limo y arcilla

Rango (%) en el contenido de clases texturales			
Clase Textual	Arena	Limo	Arcilla
Arenosa	100-85	15-0	10.0
Franco-arenosa	85-43	50-0	20-0
Franca	52-23	50-32	27-7
Franca-limosa	50-0	87-50	27-0
Limosa	20-0	100-80	12-0
Franca-arcillosa	45-20	53-15	40-27
Arcillosa-arenosa	67-45	20-0	55-35
Arcillo-limosa	20-0	60-40	60-40
Arcillosa	45-0	40-0	100-40

Fuente: (Maldonado, 2016, p. 24).

## - Plasticidad

Se usó el método de límite de plástico (Ramírez, 2021, p. 44). Se ingresó las muestras de suelos en el horno a una temperatura de 110 °C durante 24 horas, se trituró con ayuda de un mortero eliminando todas las partículas luminosas y se tamizó, una vez obtenido el material pasante del tamiz se dividió en tres partes iguales y se realizó el acondicionamiento de la muestra. Luego se pesó 50 gramos de suelo y se agregó 20 mililitros de agua destilada con una espátula se removió la muestra hasta obtener una pasta homogénea y se dejó reposar las dos muestras de suelos a lo largo de 12 horas por ser texturas francas arcillosas- arenosas y se mezcló otra vez durante 10 minutos, se tomó la pasta con las manos y se formó una esfera. Después en un crisol se fue moldeando la pasta de manera horizontal, se dividió en dos partes y se tomó de la muestra proporcionada 1 cm<sup>3</sup>, se amasó con la palma de la mano sobre la placa de vidrio hasta que se formó un cilindro con diámetro de 3 milímetros. Finalmente se dobló y se repitió el mismo proceso hasta que el cilindro se fisuró luego de a ver llegado a los 3 milímetros. Posteriormente se agregó los cilindros en un recipiente de aluminio, se pesó otra vez se llevó al horno con los mismos tiempos y se pesó la muestra ya seca. El mismo procesó se realizó a las demás muestras sacando un total de dos muestras por suelos en general seis muestras. Para el cálculo del límite plástico se empleó las siguientes fórmulas (Pilatasig Murillo, 2021, pp . 11-12).

$$LP = \frac{P_W}{P_S} \times 100 \%$$

Donde:

**LP** = Límite plástico en porcentaje.

**PW** = Peso del agua contenido en los cilindros en gramos

**PS** = Peso seco de los cilindros en gramos.

Total, del límite de plástico de las dos muestras:

$$LP = \frac{W_{1\%} + W_{2\%} + W_{3\%}}{3}$$

## - Color

Para identificar el color del suelo se sacó pequeñas muestras de cada uno de los sedimentos, lo cual se comparó con la Tabla de *Munsell* las matrices 7.5 YR y 2.5 YR, tomando los valores del lado

vertical como los cromas horizontales para su determinación.

- **Parámetros químicos**

- **Salinidad y Conductividad eléctrica**

En este caso la salinidad se midió por medio de la conductividad eléctrica, lo cual se realizó de una forma sencilla donde se tomó una pequeña muestra de cada uno de los sectores de análisis y se los etiqueto con el nombre de P1 YC y P2 SM. Se llevó al laboratorio en donde se pesó 100 gramos de cada suelo en la balanza analítica. Luego se agregó 100 mililitros de agua destilada en la probeta graduada. Después se pasó la solución a los vasos precipitados de 250 mililitros y se agitó con una bagueta hasta obtener una mezcla homogénea. Por último, se calibró el multiparámetro con la solución STD (Sólidos Totales Disueltos) 1413 uS/cm y se midió la conductividad eléctrica de las muestras. Para la comparación de resultados se tomó en cuenta la tabla 3-2.

**Tabla 3-2:** Clasificación del suelo según su salinidad y conductividad eléctrica

<b>Tipos de suelos</b>	<b>Conductividad eléctrica uS/m</b>
Suelos libres de sales	Menor a 1
Suelos bajos en sales	1-2
Suelos moderadamente salinos	2-4
Suelos salinos	4-8
Suelos altamente salinos	8-16
Suelos sumamente salinos	Mayor a 16

Fuente: Castellanos, 2016.

- **Capacidad de intercambio catiónico**

Para la capacidad de intercambio catiónico se basó con el método del acetato de amonio  $C_2H_7(NO_2)$  al 1 N a pH 7 (Vallejo et al., 2016). Primeramente, se colocó la muestra al horno a una temperatura de 105 °C durante 24 horas, teniendo la muestra seca se lo tamizó hasta obtener una muestra reducida y se pesó 5 gramos de suelo. En segundo lugar, se depositó las muestras en distintos *beakers* de 400 mililitros, se añadió 30 mililitros de acetato de amonio  $C_2H_7(NO_2)$  al 1 N a pH 7. Luego se agitó durante 30 minutos las soluciones con suelo en el agitador magnético. Se colocó en los matraces de *erlenmeyer* de 250 mililitros con papel filtro, pasado los 30 minutos se centró al vacío las soluciones de suelo. Después, del filtrado se lavó los *beakers* con dos porciones de 5 mililitros de acetato de amonio  $C_2H_7(NO_2)$ , se añadió nuevamente al papel filtro. A continuación, se lavó el

exceso de amonio con 50 mililitros de alcohol etílico al 96% distribuidas en cinco porciones de 10 mililitros en cada una de las muestras y se añadió otra vez al papel filtro. Se eliminó los filtrados lo cual se lavó los matraces *erlenmeyer* con agua destilada. Los papeles filtros con las muestras de suelos se los lavó con 50 mililitros de cloruro de sodio (NaCl) agregadas en cinco porciones de 10 mililitros en cada una de las muestras, además se agregó a los filtrados 10 mililitros de formol para su neutralización. Se llevó las nuevas soluciones al agitador magnético la cual se preparó las buretas con hidróxido de sodio al 1 N para su respectiva titulación. Por último, se agregó 5 gotas de fenolftaleína en las soluciones y con el agitador encendido se tituló las soluciones filtradas con hidróxido de sodio (NaOH) donde se registró el volumen inicial en las buretas, hasta que apareció el color rosado pálido lacio y se registró el volumen gastado del hidróxido de sodio (NaOH). Finalmente, se preparó un blanco con 50 mililitros de cloruro de sodio (NaCl) al 10% con 10 mililitros de formol al 37%. Luego se llevó el blanco al agitador magnético y se le agregó 5 gotas de fenolftaleína. Después se le agregó a la bureta hidróxido de sodio (NaOH) al 1 N y se tituló hasta que se notó el color rosado pálido lacio, así mismo se anotó el volumen gastado del compuesto. Para la obtención de los cálculos se utilizó la siguiente fórmula (Vallejo et al., 2016).

$$CIC \left( \frac{meq}{100g} \right) = \frac{(Vgm (NaOH) - Vgb(NaOH)) \times N \times 100}{P_m}$$

Donde:

**CIC** = Capacidad de intercambio catiónico.

**Vgm** = Volumen de hidróxido de sodio (NaOH) en el filtrado de la muestra.

**Vgb** = Volumen del hidróxido de sodio (NaOH) gastando en el filtro del blanco.

**N** = Normalidad de hidróxido de sodio (NaOH).

**Pm** = Peso de la muestra de suelo

Además, los resultados obtenidos se relacionaron con la tabla 4-2.

**Tabla 4-2:** Capacidad de intercambio catiónico

Nivel	CIC meq/100g	Valoración
Muy bajo	0-10	Suelo sumamente pobre
Bajo	10-20	Suelo pobre
Medio	20-35	Suelos medio
Medio-alto	35-45	Suelo rico
Alto	Mayor a 45	Suelo sumamente rico

Fuente: González, 2015.

## - pH

Se etiquetó las muestras con los nombres de P1 YC y P2 SM. Luego se pesó 100 gramos de cada suelo en la balanza analítica, luego se agregó 100 mililitros de agua destilada en la probeta graduada. Después se pasó la solución a los vasos precipitados de 250 mililitros y se agitó con una bagueta hasta obtener una mezcla homogénea. Por último, se calibró el pH metro con las disoluciones amortiguadoras *Buffer* pH 4 y pH 7 y se midió el pH de las muestras. Los resultados obtenidos se relacionaron con la tabla 5-2.

**Tabla 5-2:** Reacción acidez a alcalinidad

<b>pH</b>	<b>Rango</b>
Muy fuertemente Ácido	Menor a 4.5
Fuertemente Ácido	4.6 a 5.5
Medianamente Ácido	5.6 a 6
Ligeramente Ácido	6.1 a 6.5
Neutro	6.6 a 7.3
Ligeramente Alcalino	7.4 a 7.8
Moderadamente alcalino	7.9 a 8.4
Fuertemente Alcalino	8.5 a 9
Muy fuertemente Alcalino	Mayor a 9.1

**Fuente:** Acuerdo Ministerial, 2019, p. 31.

## - Materia orgánica

Se realizó por el método de pérdida por ignición (LOI) (Barrezueta et al., 2020, p.28), primeramente se etiquetó y se tamizó los dos suelos hasta que queden en muestras reducidas, luego se tomó el peso inicial de las dos muestras frescas en la balanza analítica a una cantidad de 100 gramos por muestra. Después se etiquetó y se llevó al horno a 105 °C por tres horas hasta obtener una masa constante, se dejó enfriar y se tomó nuevamente el peso. Por último, se tomó 20 gramos de la muestra seca y se pasó por la mufla a una temperatura constante de 350 °C durante seis horas, se dejó enfriar y se pesó siendo el peso final de la muestra. Para obtención de los cálculos de la pérdida de peso por ignición se utilizó la siguiente fórmula (Barrezueta et al., 2020, p.29).

$$\% \text{ LOI} = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

Donde:

% **LOI** = Pérdida por ignición.

**P1** = Peso de la muestra en seco.

**P2** = Peso de la muestra después de la ignición.

### 2.1.2. *Investigación documental*

En la segunda sección se lo realizó de manera cualitativa lo cual para poder definir y detallar cada uno de los componentes, se llevó a cabo una revisión bibliográfica de fuentes primarias y secundarias. En el proceso de búsqueda se consideró las normativas que estuvieron publicados a partir del año 2015 al 2021, lo cual se obtuvo mayor información actualizada. Además, se utilizó la base de datos como *SciELO*, *ResearchGate*, *Google académico* entre otras fuentes. En la búsqueda se tomó en cuenta desde títulos, tablas y palabras claves, la cual se obtuvieron varios documentos relacionados al tema. Finalmente, la norma que se utilizó y aplicó fue el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos de Normativa, REFORMA LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE (TULSMA) del Anexo-2 edición especial año III N° 387 del registro oficial del día miércoles 04 de noviembre de 2015 actualizado, lo cual se usó la Tabla 1 sobre la calidad del suelo y la Tabla 2 para los criterios de remediación del suelo, se tomó en cuenta sus (valores máximos permisibles). Para el análisis de los resultados de la calidad del suelo se tomó como referencia la tablas 6-2 que se muestra a continuación.

**Tabla 6-2:** Criterios de Calidad del suelo (Valores Máximos Permisibles)

Parámetros	Unidad	Valor
<b>Parámetros Generales</b>		
Conductividad eléctrica	uS/cm	200
pH	-	6 a 8
Relación de adsorción de Sodio (Índice SAR)	-	4*
<b>Parámetros inorgánicos</b>		
Arsénico	mg/kg	12
Azufre (elemental)	mg/kg	250
Bario	mg/kg	200
Boro (soluble en agua caliente)	mg/kg	1
Cadmio	mg/kg	0.5
Cobalto	mg/kg	10
Cobre	mg/kg	25

Cromo Total	mg/kg	54
Cromo VI	mg/kg	0.4
Cianuro	mg/kg	0.9
Estaño	mg/kg	5
Fluoruros	mg/kg	200
Mercurio	mg/kg	0.1
Molibdeno	mg/kg	5
Níquel	mg/kg	19
Plomo	mg/kg	19
Selenio	mg/kg	1
Vanadio	mg/kg	76
Zinc	mg/kg	60
<b>Parámetros orgánicos</b>		
Benceno	mg/kg	0.03
Clorobenceno	mg/kg	0.1
Etilbenceno	mg/kg	0.1
Estireno	mg/kg	0.1
Tolueno	mg/kg	0.1
Xileno	mg/kg	0.1
PCBs	mg/kg	0.1
Clorinados Alifáticos (cada tipo)	mg/kg	0.1
Clorobencenos (cada tipo)	mg/kg	0.05
Hexaclorobenceno	mg/kg	0.05
Hexaclorociclohexano	mg/kg	0.01
Fenólicos no clorinados (cada tipo)	mg/kg	0.1
Clorofenoles (cada tipo)	mg/kg	0.05
Hidrocarburos Totales (TPH)	mg/kg	<150
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's) cada tipo	mg/kg	0.1

**Fuente:** Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015, pp. 34-35 .

Para el análisis de los resultados de la remediación del suelo se tomó como referencia la tablas 7-2 que se muestra a continuación.

**Tabla 7-2:** Criterios de Remediación (Valores Máximos Permisibles)

Parámetros	Unidad	USO DEL SUELO			
		Residencia	Comercial	Industrial	Agrícola
<b>Parámetros Generales</b>					
Conductividad eléctrica	uS/cm	200	400	400	200
pH	-	6 a 8	6 a 8	6 a 8	6 a 8
Relación de adsorción de Sodio (Índice SAR)	-	5	12	12	5
<b>Parámetros inorgánicos</b>					
Arsénico	mg/kg	12	12	12	12
Sulfuro	mg/kg	-	-	-	500
Bario	mg/kg	500	2000	2000	750
Boro (soluble en agua caliente)	mg/kg	-	-	-	2
Cadmio	mg/kg	4	10	10	2
Cobalto	mg/kg	50	300	300	40
Cobre	mg/kg	63	91	91	63
Cromo Total	mg/kg	64	87	87	65
Cromo VI	mg/kg	0.4	1.4	1.4	0.4
Cianuro	mg/kg	0.9	8	8	0.9
Estaño	mg/kg	50	300	300	5
Fluoruros	mg/kg	400	2000	2000	200
Mercurio	mg/kg	1	10	10	0.8
Molibdeno	mg/kg	5	40	40	40
Níquel	mg/kg	100	100	50	50
Plomo	mg/kg	140	150	150	60
Selenio	mg/kg	5	10	10	2
Talio	mg/kg	1	1	1	1
Vanadio	mg/kg	130	130	130	130
Zinc	mg/kg	200	380	360	200
<b>Parámetros orgánicos</b>					
Aceites y grasas	mg/kg	500	<2500	<4000	<4000
Benceno	mg/kg	0.08	5	5	0.03
Etilbenceno	mg/kg	0.1	20	20	0.1
Estireno	mg/kg	5	50	50	0.1
Tolueno	mg/kg	0.37	0.8	0.8	0.08
Xileno	mg/kg	2.4	11	20	0.1
PCBs	mg/kg	1.3	33	33	0.5
Clorofenoles (cada tipo)	mg/kg	0.5	5	5	0.05
Fenoles (total)	mg/kg	3.8	3.8	5	3.8
Clorinados alifáticos (cada tipo)	mg/kg	5	50	50	0.1
Hidrocarburos totales (TPH)	mg/kg	230	620	620	150

Clorobencenos (cada tipo)	mg/kg	2	10	10	0.05
Tetracloroetilenos	mg/kg	0.2	0.5	0.6	0.1
Tricloroetileno	mg/kg	3	30	30	0.1
Atrazina	mg/kg	0.005	0.005	0.005	0.005
Carbofuran	mg/kg	0.01	0.01	0.01	0.01
Alifáticos no clorinados (cada tipo)	mg/kg	-	-	-	0.3
<b>Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs)</b>					
Antraceno	mg/kg	-	-	100	0.1
Benzo (a) antraceno	mg/kg	1	1	10	0.1
Benzo (a) pireno	mg/kg	0.7	10	0.7	0.1
Benzo (b) fluoranteno	mg/kg	1	0.7	10	0.1
Benzo (k) fluoranteno	mg/kg	1	10	10	0.1
Dibenzo (a, h) antraceno	mg/kg	1	10	10	0.1
Indeno (1,2,3-cd) pireno	mg/kg	1	10	10	0.1
Fluoranteno	mg/kg	-	10	100	0.1
Naftaleno	mg/kg	0.6	-	22	0.1
Pireno	mg/kg	10	10	100	0.1
Criseno	mg/kg	-	-	100	0.1
Fenantreno	mg/kg	5	50	50	0.1
<b>Pesticidas dos</b>					
Alfa BCH	mg/kg	0.01	0.01	0.01	0.01
Beta BCH	mg/kg	0.01	0.01	0.01	0.01
*Gamma BCH	mg/kg	0.01	0.01	0.01	0.01
Delta BCH	mg/kg	0.01	0.01	0.01	NA
Heptacloro	mg/kg	0.01	0.01	0.01	0.01
Aldrin	mg/kg	0.1	0.1	0.1	0.1
Heptacloro epóxido isómero B	mg/kg	0.1	0.01	1	0.01
Endosulfan I	mg/kg	0.1	0.1	0.1	0.1
4,4 DDE	mg/kg	0.1	0.1	0.1	0.1
4,4 DDD	mg/kg	0.1	0.1	0.1	0.1
4,4 DDT	mg/kg	0.1	0.1	0.1	0.1
Dieldrin	mg/kg	0.1	0.1	0.1	0.1
Endrin	mg/kg	0.01	0.01	0.01	0.01
Endosulfan II	mg/kg	0.1	0.1	0.1	0.1
Endrin aldehído	mg/kg	0.01	0.01	0.01	0.01
Endosulfan sulfato	mg/kg	0.1	0.1	0.1	0.1

Fuente: Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015, pp. 35-36

Tanto en la tabla 6-2 y 7-2 solo se evaluó los siguientes parámetros: Conductividad eléctrica, bario

(Ba), cadmio (Cd), níquel (Ni), plomo (Pb), hidrocarburos totales (TPH), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's) y el potencial de hidrogeno (pH).

Los demás parámetros no se evaluaron porque no eran necesarios, dado a que, la misma comunidad realizó análisis de todos los parámetros y el suelo estaba contaminado por los elementos descritos en el párrafo anterior, de hecho, proporcionaron esta información siendo datos muy específicos e importes para la investigación.

### 2.1.3. Método de remediación

En la tercera sección se realizó el proceso de *bioventing* para la remediación del suelo, este proceso consistió en enviar aire a presión con el objetivo de descomponer los hidrocarburos de forma aerobia. Por lo tanto, el tratamiento se ejecutó en dos calicatas, en cada calicata se elaboró dos hoyos con una profundidad de 1,2 metros y una distancia de 50 centímetro de cada calicata. Luego se midió y cortó dos tubos PVC de 3 pulgadas con una medida de 1,2 metros. Posterior a eso se perforó los dos tubos en todo su interior con un taladro a una distancia de 15 centímetros seguidos e intercalado 7.5 centímetros por agujero. Finalmente se colocó los tubos en cada calicata y cubrió con un tapón.

Para comenzar el método de *bioventing* según Plata (2012, p. 19) se debe de inyectar aire a presión entre 3,0 a 3,5 libras de oxígeno por cada libra de hidrocarburo presente en el sedimento, siendo muy importante para el proceso de biodegradación. Por lo tanto, se tomó como referencia 3, 5 libras de oxígeno por cada libra de hidrocarburo presente en el sedimento, donde solo se analizó los hidrocarburos totales y los 6 elementos de los hidrocarburos aromáticos policíclicos como (Flouranteno, fluoranteno benzo (b) y (k), benzo (a) pireno, benzo (g, h, i) Pirileno, indeno1,2,3 c-d pireno). Se sumó en total siete hidrocarburos, lo cual se multiplicó por dos libras de muestras sacadas y por los 3.5 libras de oxígeno que deben de ingresar al suelo, es decir:

$$O_T = H_T \times L_m \times L_o$$

Donde:

**O<sub>T</sub>** = Oxígeno total de ingreso.

**H<sub>T</sub>** = Hidrocarburos totales en la muestra.

**L<sub>m</sub>** = Libra de la muestra sacada.

**L<sub>o</sub>** = Libra de oxígeno constante.

Se reemplazó en la siguiente fórmula:

$$O_T = 7 \times 2 \times 3.5 = 49 \text{ libras de oxígeno/cm}^2$$

Después se calculó los minutos en que tarda en llenarse el compresor con oxígeno para liberar 49 libras de oxígeno en el suelo. El compresor se simboliza en kg/cm<sup>2</sup> y llena hasta 120 kg de aire.

**Tabla 8-2:** Tiempo que tarda en llenarse el compresor

Tiempo			
2 kg/cm <sup>2</sup>	4 kg/cm <sup>2</sup>	6 kg/cm <sup>2</sup>	8 kg/cm <sup>2</sup>
21 seg	29 seg	38 seg	1 min y 06 seg
30 kg/cm <sup>2</sup>	60 kg/cm <sup>2</sup>	90 kg/cm <sup>2</sup>	120 kg/cm <sup>2</sup>
21 seg	31 seg	45 seg	1 min y 58 seg

Realizado por: Espinoza, Kerly, 2022.

De acuerdo con la tabla 8-2 se debe de tener las mismas unidades, lo cual se convirtió las libras de oxígenos a kilogramos/ centímetro cuadrado.

$$49 \cancel{\text{lb}}_{\text{oxig}} \times \frac{0.453592 \text{ kg}}{1 \cancel{\text{lb}}} = 22.226 \text{ kg/cm}^2$$

Son 22.23 kg /cm<sup>2</sup> que se ingresó de oxígeno a la superficie del suelo. Por otro lado, en el tratamiento se consideró el tiempo en que demora en salir el aire a la superficie del suelo, lo cual se refleja en la tabla 9-2.

### 2.1.3.1. División de las unidades experimentales

Tratamientos: T1, T2

Repeticiones: 1, 2, 3, 4, 5

**Tabla 9-2:** Tiempo que demora en ingresar el aire a la superficie del suelo

T1	Hora	Tiempo	T2	Hora	Tiempo
1	4:00 pm	1 min y 01 seg	1	2:00 pm	1 min y 05 seg
		1 min y 03 seg			1 min y 04 seg
	5:00 pm	1 min y 01 seg		1:00 pm	1 min y 02 seg
		1 min y 0 5 seg			1 min y 05 seg

2	6:00 pm	1 min y 03 seg	2	2:00 pm	1 min y 04 seg
		1 min y 04 seg			1 min y 03 seg
1	10:00 am	1 min y 04 seg	1	9:00 am	1 min y 05 seg
		1 min y 04 seg			1 min y 05 seg
1	11:00 am	1 min y 17 seg	1	10:00 am	1 min y 06 seg
		1 min y 17 seg			1 min y 06 seg
1	11:00 am	1 min y 21 seg	1	12:00 pm	1 min y 10 seg
		1 min y 17 seg			1 min y 10 seg
2	7:00 am	1 min y 03 seg	2	1:00 pm	1 min y 01 seg
		1 min y 04 seg			1 min y 01 seg
	8:00 am	1 min y 05 seg		2:00 pm	1 min y 03 seg
		1 min y 04 seg			1 min y 03 seg
2	7:00 am	1 min y 05 seg	2	9:00 am	1 min y 04 seg
		1 min y 05 seg			1 min y 03 seg
	8:00 am	1 min y 01 seg		10:00 am	1 min y 02 seg
		1 min y 06 seg			1 min y 05 seg
3	9:00 am	1 min y 30 seg	3	11:00 am	1 min y 15 seg
		1 min y 33 seg			1 min y 45 seg
	1:00 pm	1 min y 49 seg		12:00 pm	1 min y 30 seg
		1 min y 47 seg			1 min y 49 seg
	2:00 pm	1 min y 45 seg		3:00 pm	1 min y 30 seg
		1 min y 43 seg			1 min y 35 seg
2	7:00 am	1 min y 04 seg	2	9:00 am	1 min y 02 seg
		1 min y 11 seg			1 min y 03 seg
	8:00 am	1 min y 12 seg		10:00 am	1 min y 05 seg
		1 min y 09 seg			1 min y 04 seg
3	8:00 am	1 min y 04 seg	3	9:00 am	1 min y 06 seg
		1 min y 05 seg			1 min y 07 seg
	11:00 am	1 min y 05 seg		10:00 am	1 min y 02 seg
		1 min y 06 seg			1 min y 03 seg
	1:00 pm	1 min y 10 seg		12:00 pm	1 min y 08 seg
		1 min y 09 seg			1 min y 09 seg
2	10:00 am	1 min y 12 seg	2	9:00 am	1 min y 11 seg
		1 min y 09 seg			1 min y 12 seg
	12:00 pm	1 min y 20 seg		11:00 am	1 min y 06 seg
		1 min y 30 seg			1 min y 09 seg
3	8:00 am	1 min y 04 seg	3	9:00 am	1 min y 05 seg
		1 min y 03 seg			1 min y 08 seg
	10:00 am	1 min y 01 seg		11:00 am	1 min y 03 seg
		1 min y 01 seg			1 min y 03 seg

	12:00 pm	1 min y 03 seg		1:00 pm	1 min y 02 seg
		1 min y 03 seg			1 min y 02 seg
5	11:00 am	1 min y 05 seg	5	12:00 pm	1 min y 08 seg
		1 min y 05 seg			1 min y 08 seg
	1:00 pm	1 min y 08 seg		2:00 pm	1 min y 09 seg
		1 min y 09 seg			1 min y 07 seg
	3:00 pm	1 min y 05 seg		4:00 pm	1 min y 01 seg
		1 min y 08 seg			1 min y 08 seg
5:00 pm	1 min y 06 seg	6:00 pm	1 min y 13 seg		
	1 min y 07 seg		1 min y 14 seg		
3	8:00 am	1 min y 13 seg	3	9:00 am	1 min y 15 seg
		1 min y 15 seg			1 min y 18 seg
	10:00 am	1 min y 18 seg		11:00 am	1 min y 16 seg
		1 min y 16 seg			1 min y 14 seg
	12:00 pm	1 min y 08 seg		1:00 pm	1 min y 10 seg
		1 min y 08 seg			1 min y 11 seg
5	8:00 am	1 min y 14 seg	5	9:00 am	1 min y 03 seg
		1 min y 05 seg			1 min y 07 seg
	10:00 am	1 min y 06 seg		11:00 am	1 min y 04 seg
		1 min y 10 seg			1 min y 02 seg
	12:00 pm	1 min y 07 seg		1:00 pm	1 min y 04 seg
		1 min y 15 seg			1 min y 02 seg
2:00 pm	1 min y 05 seg	3:00 pm	1 min y 05 seg		
	1 min y 07 seg		1 min y 05 seg		
5:00 pm	1 min y 05 seg	4:00 pm	1 min y 04 seg		
	1 min y 08 seg		1 min y 04 seg		
5	7:00 am	1 min y 06 seg	5	8:00 am	1 min y 03 seg
		1 min y 03 seg			1 min y 04 seg
	9:00 am	1 min y 03 seg		10:00 am	1 min y 04 seg
		1 min y 03 seg			1 min y 03 seg
	11:00 am	1 min y 02 seg		12:00 pm	1 min y 03 seg
		1 min y 03 seg			1 min y 05 seg
1:00 pm	1 min y 05 seg	2:00 pm	1 min y 06 seg		
	1 min y 04 seg		1 min y 05 seg		
3:00 pm	1 min y 04 seg	4:00 pm	1 min y 06 seg		
	1 min y 06 seg		1 min y 03 seg		
	7:00 am	1 min y 06 seg		8:00 am	1 min y 03 seg
		1 min y 05 seg			1 min y 08 seg
	9:00 am	1 min y 06 seg		10:00 am	1 min y 05 seg
		1 min y 07 seg			1 min y 06 seg

4	11:00 am	1 min y 05 seg	4	12:00 pm	1 min y 07 seg
		1 min y 04 seg			1 min y 10 seg
	1:00 pm	1 min y 05 seg		2:00 pm	1 min y 09 seg
		1 min y 08 seg			1 min y 08 seg
5	7:00 am	1 min y 18 seg	5	8:00 am	1 min y 07 seg
		1 min y 08 seg			1 min y 11 seg
	9:00 am	1 min y 10 seg		10:00 am	1 min y 13 seg
		1 min y 03 seg			1 min y 15 seg
	11:00 am	1 min y 13 seg		12:00 pm	1 min y 17 seg
		1 min y 14 seg			1 min y 16 seg
	1:00 pm	1 min y 08 seg		2:00 pm	1 min y 18 seg
		1 min y 09 seg			1 min y 24 seg
4:00 pm	1 min y 20 seg	3:00 pm	1 min y 17 seg		
	1 min y 22 seg		1 min y 15 seg		
5	7:00 am	1 min y 05 seg	5	8:00 am	1 min y 06 seg
		1 min y 03 seg			1 min y 05 seg
	9:00 am	1 min y 06 seg		10:00 am	1 min y 08 seg
		1 min y 07 seg			1 min y 06 seg
	11:00 am	1 min y 10 seg		12:00 pm	1 min y 03 seg
		1 min y 06 seg			1 min y 08 seg
	1:00 pm	1 min y 07 seg		2:00 pm	1 min y 10 seg
		1 min y 05 seg			1 min y 04 seg
3:00 pm	1 min y 05 seg	4:00 pm	1 min y 05 seg		
	1 min y 04 seg		1 min y 07 seg		
5	7:00 am	1 min y 05 seg	5	8:00 am	1 min y 06 seg
		1 min y 07 seg			1 min y 05 seg
	9:00 am	1 min y 05 seg		10:00 am	1 min y 06 seg
		1 min y 06 seg			1 min y 03 seg
	11:00 am	1 min y 08 seg		12:00 pm	1 min y 05 seg
		1 min y 06 seg			1 min y 07 seg
	1:00 pm	1 min y 10 seg		2:00 pm	1 min y 06 seg
		1 min y 05 seg			1 min y 07 seg
3:00 pm	1 min y 07 seg	4:00 pm	1 min y 03 seg		
	1 min y 05 seg		1 min y 10 seg		
5	7:00 am	1 min y 10 seg	5	8:00 am	1 min y 08 seg
		1 min y 08 seg			1 min y 10 seg
	9:00 am	1 min y 06 seg		10:00 am	1 min y 05 seg
		1 min y 07 seg			1 min y 06 seg
	11:00 am	1 min y 03 seg		12:00 pm	1 min y 07 seg
		1 min y 08 seg			1 min y 04 seg

	1:00 pm	1 min y 07 seg		2:00 pm	1 min y 11 seg
		1 min y 05 seg			1 min y 03 seg
	3:00 pm	1 min y 09 seg		4:00 pm	1 min y 07 seg
		1 min y 06 seg			1 min y 08 seg
3	7:00 am	1 min y 10 seg	3	8:00 am	1 min y 06 seg
		1 min y 06 seg			1 min y 05 seg
	9:00 am	1 min y 07 seg		10:00 am	1 min y 07 seg
		1 min y 08 seg			1 min y 03 seg
	11:00 am	1 min y 05 seg		12:00 pm	1 min y 05 seg
		1 min y 08 seg			1 min y 06 seg
2	7:00 am	1 min y 06 seg	2	8:00 am	1 min y 06 seg
		1 min y 07 seg			1 min y 07 seg
	11:00 am	1 min y 08 seg		12:00 pm	1 min y 05 seg
		1 min y 06 seg			1 min y 08 seg
4	8:00 am	1 min y 09 seg	4	9:00 am	1 min y 05 seg
		1 min y 06 seg			1 min y 08 seg
	10:00 am	1 min y 02 seg		11:00 am	1 min y 02 seg
		1 min y 01 seg			1 min y 03 seg
	12:00 pm	1 min y 02 seg		1:00 pm	1 min y 02 seg
		1 min y 01 seg			1 min y 02 seg
	2:00 pm	1 min y 03 seg		3:00 pm	1 min y 03 seg
		1 min y 02 seg			1 min y 02 seg
3	8:00 am	1 min y 02 seg	3	9:00 am	1 min y 03 seg
		1 min y 01 seg			1 min y 01 seg
	10:00 am	1 min y 03 seg		11:00 am	1 min y 02 seg
		1 min y 03 seg			1 min y 03 seg
	12:00 pm	1 min y 02 seg		1:00 pm	1 min y 02 seg
		1 min y 03 seg			1 min y 03 seg
5	7:00 am	1 min y 07 seg	5	8:00 am	1 min y 07 seg
		1 min y 06 seg			1 min y 05 seg
	9:00 am	1 min y 08 seg		10:00 am	1 min y 08 seg
		1 min y 04 seg			1 min y 04 seg
	11:00 am	1 min y 07 seg		12:00 pm	1 min y 06 seg
		1 min y 09 seg			1 min y 07 seg
	1:00 pm	1 min y 04 seg		2:00 pm	1 min y 05 seg
		1 min y 07 seg			1 min y 06 seg
	3:00 pm	1 min y 06 seg		4:00 pm	1 min y 05 seg
		1 min y 05 seg			1 min y 06 seg
9:00 am	1 min y 07 seg	10:00 am	1 min y 07 seg		
	1 min y 08 seg		1 min y 06 seg		

3	11:00 am	1 min y 06 seg	3	12:00 pm	1 min y 07 seg
		1 min y 05 seg			1 min y 06 seg
	1:00 pm	1 min y 07 seg		2:00 pm	1 min y 05 seg
		1 min y 09 seg			1 min y 05 seg
3	7:00 am	1 min y 08 seg	3	8:00 am	1 min y 10 seg
		1 min y 10 seg			1 min y 05 seg
	9:00 am	1 min y 08 seg		10:00 am	1 min y 08 seg
		1 min y 07 seg			1 min y 10 seg
	11:00 am	1 min y 09 seg		12:00 pm	1 min y 05 seg
		1 min y 06 seg			1 min y 06 seg
2	7:00 am	1 min y 07 seg	2	8:00 am	1 min y 06 seg
		1 min y 08 seg			1 min y 07 seg
	9:00 am	1 min y 06 seg		10:00 am	1 min y 05 seg
		1 min y 09 seg			1 min y 08 seg
3	9:00 am	1 min y 10 seg	3	10:00 am	1 min y 09 seg
		1 min y 06 seg			1 min y 08 seg
	11:00 am	1 min y 05 seg		12:00 pm	1 min y 09 seg
		1 min y 07 seg			1 min y 07 seg
	1:00 pm	1 min y 08 seg		2:00 pm	1 min y 08 seg
		1 min y 05 seg			1 min y 07 seg
3	7:00 am	1 min y 10 seg	3	8:00 am	1 min y 07 seg
		1 min y 08 seg			1 min y 06 seg
	9:00 am	1 min y 11 seg		10:00 am	1 min y 05 seg
		1 min y 10 seg			1 min y 08 seg
	11:00 am	1 min y 09 seg		12:00 pm	1 min y 07 seg
		1 min y 10 seg			1 min y 06 seg
3	10:00 am	1 min y 08 seg	3	11:00 am	1 min y 04 seg
		1 min y 07 seg			1 min y 08 seg
	12:00 pm	1 min y 09 seg		1:00 pm	1 min y 05 seg
		1 min y 05 seg			1 min y 09 seg
	2:00 pm	1 min y 04 seg		3:00 pm	1 min y 05 seg
		1 min y 05 seg			1 min y 05 seg

Realizado por: Espinoza, Kerly, 2022.

Para tener un mejor enfoque de la tabla 9-2 se realizó la misma tabla con el número 10-2 pero más detallada. Por lo cual, se desarrolló la simplificación de los tiempos, es decir, como son dos repeticiones por tiempo, se dividieron las dos repeticiones por dos. Por lo tanto, se quedó solo con una repetición y el análisis se lo realizó en *software Minitab 18* el *Anova*, para su respectiva comprobación según la hipótesis.

**Tabla 10-2:** Tiempo que demora en ingresar el aire a la superficie del suelo (ts)

<b>T1</b>	<b>Hora</b>	<b>Tiempo</b>	<b>T2</b>	<b>Hora</b>	<b>Tiempo</b>
1	2:00 pm	65 seg	1	4:00 pm	62 seg
2	5:00 pm	63 seg	2	1:00 pm	64 seg
	6:00 pm	64 seg		2:00 pm	64 seg
1	10:00 am	64 seg	1	9:00 am	65 seg
1	11:00 am	77 seg	1	10:00 am	66 seg
1	11:00 am	79 seg	1	12:00 pm	70 seg
2	7:00 am	64 seg	2	1:00 pm	61 seg
	8:00 am	65 seg		2:00 pm	63 seg
2	7:00 am	65 seg	2	9:00 am	64 seg
	8:00 am	64 seg		10:00 am	64 seg
3	9:00 am	92 seg	3	11:00 am	90 seg
	1:00 pm	108 seg		12:00 pm	100 seg
	2:00 pm	104 seg		3:00 pm	93 seg
2	7:00 am	68 seg	2	9:00 am	63 seg
	8:00 am	71 seg		10:00 am	65 seg
3	8:00 am	65 seg	3	9:00 am	67 seg
	11:00 am	66 seg		10:00 am	63 seg
	1:00 pm	70 seg		12:00 pm	69 seg
2	9:00 am	71 seg	2	10:00 am	72 seg
	12:00 pm	85 seg		11:00 am	68 seg
3	8:00 am	64 seg	3	9:00 am	67 seg
	10:00 am	61 seg		11:00 am	63 seg
	12:00 pm	63 seg		1:00 pm	62 seg
4	11:00 am	65 seg	4	12:00 pm	68 seg
	1:00 pm	69 seg		2:00 pm	68 seg
	3:00 pm	67 seg		4:00 pm	65 seg
	5:00 pm	67 seg		6:00 pm	74 seg
3	8:00 am	74 seg	3	9:00 am	77 seg
	10:00 am	77 seg		11:00 am	75 seg
	12:00 pm	68 seg		1:00 pm	71 seg
5	8:00 am	70 seg	5	9:00 am	65 seg
	10:00 am	68 seg		11:00 am	63 seg
	12:00 pm	71 seg		1:00 pm	63 seg
	2:00 pm	66 seg		3:00 pm	65 seg
	5:00 pm	67 seg		4:00 pm	64 seg
5	7:00 am	65 seg	5	8:00 am	64 seg
	9:00 am	63 seg		10:00 am	64 seg
	11:00 am	63 seg		12:00 pm	64 seg

	1:00 pm	65 seg		2:00 pm	66 seg
	3:00 pm	65 seg		4:00 pm	65 seg
4	7:00 am	66 seg	4	8:00 am	66 seg
	9:00 am	67 seg		10:00 am	66 seg
	11:00 am	65 seg		12:00 pm	69 seg
	1:00 pm	67 seg		2:00 pm	69 seg
5	7:00 am	73 seg	5	8:00 am	69 seg
	9:00 am	67 seg		10:00 am	74 seg
	11:00 am	74seg		12:00 pm	77 seg
	1:00 pm	69 seg		2:00 pm	81 seg
	4:00 pm	81 seg		3:00 pm	76 seg
5	7:00 am	64 seg	5	8:00 am	66 seg
	9:00 am	67 seg		10:00 am	67 seg
	11:00 am	68 seg		12:00 pm	66 seg
	1:00 pm	66 seg		2:00 pm	67 seg
	3:00 pm	65 seg		4:00 pm	66 seg
5	7:00 am	66 seg	5	8:00 am	66 seg
	9:00 am	66 seg		10:00 am	65 seg
	11:00 am	67 seg		12:00 pm	66 seg
	1:00 pm	68 seg		2:00 pm	67 seg
	3:00 pm	66 seg		4:00 pm	67 seg
5	7:00 am	69 seg	5	8:00 am	69 seg
	9:00 am	67 seg		10:00 am	66 seg
	11:00 am	66 seg		12:00 pm	66 seg
	1:00 pm	66 seg		2:00 pm	67 seg
	3:00 pm	68 seg		4:00 pm	68 seg
3	7:00 am	68 seg	3	8:00 am	66 seg
	9:00 am	68 seg		10:00 am	65 seg
	11:00 am	67 seg		12:00 pm	66 seg
2	7:00 am	67 seg	2	8:00 am	67 seg
	11:00 am	67 seg		12:00 pm	67 seg
4	8:00 am	68 seg	4	9:00 am	67 seg
	10:00 am	62 seg		11:00 am	63 seg
	12:00 pm	62 seg		1:00 pm	62 seg
	2:00 pm	63 seg		3:00 pm	63 seg
3	8:00 am	62 seg	3	9:00 am	62 seg
	10:00 am	63 seg		11:00 am	63 seg
	12:00 pm	63 seg		1:00 pm	63 seg
	7:00 am	67 seg		8:00 am	66 seg
	9:00 am	66 seg		10:00 am	66 seg

5	11:00 am	68 seg	5	12:00 pm	67 seg
	1:00 pm	66 seg		2:00 pm	66 seg
	3:00 pm	66 seg		4:00 pm	67 seg
3	9:00 am	68 seg	3	10:00 am	67 seg
	11:00 am	66 seg		12:00 pm	67 seg
	1:00 pm	68 seg		2:00 pm	65 seg
3	7:00 am	69 seg	3	8:00 am	68 seg
	9:00 am	68 seg		10:00 am	69 seg
	11:00 am	68 seg		12:00 pm	66 seg
2	7:00 am	68 seg	2	8:00 am	67 seg
	9:00 am	68 seg		10:00 am	67 seg
3	9:00 am	68 seg	3	10:00 am	69 seg
	11:00 am	66 seg		12:00 pm	68 seg
	1:00 pm	67 seg		2:00 pm	68 seg
3	7:00 am	69 seg	3	8:00 am	67 seg
	9:00 am	71 seg		10:00 am	67 seg
	11:00 am	70 seg		12:00 pm	67 seg
3	10:00 am	68 seg	3	11:00 am	66 seg
	12:00 pm	67 seg		1:00 pm	67 seg
	2:00 pm	65 seg		3:00 pm	65 seg

Realizado por: Espinoza, Kerly, 2022.

Finalmente, se aplicó este tratamiento durante un mes, cumpliendo con un tiempo adecuado de uso del método de *bioventing*. Luego se sacó una muestra de dos libras por tratamiento, se envolvió la muestra de suelo con papel aluminio y se colocó en fundas *ziploc* para evitar la volatilización de los contaminantes presentes en el suelo y se trasladó las muestras al laboratorio de Análisis y Evaluación Ambiental (AQLAB) para su respectivo análisis.

#### 2.1.3.2. Análisis Anova

Se realizó el análisis de varianza en el *software Minitab* 18, para determinar si existen similitud entre los dos tratamientos aplicados o cual es el mejor, a fin de aceptar o rechazar la hipótesis según su concepto. Por lo cual, se trabajó con el factor de confianza del 0.05 al 95 %.

### 2.1.3.3. Huella de Carbono

Para la obtención de los resultados de cuanto gas se ha emanado al ambiente y con ello lograr reducir los mismos, se calculó con la siguiente fórmula en general del GEI:

$$\text{Huella de carbono} = \text{Dato de actividad} \times \text{Factor de emisión}$$

Donde:

**Huella de carbono:** Se mide en toneladas de  $CO_2$  equivalente a ( $tCO_{2eq}$ ).

**Datos de actividad:** es un factor propio de la acción que se está estimando y que determina el grado de la acción productora de gases de efecto invernadero (GEI).

**El factor de emisión (FE):** es un factor que mide la porción de GEI emanados por cada cifra del factor “dato de acción” que se estipule.

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

#### 3.1. Análisis de resultados

##### 3.1.1. Caracterización de la calidad del suelo

Los resultados se obtuvieron mediante la comparación de cada uno de los valores descritos en las tablas con relación a los dos suelos de los sectores contaminados y las que se dio un tratamiento. A continuación, se muestran los resultados de los parámetros fisicoquímicos analizados en el laboratorio como son la textura del suelo, color, plasticidad, conductividad eléctrica, salinidad, capacidad de intercambio catiónico, pH y materia orgánica.

- **Parámetros físicos**

- **Textura**

Se determinó la textura de las muestras de los dos suelos, lo cual se comparó con el triángulo textural.

Corrección del hidrómetro:  $(c) = (t \times 0,36) - 7$

#### Muestra N°. 1

$$(c) = (21 \times 0,36) - 7 = 0,56 + 12 = \mathbf{12,56}$$

$$(c) = (22 \times 0,36) - 7 = 0,92 + 19 = \mathbf{19,92}$$

#### Muestra N°. 2

$$(c) = (24 \times 0,36) - 7 = 1,64 + 6 = \mathbf{7,64}$$

$$(c) = (23 \times 0,36) - 7 = 1,28 + 19 = \mathbf{20,28}$$

**Tabla 11-3:** Lectura a los 40 segundos

Lectura a los 40 segundos			
Muestra	Termómetro	Hidrómetro (g/cm <sup>3</sup> )	Hidrómetro corregido (g/cm <sup>3</sup> )
1	21°C	12	12,56
2	24°C	6	7,64

Realizado por: Espinoza, Kerly, 2022.

**Tabla 12-3:** Lectura a las 2 horas

Lectura a las 2 horas			
Muestra	Termómetro	Hidrómetro (g/cm <sup>3</sup> )	Hidrómetro corregido (g/cm <sup>3</sup> )
1	22°C	19	19,92
2	23°C	19	20,28

Realizado por: Espinoza, Kerly, 2022.

Cálculo de la muestra de suelo N°. 1:

$$\% \text{ Arena} = 100 - \frac{12,56 \times 100}{50 \text{ gr}} = 74,88 \%$$

$$\% \text{ Arcilla} = 100 - \frac{19,92 \times 100}{50 \text{ gr}} = 60,16 \%$$

$$\% \text{ Limo} = (74,88 \% + 60,16 \%) - 100 = 35,04 \%$$

Cálculo de la muestra de suelo N°. 2:

$$\% \text{ Arena} = 100 - \frac{7,64 \times 100}{50 \text{ gr}} = 84,72 \%$$

$$\% \text{ Arcilla} = 100 - \frac{20,28 \times 100}{50 \text{ gr}} = 59,44 \%$$

$$\% \text{ Limo} = (84,72 \% + 59,44 \%) - 100 = 44,16 \%$$

**Tabla 13-3:** Resultados del análisis de textura en suelos.

Muestra	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase textural
1	74,88 %	35,04 %	60,16 %	Franco arcillo-arenoso
2	84,72 %	44,16 %	59,44 %	Franco arcillo-arenoso

Realizado por: Espinoza, Kerly, 2022.

La textura de los dos suelos analizados en el laboratorio se ha diferenciado por la variación de los rangos texturales, lo cual las dos muestras son pertenecientes a un tipo de suelo franco arcilloso-arenoso siendo estos suelos muy retenedores de agua y bajos en nutrientes los suelos franco arcilloso-arenoso.

#### - Plasticidad

Los resultados de la plasticidad se obtuvieron de la siguiente fórmula:

Análisis de plasticidad de la muestra se suelo N°. 1

$$LP = \frac{1,75}{5,88} \times 100 = 29,76\% \quad LP = \frac{1,46}{5,26} \times 100 = 27,76\% \quad LP = \frac{1,91}{5,95} \times 100 = 32,10\%$$

Total, del límite de plástico de las tres muestras:

$$LP = \frac{29,76 + 27,76 + 32,10}{3} = 29,87\%$$

Análisis de plasticidad de la muestra se suelo N°. 2

$$LP = \frac{1,88}{6,07} \times 100 = 30,97\% \quad LP = \frac{1,63}{5,31} \times 100 = 30,69\% \quad LP = \frac{1,27}{7,29} \times 100 = 17,42\%$$

Total, del límite de plástico de las tres muestras:

$$LP = \frac{30,97 + 30,69 + 17,42}{3} = 26,36\%$$

**Tabla 14-3:** Resultados del límite de plasticidad.

<b>Muestra 1</b>	<b>Análisis 1</b>	<b>Análisis 2</b>	<b>Análisis 3</b>
Nombre o número de tara	YC 1	YC 2	YC 3
Peso de la tara	12,87	12,66	12,70
Peso del suelo húmedo + tara	20,50	19,38	20,56
Peso del suelo seco + tara	18,75	17,92	18,65
Peso del agua	1,75	1,46	1,91
Peso del suelo seco	5,88	5,26	5,95
Porcentaje de humedad	29,76 %	27,76 %	32,10 %
Porcentaje total de plasticidad	<b>29,87 %</b>		
<b>Muestra 2</b>	<b>Análisis 1</b>	<b>Análisis 2</b>	<b>Análisis 3</b>
Nombre o número de tara	DV 1	DV 2	DV 3
Peso de la tara	12,85	12,64	12,69
Peso del suelo húmedo + tara	20,80	19,58	21,25
Peso del suelo seco + tara	18,92	17,95	19,98
Peso del agua	1,88	1,63	1,27
Peso del suelo seco	6,07	5,31	7,29
Porcentaje de humedad	30,97 %	30,69 %	17,42 %
Porcentaje total de plasticidad	<b>26,36 %</b>		

Realizado por: Espinoza, Kerly, 2022.

Como se pudo apreciar en la tabla 14-3 los límites de plasticidad de cada suelo varían muy poco en porcentajes. Por lo tanto, la primera muestra de suelo obtuvo un límite de plasticidad del 29,87 %. La segunda muestra de suelo tuvo un límite de plasticidad del 26,36 % menor a la primera muestra. Eso quiere decir, que las dos muestras de suelos poseen un límite de plasticidad con una concentración media en arcilla siendo capaces de modificar su consistencia al corte.

#### - Color

El color del suelo se lo identificó con la tabla de *Munsell* obteniendo los siguientes resultados:

En la primera muestra se observó el suelo con un matriz de 7.5YR, con un valor 7 y croma de 2 dando como resultado un color 7.5YR 4/4 (marrón) en suelo seco. Finalmente, en la segunda muestra se observó el suelo con la matriz de 2.5YR, con un valor de 3 y croma de 2 obteniendo un color 2.5YR 3/2 (marrón oscuro) en suelo seco.

- **Parámetros químicos**

#### - Salinidad y Conductividad eléctrica

Los resultados obtenidos se compararon con la tabla 3-2.

**Tabla 15-3:** Resultados de la salinidad y conductividad eléctrica del suelo

Análisis	Conductividad eléctrica uS/m	Temperatura
Muestra 1	30,3 uS/m	31,6 °C
Muestra 2	30,6 uS/m	32,3 °C

Realizado por: Espinoza, Kerly, 2022.

Como se pudo observar existe poca diferencia en cada uno de los suelos estudiados lo cual se tomó como referente para su respectivo análisis la tabla 3-2. Por lo tanto, si la conductividad eléctrica es mayor a 16 los suelos son sumamente salino, es decir, que los dos suelos analizados poseen una concentración demasiado alta en sales solubles al estar en presencia de hidrocarburos de tal forma afectan drásticamente a los suelos.

#### - Capacidad de intercambio catiónico

Los resultados obtenidos de la capacidad de intercambio catiónico se muestran en la siguiente

fórmula:

Análisis de la muestra N°. 1

$$CIC \left( \frac{meq}{100g} \right) = \frac{(5,9 ml - 2 ml) \times 1 \times 100}{5 gr} = 78 \%$$

Análisis de la muestra N°. 2

$$CIC \left( \frac{meq}{100g} \right) = \frac{(5,8 ml - 2 ml) \times 1 \times 100}{5 gr} = 76 \%$$

Se pudo apreciar en los resultados de las dos muestras de suelo que la capacidad de intercambio catiónico es mayor a 45 según la tabla 4-2 tomada como referencia. Por lo tanto, la capacidad de intercambio catiónico es alta, el primer suelo obtuvo el 78 % y en el segundo suelo 76 %, lo cual nos indican que son sumamente ricos en nutrientes y en retención de agua.

#### - pH

En la tabla 16 se puede apreciar los resultados del pH tomando como referencia la tabla 5-2.

**Tabla 16-3:** Resultados del pH de los suelos

Análisis	pH	Interpretación
Muestra 1	5,22	Fuertemente ácido
Muestra 2	6,38	Ligeramente ácido

**Fuente:** Acuerdo Ministerial, 2019, p. 31.

**Realizado por:** Espinoza, Kerly, 2022.

Como se pudo notar los valores de los pH resultantes, tuvieron una variación en presencia del hidrocarburo, por lo que la muestra de suelo uno es fuertemente ácida y la muestra de suelo dos es ligeramente ácida. Es quiere decir que los niveles de pH están en un rango de altos y medios altos, lo cual no es muy factible ni beneficioso para estos suelos.

#### - Materia orgánica

Los resultados obtenidos de la materia orgánica se muestran en la siguiente fórmula:

Análisis de la muestra de suelo N°. 1

$$\% \text{ LOI} = \frac{70,74 \text{ gr} - 18,14 \text{ gr}}{70,74 \text{ gr}} \times 100 = 74,35 \%$$

Análisis de la muestra de suelo N°. 2

$$\% \text{ LOI} = \frac{75,44 \text{ gr} - 19,01 \text{ gr}}{75,44 \text{ gr}} \times 100 = 74,80 \%$$

Como se pudo contemplar en los resultados de la materia orgánica de cada suelo, existe una gran pérdida de acumulación de agua y elementos orgánicos por la incineración. Por lo tanto, la primera muestra de suelo perdió un peso de 74,35%. En cambio, la segunda muestra de suelo perdió un peso promedio de 74,80%. Esto quiere decir, poseen un alto nivel de materia orgánica, siendo estos suelos sumamente fértiles.

### 3.1.2. Identificación de los agentes contaminantes del suelo

Se realizó el respectivo análisis de los parámetros permisibles de cada suelo, con respecto a su calidad para verificar si el suelo posee una alta concentración de agentes contaminantes siendo estos los hidrocarburos. En la tabla 17-3 y 18-3 se muestran los resultados obtenidos a continuación:

#### 3.1.2.1. Criterios de Calidad del suelo

**Tabla 17-3:** Criterios de Calidad del suelo de la muestra 1

Ítems	Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Resultado del análisis
1	Conductividad eléctrica	uS/cm	200	205,7
2	Bario	mg/kg	200	553,3
3	Cadmio	mg/kg	0.5	0,68
4	Níquel	mg/kg	19	45,5
5	Plomo	mg/kg	19	20,8
6	Hidrocarburos Totales (TPH)	mg/kg	<150	300
7	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's)	mg/kg	0.1	0,2
8	Potencial de hidrogeno (pH)	-	6 a 8	5,97

**Fuente:** Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015, pp. 34-35

**Realizado por:** Espinoza, Kerly, 2022.

Como se pudo observar en la tabla 17-3 los resultados de la muestra de suelo uno los parámetros como el bario, cadmio, níquel, plomo, TPH y HAP's presentan concentraciones los cuales superan los límites permisibles establecidos en la norma; asimismo el parámetro potencial de hidrogeno y la conductividad eléctrica incumplen con la normativa ambiental vigente para la calidad del suelo en el Anexo-2 del TULSMA tabla 1.

**Tabla 18-3:** Criterios de Calidad del suelo de la muestra 2

Ítems	Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Resultado del análisis
1	Conductividad eléctrica	uS/cm	200	213,9
2	Bario	mg/kg	200	320,0
3	Cadmio	mg/kg	0.5	0,9
4	Níquel	mg/kg	19	32,4
5	Plomo	mg/kg	19	23,7
6	Hidrocarburos Totales (TPH)	mg/kg	<150	300
7	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's)	mg/kg	0.1	0,2
8	Potencial de hidrogeno (pH)	-	6 a 8	5,99

**Fuente:** Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015, pp. 34-35

**Realizado por:** Espinoza, Kerly, 2022.

Como se puede observar en la tabla 18-3 los resultados de la muestra de suelo uno los parámetros como el bario, cadmio, níquel, plomo, TPH y HAP's presentan concentraciones los cuales superan los límites permisibles establecidos en la norma; asimismo el parámetro potencial de hidrogeno y la conductividad eléctrica incumplen con la normativa ambiental vigente para la calidad del suelo en el Anexo-2 del TULSMA tabla 1.

### 3.1.2.2. Criterios de Remediación del suelo

Se realizó el respectivo análisis de los parámetros permisibles de los dos suelos sometidos al tratamiento del método de *bioventing*, con respecto a su remediación para verificar si el tratamiento ayudo a disminuir o a degradar los agentes contaminantes que estaban en el suelo y volverlos a su estado de normalidad. En la tabla 19-3 y 20-3 se muestran los resultados obtenidos a continuación:

**Tabla 19-3:** Criterios de Remediación de la muestra 1

Ítems	Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Resultado del análisis
1	Conductividad eléctrica	uS/cm	200	13,11
2	Bario	mg/kg	750	220
3	Cadmio	mg/kg	2	<1,17
4	Níquel	mg/kg	50	25,7
5	Plomo	mg/kg	60	<25,0
6	Hidrocarburos Totales (TPH)	mg/kg	150	<1000
7	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's)	mg/kg	0,1	<0,075
8	Potencial de hidrogeno (pH)	-	6 a 8	6,36

**Fuente:** Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015, pp. 35-36

**Realizado por:** Espinoza, Kerly, 2022.

Comparando los resultados de los análisis y tablas anteriores sobre la calidad del suelo y con los resultados recientes sobre la remediación del suelo de la tabla 19-3, se verificó que existe una baja concentración de las sustancias contaminantes. Como resultados se obtuvo que el bario posee una concentración de 220 lo cual está dentro del parámetro permisible, con un rango sumamente bajo. Asimismo, el cadmio, níquel y plomo que al ser metales ayudo a disminuir la alta concentración del contaminante. En cambio, a los TPH y HAP's no los eliminó, pero si los nivelo a un estado de concentración muy baja. Sin embargo, el parámetro permisible del potencial de hidrogeno volvió a su estado de normalidad. Eso quiere decir que el método de *bioventing* influyó mucho en la disminución de cada elemento, incluso los puso en su nivel de normalidad cumpliendo con los límites establecidos en la normativa ambiental vigente para la remediación del suelo en el Anexo 2 del TULSMA tabla 2.

**Tabla 20-3:** Criterios de Remediación de la muestra 2

Ítems	Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Resultado del análisis
1	Conductividad eléctrica	uS/cm	200	15,63
2	Bario	mg/kg	750	245
3	Cadmio	mg/kg	2	<1,17
4	Níquel	mg/kg	50	21,5
5	Plomo	mg/kg	60	<25,0
6	Hidrocarburos Totales (TPH)	mg/kg	150	<1000
7	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's)	mg/kg	0,1	<0,075
8	Potencial de hidrogeno (pH)	-	6 a 8	6,39

**Fuente:** Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015, pp. 35-36

**Realizado por:** Espinoza, Kerly, 2022.

Comparando los resultados de los análisis y tablas anteriores sobre la calidad del suelo y con los resultados recientes sobre la remediación del suelo de la tabla 20-3, se verificó que existe una baja concentración de las sustancias contaminantes. Como resultados se obtuvo que el bario posee una concentración de 245 lo cual está dentro del parámetro permisible. Asimismo, el cadmio, níquel y plomo que al ser metales ayudo a disminuir la alta concentración del contaminante. En cambio, a los TPH y HAP's no los eliminó, pero si los nivelo a un estado de concentración muy baja. Sin embargo, el parámetro permisible del potencial de hidrogeno volvió a su estado de normalidad. Eso quiere decir que el método de *bioventing* influyó mucho en la disminución de cada elemento, incluso los puso en su nivel de normalidad cumpliendo con los límites establecidos en la normativa ambiental vigente para la remediación del suelo en el Anexo 2 del TULSMA tabla 2.

### 3.1.3. Propuesta de un plan de mitigación del recurso suelo (método de *bioventing*)

#### 3.1.3.1. Comprobación de hipótesis planteada

Según la literatura la comprobación del análisis depende de la hipótesis planteada, en este caso se identificó como:

**Hipótesis nula ( $H_0$ ):** Todos los tratamientos son iguales, con un nivel de significancia del 0,05 al 95 % de confianza.

**Hipótesis alternativa ( $H_1$ ):** Al menos un tratamiento es distinto, con un nivel de significancia del

0,05 al 95 % de confianza.

### Análisis de varianza (ANOVA)

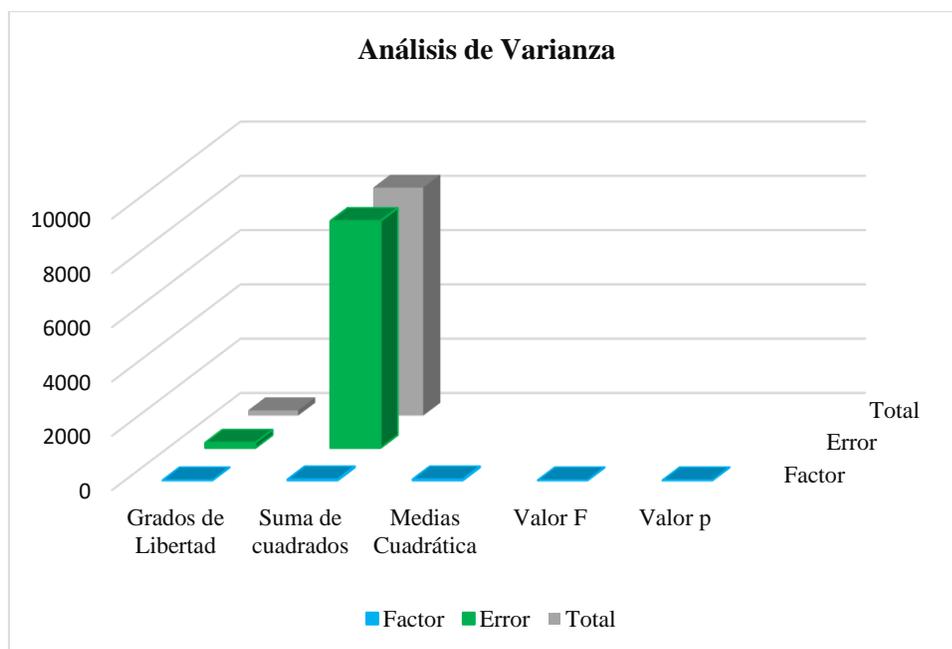
Se llevó a cabo el análisis de varianza para identificar si en los dos tratamientos propuestos existe alguna similitud o cual de los dos es el mejor mediante la aplicación del método de *bioventing*, con ellos se decide si se acepta o se rechaza la hipótesis propuesta.

**Tabla 21-3:** Resultados del Análisis de varianza de los dos tratamientos

Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Medias Cuadrática	Valor F	Valor p
Factor	1	36.86	36.86	0.86	0.356
Error	194	8361.89	43.10		
Total	195	8398.75			

Fuente: Minitab 18, 2018.

Realizado por: Espinoza, Kerly, 2022.



**Gráfica 1-3:** Comprobación del Análisis de Varianza.

Realizado por: Espinoza, Kerly, 2022.

Se obtuvo un valor total de 8398.75 en la suma de cuadrados, siendo 36.86 la varianza del tratamiento, el grado de libertad es de 195, con un margen de error del 195, luego se calculó el factor estadístico con un resultado de 0.86, después el valor de probabilidad o factor crítico que es de 0.356 se comparó con el nivel de significancia de 0.05 al 95% de probabilidad. Lo que significa que el factor crítico es mayor al nivel de significancia, es decir, que uno de los dos tratamientos es diferente, lo cual se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Por lo tanto, los tratamientos al ser diferentes o uno ser mejor que el otro, se realizó una comparación en parejas o medias con el propósito de saber cuál de los dos tratamientos es el mejor (T1, T2). Para el respectivo análisis se aplicó el método de *Tukey*, lo cual se obtuvo los siguientes resultados:

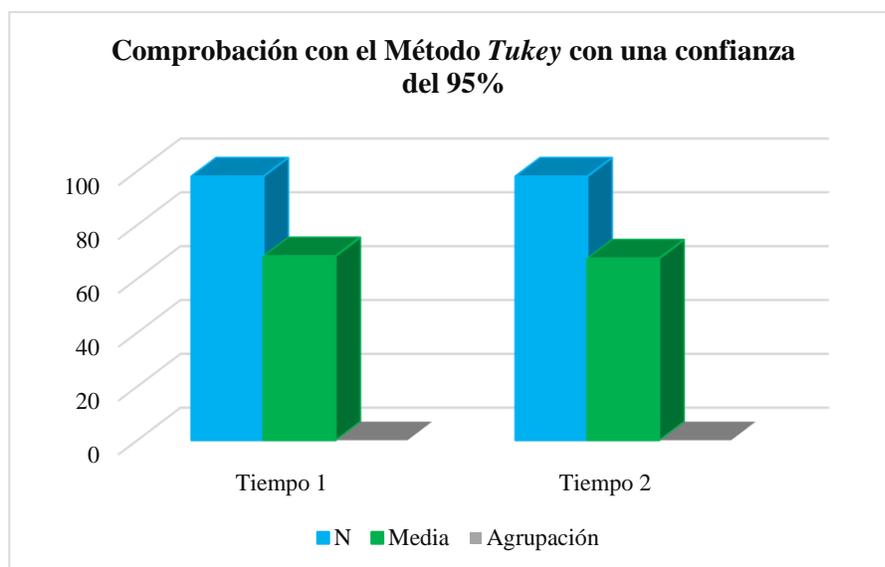
**Tabla 22-3:** Agrupar información utilizando el método de *Tukey* y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
Tiempo 1	98	68.398	A
Tiempo 2	98	67.531	A

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

**Fuente:** Minitab 18, 2018.

**Realizado por:** Espinoza, Kerly, 2022.

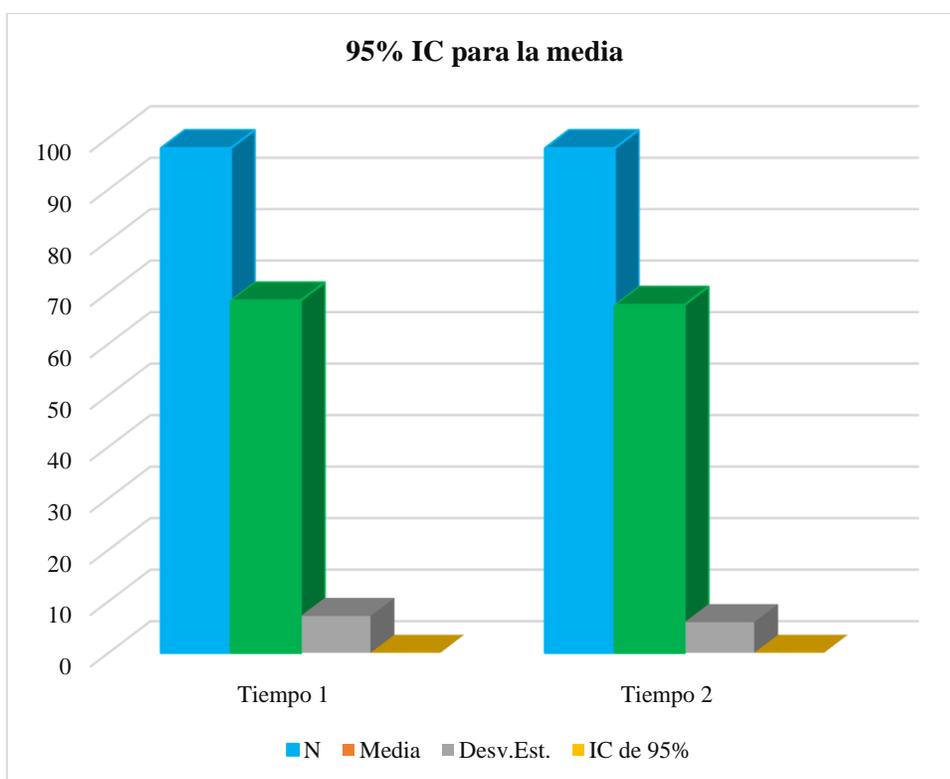


**Gráfica 2-3:** Comprobación del método *Tukey*.

**Realizado por:** Espinoza, Kerly, 2022.

En la tabla 22-3 y en el gráfico de visualización 2-3 indicó la comparación entre las dos medias de tratamientos de una forma ordenada los tiempos medios de los métodos. Por lo tanto, se puede deducir que entre los dos tratamientos de *bioventing* comparten la misma letra, pero entre sus medias existe una pequeña diferencia. Por ende, el método de *Tukey* al 95% señala que los dos tratamientos son diferentes.

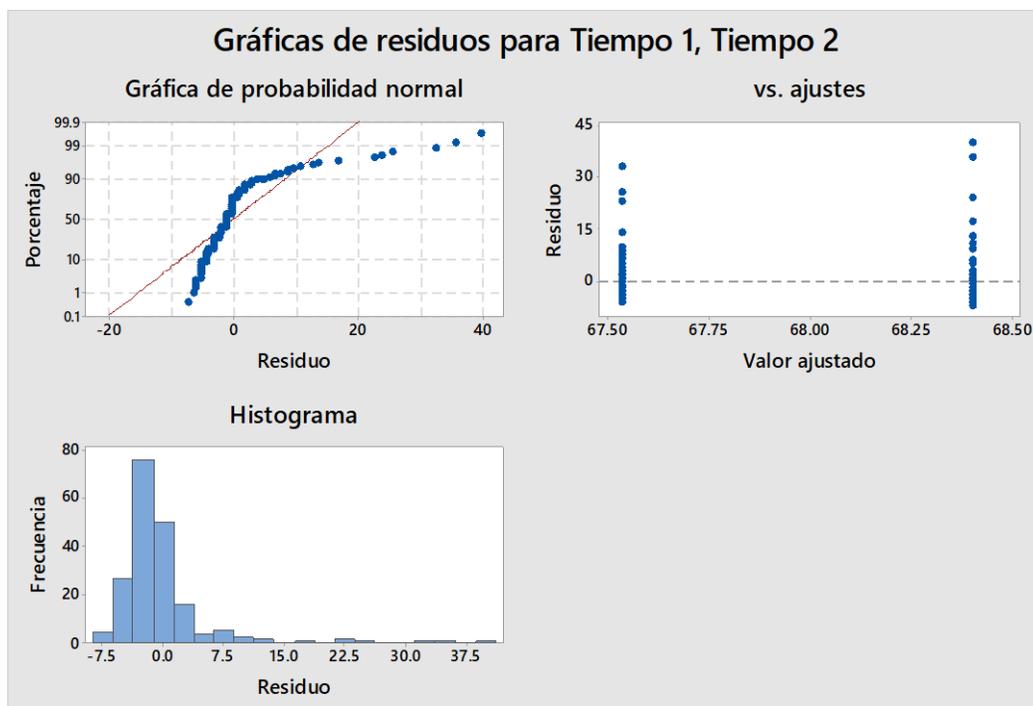
En la gráfica 3-3 se pudo verificar que los dos intervalos se compararon con el 95% del nivel de confianza para la media. Como se observó en el tiempo 1 el intervalo tiene una media de 68.398 y el tiempo 2 posee un intervalo de 67.531. Lo cual existen una pequeña diferencia entre los intervalos y el tiempo.



**Gráfica 3-3:** Comparación de intervalos de tiempo 1 y tiempo 2.

**Realizado por:** Espinoza, Kerly, 2022.

En la gráfica 4-3 se observó los residuos para el tiempo 1 y tiempo 2 con la gráfica de normalidad de los intervalos, el valor de ajuste y la frecuencia de como interactúan los residuos. Por lo tanto, se corroboró los supuestos que requiere el análisis de varianza *anova* en el tratamiento.



**Gráfica 4-3:** Comparación de residuos para tiempo1 y tiempo 2.

Realizado por: Espinoza, Kerly, 2022.

### 3.1.3.2. Comparación de suelos contaminados y suelos tratados

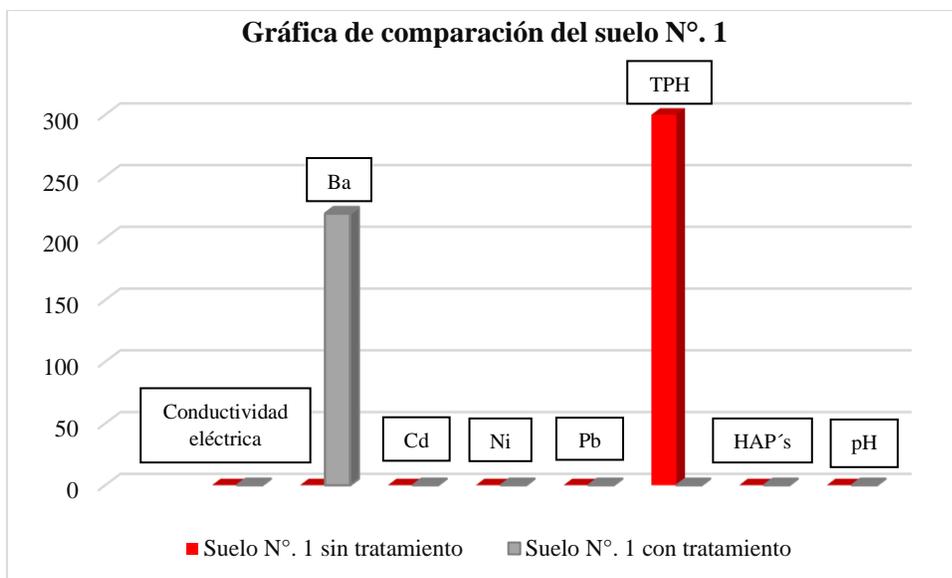
Para la comparación de los suelos se tomó como referencia las tablas de la calidad del suelo 17-3 y 18-3. En cambio, para la remediación del suelo las tablas 19-3 y 20-3 que muestran a continuación:

**Tabla 23-3:** Comparación del suelo N°. 1

Parámetros	Suelo N°. 1 sin tratamiento	Suelo N°. 1 con tratamiento	Unidad
Conductividad eléctrica	205,7	13,11	uS/cm
Bario	553,3	220	mg/kg
Cadmio	0,68	<1,17	mg/kg
Níquel	45,5	25,7	mg/kg
Plomo	20,8	<25,0	mg/kg
Hidrocarburos totales (TPH)	300	<1000	mg/kg
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's)	0,2	<0,075	mg/kg
Potencial de hidrogeno (pH)	5,97	6,36	-

Fuente: Laboratorio de Análisis y Evaluación Ambiental, 2022.

Realizado por: Espinoza, Kerly, 2022.



**Gráfica 5-3:** Análisis de comparación del suelo N°. 1.

**Realizado por:** Espinoza, Kerly, 2022.

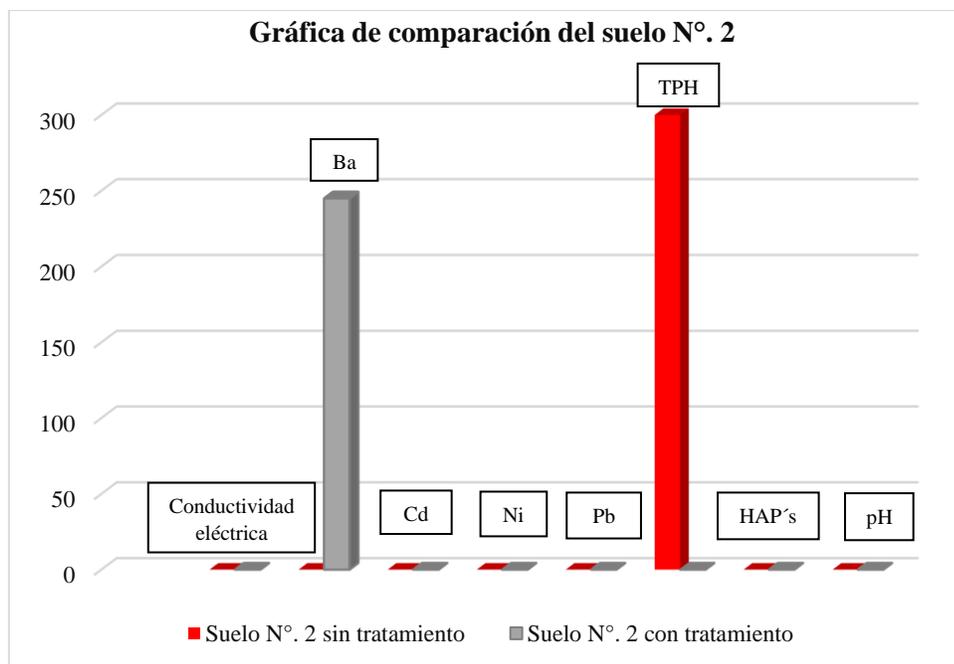
Como se pudo observar en la tabla 23-3 y en el gráfico de visualización 5-3, la fase inicial de la contaminación del suelo por hidrocarburos posee un alto grado de contaminación en cada parámetro, en cambio, en la fase final del proceso de remediación del suelo al ser sometido al tratamiento del método de *bioventing*, se pudo verificar que existe una gran disminución del contaminante en cada elemento. Por lo tanto, el método de *bioventing* ayudó mucho en la disminución de las altas concentraciones de los contaminantes.

**Tabla 24-3:** Comparación del suelo N°. 2

Parámetros	Suelo N°. 2 sin tratamiento	Suelo N°. 2 con tratamiento	Unidad
Conductividad eléctrica	213,9	15,63	uS/cm
Bario	320,0	245	mg/kg
Cadmio	0,9	<1,17	mg/kg
Níquel	32,4	21,5	mg/kg
Plomo	23,7	<25,0	mg/kg
Hidrocarburos totales (TPH)	300	<1000	mg/kg
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's)	0,2	<0,075	mg/kg
Potencial de hidrogeno (pH)	5,99	6,39	-

**Fuente:** Laboratorio de Análisis y Evaluación Ambiental, 2022.

**Realizado por:** Espinoza, Kerly, 2022.



**Gráfica 6-3:** Análisis de comparación del suelo N°. 2.

**Realizado por:** Espinoza, Kerly, 2022.

Como se puede observar en la tabla 24-3 y en el gráfico de visualización, la fase inicial de la contaminación del suelo por hidrocarburos posee un alto grado de contaminación en cada parámetro, en cambio, en la fase final del proceso de remediación del suelo al ser sometido al tratamiento del método de *bioventing*, se pudo verificar que existe una gran disminución del contaminante en cada elemento. Por lo tanto, el método de *bioventing* ayudó mucho en la disminución de las altas concentraciones de los contaminantes.

A partir de los resultados obtenidos, se acepta la hipótesis alternativa general que establece que existe una diferencia entre los dos tratamientos. Por lo tanto, el segundo tratamiento fue el mejor porque ayudó a disminuir con mayor facilidad la alta concentración del contaminante y porque tuvo una gran cantidad de exposición a la bioventilación.

### 3.1.3.3. Análisis de la huella de carbono

A continuación, en la tabla 25-3 se detalló los siguientes resultados:

**Tabla 25-3:** Cálculo de la huella de carbono

<b>Fuentes de emisión de GEI</b>	<b>Actividad de Producción</b>	<b>Unidades</b>
Hidrocarburos totales (TPH)	115,2	tCO <sub>2eq</sub> /GJ
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's)	1	tCO <sub>2eq</sub> /GJ
	116,2	tCO <sub>2eq</sub> /GJ

**Fuente:** Factor de emisiones, 2016.

**Realizado por:** Espinoza, Kerly, 2022.

Los resultados de cuanto gas se han emanado al ambiente se obtuvieron de la siguiente fórmula en general del GEI:

$$\text{Huella de carbono} = 116,2 \times 0,074255 = 8.62 \text{ tCO}_{2\text{eq}} / \text{GJ}$$

Como se observó en la tabla 25-3 solo se tomó en consideración los compuestos volátiles porque son los responsables de emanar gases a la atmósfera durante el proceso de *bioventing*. Por tal motivo se ha realizado el cálculo de la huella de carbono para solventar lo que paso durante el proceso de bioventilación, lo cual posee una cantidad de 8.62 tCO<sub>2eq</sub> /GJ que se desprendido a la atmosfera. De tal modo que, para obtener un carbono neutro se plantó dos especies de árboles como *Guaiacum officinale* y *Syzygium jambos* que ayudan a para a producir de 80 a 100 kilogramos de oxígeno al año con el fin de contribuir en la neutralización de la huella de carbono.

### 3.2. Discusión de los resultados

La contaminación del suelo es un grave problema ambiental que debe ser adecuadamente gestionado. Sin embargo, es importante una adecuada identificación para poder proponer una alternativa de mitigación. En este trabajo de investigación la textura de los suelos analizados corresponde a franco arcillosa-arenosa para la primera y segunda muestra. Este tipo de textura se caracteriza por su capacidad de drenar rápidamente el exceso de agua, pero no pueden retener cantidades significativas de agua o nutrientes para sus plantas.

Con respecto a la plasticidad se pudo determinar los valores entre las dos muestras no varían significativamente, siendo de 29,87% y 26,36% respectivamente. Los valores son evidentes puesto que la plasticidad es una característica distintiva de suelos arcilloso y en este estudio la textura correspondiente a las muestras contiene cantidades representativas de arcilla, por ende, estos suelos tienen la capacidad de modificar su consistencia o resistencia al corte. Además, el color representativo de este tipo de suelos pertenece a la escala de marrones, debido a la composición de estos. Por ello el color de la primera muestra es marrón, mientras que la segunda muestra tiene un color marrón oscuro respectivamente.

Por otro lado, la salinidad obtenida dentro de este estudio muestra que los suelos tienen un alto nivel de salinidad lo cual trae consecuencias respecto al elemento suelo. Algunos estudios mencionan que debido al alto potencial osmótico desfavorable impuesto por las sales, la condición salina limita la actividad de los microorganismos (Ayotamuno et al. 2016, pp. 5). Por lo tanto (QIN et al. 2013, pp. 6) encontró que la tasa de degradación de los hidrocarburos de petróleo aumentó en un 30% cuando la salinidad del suelo disminuyó de 2,86% a 0,10%. Por ende, la salinidad del suelo juega un papel fundamental dentro de la degradación de hidrocarburos.

Con respecto a la capacidad de intercambio catiónico las dos muestras presentan niveles altos, dando un valor de 78% para la primera muestra y 76% para la segunda muestra. Esta característica influye en la capacidad del suelo para retener los nutrientes esenciales y proporciona un amortiguador contra la acidificación del suelo. Por ende, estos suelos son ricos en nutrientes y tiene una buena retención de agua.

El potencial de hidrogeno en este estudio varía notoriamente, puesto que la primera muestra presenta niveles altos de acidez, mientras que la segunda presenta niveles ligeramente ácidos respectivamente. A pesar que el método *bioventing* utilizado para la remediación de suelos en este estudio tuvo eficacia, otros métodos se ven comprometidos por los altos niveles de pH, por ejemplo (Pawar 2015, pp. 8) menciona que el efecto del pH del suelo sobre la capacidad de degradación bacteriana en los estudios de biorremediación reveló que un pH bajo del suelo (alrededor de 5)

puede conducir a una actividad microbiana baja, pero no a una inhibición total de la actividad aunque el crecimiento y la degradación bacterianos prefieren un pH neutro.

Por otra parte, a pesar de que los suelos muestran cantidades considerables de materia orgánica al ser sometidas a altas temperaturas se evidencia pérdida de acumulación de agua y elementos orgánicos por la incineración, dando como resultado 74, 35% y 74, 80% de pérdida para las dos muestras respectivamente. Estudios anteriores también han indicado que la materia orgánica del suelo (MOS) puede influir directamente en la biodisponibilidad de los contaminantes en los suelos para la biodegradación debido a la adsorción o partición de los compuestos del petróleo en la (MOS), lo que afecta el proceso general de biorremediación (Tang et al. 2013, pp. 4)

La contaminación de suelos por hidrocarburos conduce a niveles altos de elementos químicos. En este estudio los compuestos de Bario, Cadmio, Níquel, Plomo, TPH, HAP's superan los límites permisibles, incumpliendo así con la normativa ambiental vigente para la calidad del suelo en el Anexo 2 del TULSMA tabla 1. La contaminación del suelo con metales pesados puede presentar riesgos y peligros para los seres humanos y el ecosistema a través de: la ingestión directa o el contacto con el suelo contaminado, la cadena alimentaria (suelo-planta-humano o suelo-planta-animal-humano), el consumo de agua subterránea contaminada, reducción de la calidad de los alimentos (seguridad y comerciabilidad) a través de la fitotoxicidad, reducción de la usabilidad de la tierra para la producción agrícola que causa inseguridad alimentaria y problemas de tenencia de la tierra (Wuana y Okieimen 2011, pp. 1)

La técnica de remediación *bioventing* es un tipo de técnica de remediación *in situ* que estimula el proceso de degradación aeróbica. Los porcentajes de contaminación de las muestras iniciales son altos, pero al ser sometidos a la técnica de *bioventing* disminuyeron los niveles de contaminación. Sin embargo, es importante resaltar que entre los dos tratamientos aplicados dentro de la técnica el segundo presentó mayor eficacia puesto que disminuyó con mayor facilidad la alta concentración de contaminantes, puesto que tuvo una gran cantidad de exposición a la bioventilación. Por ende, la técnica mejora la capacidad intrínseca de la microflora autóctona para degradar los contaminantes orgánicos adsorbidos en el suelo mediante la introducción de oxígeno en una zona no saturada. También minimiza la volatilización y descarga de contaminantes al medio ambiente.

## CONCLUSIONES

La contaminación del suelo por hidrocarburos afecta gravemente el estado de salud del suelo, lo cual llega a alterar cada una de sus funciones y la deterioración de su estructura. Los dos suelos analizados poseen una textura franca arcillo-arenosa, esto quiere decir, que la contaminación no afectó mucho en la función de retención de agua, pero sí hay pérdida en nutrientes. El límite de plasticidad es muy similar en los rangos de tal modo que, la concentración de la humedad es media en su flexibilidad. Además, posee un color marrón y marrón oscuro, esto da a entender que los suelos son muy bajos en materia orgánica. Por otro lado, la salinidad con la conductividad eléctrica tiene una concentración muy alta en la solubilidad del suelo, esto quiere decir, que la capacidad del suelo se ve perturbada por la intervención del hidrocarburo. En cambio, la capacidad de intercambio iónico no es muy afectado, dado que el porcentaje de capacidad de intercambio catiónico es severamente alto, lo que significa que son muy ricos en nutrientes y en su función de retención de agua. Sin embargo, el pH tiene un elevado nivel de acidez lo que indica que estos suelos no pueden tener un incremento factible en sus propiedades. Finalmente, la materia orgánica tiene un alto rango de pérdida de peso, es decir, afecta gravemente el estado de formación y trastorna las propiedades físicas-químicas del suelo.

La calidad del suelo es sumamente afectada por la contaminación de los hidrocarburos, dado a que perturbó significativamente todos los compuestos fisicoquímicos del suelo y sobrepasaron los límites máximos permisibles de la conductividad eléctrica, potencial de hidrogeno, bario, cadmio, níquel, plomo, hidrocarburos totales y los hidrocarburos aromáticos policíclicos establecidos en la normativa vigente del Anexo-2 del TULSMA referente a la tabla 1 de la calidad del suelo descrito en la ley.

La aplicación del método de *bioventing* intervino mucho en la disminución y degradación de los agentes contaminantes vertidos en el suelo. Se deduce estos resultados con la comparación de los suelos contaminados y con los suelos expuestos al tratamiento de *bioventing*, lo cual existe una gran diferencia en la reducción de los elementos metálicos, fisicoquímicos y compuestos volátiles perturbado por los hidrocarburos. Este método ayudo a menorar el exceso de contaminación de cada parámetro y ponerlos dentro de los límites permisibles establecidos en la normativa vigente del Anexo-2 del TULSMA referente a la tabla 2 sobre la remediación del suelo. Por otro lado, la hipótesis propuesta en el trabajo de investigación es aceptada, es decir, que el tratamiento dos propuesto es óptimo para limitar el exceso causado por el contaminante durante su mayor tiempo de exposición hacia el método de *bioventing*. Finalmente, es considerable aplicar un análisis de la huella de carbono para controlar los gases emanados a la atmósfera.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda, en futuros trabajos de integración curricular estudiar los suelos contaminados por hidrocarburos mediante las diferentes estaciones de tiempo, y así interpretar la variación de los cambios que producen en la composición del suelo, parámetros fisicoquímicos y los riesgos que pueden causar en la salud del suelo.

Se propone dejar abierto como campo de estudio, emplear cultivos de microorganismo que sean capaces de alimentarse de cualquier tipo de hidrocarburos para que ayuden en la eliminación o degradación de los contaminantes con mayor facilidad y rapidez.

Se recomienda utilizar el método de *bioventing* en suelos bien drenados que permitan con mayor sencillez la filtración del oxígeno con la finalidad de que pueda remover todas las partículas contaminantes del suelo.

Se recomienda evaluar el impacto producido por la mano de obra durante la extracción del suelo para minimizar el impacto ambiental, esto se puede realizar mediante una huella de carbono.

Se recomienda realizar el método de *bioventing* en un tiempo prudente de un mes y medio en adelante, lo cual le permita tener mayores resultados en se remediación.

## GLOSARIO

**Albuminoideo:** Es un elemento biológico que se integra al grupo de las proteínas y sus características son similares a una clara de huevo o gelatina, además es el fragmente principal de los tejidos de los organismos (Real Academia Española, 2021).

**Árido:** Son fragmentos que se desintegran de una forma natural o por la deterioración de las rocas, además este proceso también se lo puede realizar de forma artificial (Nieto, 2017).

**Bioventing:** Es un tratamiento que permite ingresar aire a presión a una superficie inferior del suelo para acelerar el proceso de toda sustancia volátil que se encuentran en los sedimentos (Unknown, 2015).

**Catión:** Es un ion saturado positivamente (átomo o molécula), es decir, un ion deficiente de electrones (Lumitos, s.f).

**Desnitrificación:** Este es un proceso por el cual algunas bacterias usan nitrato como aceptor de electrones cuando respiran hipoxia (falta de oxígeno) (Lumitos, s.f).

**Fiordo:** Es el cambio natural provocado por el descongelamiento del hielo, que sucede con mucha fuerza lo cual ocasiona un desprendimiento de tierra (Ortega, 2019).

**Hipóxica:** Es una afección en la que los tejidos no reciben suficiente oxígeno (Mandal, 2019).

**Mercaptano:** Es un elemento orgánico que posee una estructura de R-SH. El mercaptano es similar al alcohol (la figura de R-OH), con átomos de azufre en vez de oxígeno (Del Moral, M. & Rodríguez, 2022).

**Silicatadas:** Son la clase de minerales más numerosos porque componen más del 75% de la superficie siendo la clase geológica más sustancial por ser minerales que integran rocas (Lumitos, s.f).

## **BIBLIOGRAFÍA**

**ACUERDO MINISTERIAL 097-A.** *Libro VI, Anexo 4: Norma de calidad de aire ambiental.*

**ACUERDO N° 97/A.** *Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados (Anexo 2, Libro VI de la Calidad Ambiental, del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente).*

**AGNELLO, A.C., BAGARD, M., VAN HULLEBUSCH, E.D., ESPOSITO, G. y**

**HUGUENOT, D.** "Comparative bioremediation of heavy metals and petroleum hydrocarbons co-contaminated soil by natural attenuation, phytoremediation, bioaugmentation and bioaugmentation-assisted phytoremediation". *Science of the Total Environment* [en línea], 2016, (Francia) vol. (563), pp. 1-2. [Consulta: 18 de enero de 2022]. ISSN 18791026. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969715308779>

**ALVARO, C., AROCENA, L., MARTÍNEZ, M. y NUDELMAN, N.** "Biodegradación aerobia de fracciones de hidrocarburos provenientes de la actividad petrolera en un suelo de la región Patagonia Norte, Argentina". *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental* [en línea], 2017, (Mexico) 33(2) pp. 248-249. [Consulta: 18 de ene. de 22] ISSN 01884999. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S018849992017000200247&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S018849992017000200247&script=sci_arttext)

**ANDRADES, M., MOLINER, A. y MASAGUER, A.** *Prácticas de edafología : métodos didácticos para análisis de suelos. Material didáctico. Agricultura y alimentación* [en línea]. España: Universidad de La Rioja, 2015. [Consulta: 25 de enero del 2022]. Disponible en: <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Dialnet-PracticasDeEdafologia-580696.pdf>

**AYOTAMUNO, M.J., KOGBARA, R.B., OGAJI, S.O.T. y PROBERT, S.D.** "Bioremediation of a crude-oil polluted agricultural-soil at Port Harcourt, Nigeria". *Applied Energy* [en línea], 2016, (Nigeria) 83(11), pp. 1249-1257. [Consulta: 12 de febrero del 2022]. ISSN 0306-2619. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261906000067>.

**BAROIS, I. et al.** *El suelo y el petróleo: Estudio de caso de biorremediación en pasivo ambiental de Papantla, México* [en línea]. Veracruz-México: Instituto de Ecología A.C, 2018. [Consulta: 18 de ene. de 22]. Disponible en: <http://www.unirioeditora.com.ar/wp->

content/uploads/2018/08/978-987-688-230-9.pdf

**BARREZUETA-UNDA, S., CERVANTES-ALAVA, A., ULLAURI-ESPINOZA, M., BARRERA-LEON, J. y CONDOY-GOROTIZA, A.** "Evaluación Del Método De Ignición Para Determinar Materia Orgánica En Suelos De La Provincia El Oro-Ecuador". *FAVE Sección Ciencias Agrarias* [en línea], 2020,(Ecuador) 19(2), pp. 28-29.[Consulta: 25 de enero del 2022]. ISSN 1666-7719. Disponible en:  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8025564>

**BONADEO, E. et al.** *El funcionamiento del sistema suelo-planta*. [en línea]. Río Cuarto-Argentina: UniRío, 2017. [Consultada: 18 de ene. de 22]. Disponible en:  
<http://www.unirioeditora.com.ar/wp-content/uploads/2018/08/978-987-688-230-9.pdf>

**BURBANO-ORJUELA, H.** "El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria". *Revista de Ciencias Agrícolas* [en línea], 2016, (Colombia) 33(2), pp. 118. [Consulta: 18 de ene. de 22]. ISSN 0120-0135.Dispoible en  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S012001352016000200011&script=sci\\_abstract&tlng=en](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S012001352016000200011&script=sci_abstract&tlng=en)

**CALVACHE ULLOA, A.M.** *Los suelos del Ecuador* [blog]. [Consulta: 18 de enero de 2022]. disponible en:  
[https://www.researchgate.net/publication/301701400\\_los\\_suelos\\_del\\_ecuador#:~:text=Los%20suelos%20del%20ecuador%20y,mayz%20y%20pasto%20kikuyo%20Pennisetun](https://www.researchgate.net/publication/301701400_los_suelos_del_ecuador#:~:text=Los%20suelos%20del%20ecuador%20y,mayz%20y%20pasto%20kikuyo%20Pennisetun)  
[https://www.researchgate.net/publication/301701400\\_los\\_suelos\\_del\\_ecuador](https://www.researchgate.net/publication/301701400_los_suelos_del_ecuador).

**CASTELLANOS JAVIER.** *La Salinidad de los Suelos, un Problema que Amenaza su Fertilidad* [blog]. [Consulta: 25 de enero del 2022]. Disponible en:  
<https://www.intagri.com/articulos/suelos/salinidad-de-suelos-problema-de-fertilidad>

**CHÁVEZ, A.** Comparación de dos métodos para la determinación de la capacidad de intercambio catiónico en suelos calizos de la región central de Honduras (Trabajo de titulación)(pregrado). [en línea]. Escuela Agrícola Panamericana. (Zamorano-Honduras).2015. pp. 1-22.[Consulta: 25 de enero del 2022]. Disponible en:  
<https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/4564/1/CPA-2015-021.pdf>

**CIPRADEC.** *Actualización del 1 PDOT 2015-2025 CIPRADEC 2015.*

**CORNEJO, C.** *Ciclos del carbono y oxígeno* [blog]. [Consulta: 17 de enero del 2021]. disponible en: [http://www.secest.cl/colegioonline/docs/26052020\\_626am\\_5ecd0ade71d6e.pdf](http://www.secest.cl/colegioonline/docs/26052020_626am_5ecd0ade71d6e.pdf)

**COSTA, M., & OCETE, C.** *Ciclo del nitrógeno.* [En línea]. 2018. [ Consultada: 18 de ene. de 22]. Disponible en: <http://www.ugr.es/~cjl/Nitrogeno%20en%20suelos.pdf>.

**DECRETO EJEVECUITIVO 1215.** *Reglamento ambiental de actividades Hidrocarburíferas*

**DEL MORAL, M. & RODRIGUEZ, J.** *Mercaptano* [blog][Consulta: 23 de enero del 2022]. Disponible en: <https://www.ejemplode.com/38-quimica/4860-mercaptano.html>

**FAO.** *El Manejo de Suelos Altamente Orgánicos.* [blog]. [Consulta: 20 enero 2022]. Disponible en: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-management/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-altamente-organicos/es/>.

**FAO.** *Propiedades Biológicas* [blog]. [Consulta: 12 diciembre 2021]. Disponible en: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-biologicas/es/>.

**FAO.** *Propiedades Físicas del Suelo* [blog]. [Consulta: 10 diciembre 2021]. Disponible en: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>.

**FAO.** *Propiedades Químicas* [blog]. [Consulta: 11 diciembre 2021]. Disponible en: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>.

**FERNÁNDEZ, M. et al.** " Dinámica de la salinidad en los suelos" [en línea],2014, (México) 1(5), pp. 1-2.[Consulta 18 de enero del 2022]. ISSN 2007-5782. Disponible en:[http://cbs1.xoc.uam.mx/e\\_bios/docs/2014/05\\_SALINIDAD\\_EN\\_SUELOS\\_ESPANOL.pdf](http://cbs1.xoc.uam.mx/e_bios/docs/2014/05_SALINIDAD_EN_SUELOS_ESPANOL.pdf)

**FERTILAB.** *La Consistencia del Suelo y Sus Implicaciones Agronómicas* [blog]. [Consulta: 10 de enero del 2022]. Disponible en : <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/La%20Consistencia%20del%20Suelo.pdf>

**FERTILAB.** *Desarrollo de cultivos en suelos alcalinos.* [blog]. [Consulta: 18 de ene. de 22].  
Disponible en: <https://www.fertilab.com.mx/blog/180-desarrollo-de-cultivos--en-suelos-alcalinos/>

**FLORES BARRETO, CARLOS & MENDOZA SIGUENCIA, JORGE.** Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos por derrames de la estación de servicio en el campamento de Guarumales-celec. (Trabajo de titulación) (Maestría). [En línea] Universidad de Cuenca, Ciencias químicas, Ingeniería ambiental. (Cuenca- Ecuador). 2017. Página 18-19 [Consulta: 3 de enero de 2022]. Disponible en:  
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27211/1/tesis.pdf>

**FUENTES DECKER, S.N.** Biorremediación de suelos contaminados con fluidos de producción ( Trabajo de Titulación) (Maestría). [En línea] Universidad de Guayaquil, Ingeniería química, Ingeniería ambiental. (Guayaquil-Ecuador). 2016. pp.11-24. [Consulta: 4 de enero de 2022]. Disponible en:  
<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/35522/1/Caso%20de%20Estudio%20Remediación%20de%20Suelos%20Contaminados.pdf>

**GARCÍA, L.** *Metodología de campo para determinar la profundidad, la densidad aparente, materia orgánica e infiltración del agua en el suelo* [en línea] Managua - Nicaragua: Grupo SEVEN, 2017. [Consulta: 18 de enero del 2022]. Disponibles en <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NP33G216m.pdf>

**GARY, J.H. & HANDWERK, G.E.** *Refino de Petróleo* [en línea]. Barcelona-España: Editorial Reverté, 2020. [Consulta: 17 de enero del 2022]. Disponible en:  
<https://books.google.co.ve/books?id=uGK8J8fK4F4C&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>

**GAVANDE, A.** *Estructura y estabilidad estructural del suelo.* [blog]. 2019. [Consultado: 18 de enero del 2022]. Disponible en:  
[https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/42966/mod\\_resource/content/1/TEMA%206-%20-%20ESTRUCTURA%20Y%20ESTABILIDAD%20ESTRUCTURAL%2026-3-19.pdf#:~:text=La%20estabilidad%20de%20la%20estructura,el%20pisoteo%2C%20manipulaciones%20mec%C3%A1nicas\).&text=Para%20la%20producción%20agropecuaria%](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/42966/mod_resource/content/1/TEMA%206-%20-%20ESTRUCTURA%20Y%20ESTABILIDAD%20ESTRUCTURAL%2026-3-19.pdf#:~:text=La%20estabilidad%20de%20la%20estructura,el%20pisoteo%2C%20manipulaciones%20mec%C3%A1nicas).&text=Para%20la%20producción%20agropecuaria%20)

20la,estructura%20es%20una%20propiedad%20fundamental.

**GAVANDE, A.** *Porosidad y aireación densidad real y aparente.* [blog]. 2019. [Consulta: 18 de enero del 2022]. Disponible en:  
[https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/42969/mod\\_resource/content/1/POROSIDAD%20Y%20AIREACION%2026-3-19.pdf](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/42969/mod_resource/content/1/POROSIDAD%20Y%20AIREACION%2026-3-19.pdf)

**GOBIERNO DE CANARIAS.** *Composición del suelo* [blog]. 2021.[Consulta: 10 de enero del 2022]. Disponible en: [https://www.gobiernodecanarias.org/medioambiente/temas/calidad-del-suelo/el\\_suelo\\_en\\_canarias/que\\_es\\_el\\_suelo/composicion\\_del\\_suelo/](https://www.gobiernodecanarias.org/medioambiente/temas/calidad-del-suelo/el_suelo_en_canarias/que_es_el_suelo/composicion_del_suelo/)

**GOBIERNO DE MÉXICO.** *Características del petróleo* [blog]. 2017. [Consulta: 10 de enero del 2022]. Disponible en:  
[https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones\\_geologicas/Caracteristicas-del-petroleo.html#:~:text=L%C3%ADquido%20natural%20oleaginoso%20e%20inflamable,cambio%20de%20presi%C3%B3n%20y%20temperatura.](https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Caracteristicas-del-petroleo.html#:~:text=L%C3%ADquido%20natural%20oleaginoso%20e%20inflamable,cambio%20de%20presi%C3%B3n%20y%20temperatura.)

**GONZÁLEZ MORO, A.** *Relaciones catiónicas y su interpretación en los análisis de suelos.* [en línea]. [Consulta: 25 de enero del 2022] Disponible en: <http://aqmlaboratorios.com/relaciones-cationicas-analisis-de-suelos/>

**GUERRA TORRALBO, J.C.** *Mecánica de los suelos conceptos básicos y aplicaciones.* [en línea].1 |Madrid-España: Editorial Dextra, 2018. [Consulta: 9 de Enero del 2022]. Disponible en: [https://www.puce.edu.ec/sitios/documentos\\_DGA/9\\_20\\_2002\\_2007-01\\_13271\\_1708183726\\_S\\_1.pdf](https://www.puce.edu.ec/sitios/documentos_DGA/9_20_2002_2007-01_13271_1708183726_S_1.pdf)

**GUTIERREZ, J.** *Suelos Spodosoles* [blog]. [Consulta: 18 de enero del 2022]. Disponible en:  
<https://es.scribd.com/presentation/372371512/Suelos-Espodosoles-y-Alfisoles>

**IGAC.** *Muestreo de suelos Muestreo de aguas para análisis físicoquímico y biológico.* [blog]. *Bogotá:* Instituto Geográfico Agustín Codazzi. [Consulta: 06 de enero del 2022]. Disponible en: <https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/guiademuestreo.pdf>

**ÍÑESTA BURGOS, J.& GARCÍA FERNÁNDEZ. P.A.** *El petróleo: El recorrido de la energía.*

[en línea]. Madrid-España: Comunidad de Madrid, 2002. [Consulta: 19 de enero del 2022].  
Disponible en: <https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2019/05/recorrido-de-la-energia-el-petroleo.pdf>

**INIA.** Semana de la Ciencia y Tecnología Jornada de Puertas Abiertas [blog]. [Consulta: 18 de enero del 2022]. Disponible en:  
<http://inia.uy/Documentos/P%C3%BAblicos/INIA%20Tacuaremb%C3%B3/2015/EI%20Suelo%2020%20de%20mayo.pdf>

**IROZ, N.** *El ciclo biológico del Carbono.* [blog]. [Consulta: 25 de enero del 2022]. Disponible en:  
<http://www.frlp.utn.edu.ar/materias/qcasis/com64cbiol.pdf>

**LEFÉVRE, C.** *Carbono orgánico del suelo: el potencial el oculto [en línea].* 1.Roma-Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, 2017. [Consulta: 19 de enero del 2022]. Disponible en:<https://www.fao.org/3/I6937ES/i6937es.pdf>

**LUMITOS.** Cación [blog][Consulta: 22 de enero del 2022]. Disponible en:  
<https://www.quimica.es/enciclopedia/Cati%C3%B3n.html>

**LUMITOS.** Desnitrificación [blog][Consulta: 22 de enero del 2022]. Disponible en:  
<https://www.quimica.es/enciclopedia/Desnitrificaci%C3%B3n.html>

**LUMITOS.** Silicato [blog][Consulta: 22 de enero del 2022]. Disponible en:  
<https://www.quimica.es/enciclopedia/Silicato.html>

**MAHAR, A., WANG, P., ALI, A., AWASTHI, M.K., LAHORI, A.H., WANG, Q., LI, R. y ZHANG, Z.** *Challenges and opportunities in the phytoremediation of heavy metals contaminated soils* [en línea], 2016, vol. 126, pp. 111-112. [Consulta: 18 de enero del 2022]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651315302116>

**MANDAL, A.** *¿Qué es la hipoxia?*[blog]. [Consulta: 22 de enero del 2022]. Disponible en:  
<https://www.news-medical.net/health/What-is-Hypoxia.aspx>

**MEGO MELÉNDEZ, J.L.** *Caracterización de suelos afectados por hidrocarburos en una zona*

*agrícola del distrito Imaza, región Amazonas.* (Trabajo de titulación) (maestría). [En línea] Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental (Chachapoyas-Perú). 2019. pp. 49-50. [Consulta: 12 de enero del 2022]. Disponible en:  
<http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/2364/Mego%20Mel%c3%a9ndez%20Jos%c3%a9%20Luis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**MORO GONZÁLEZ, A.** *Relaciones catiónicas y su interpretación en los análisis de suelos.* [blog]. [Consulta: 18 de enero del 2022]. Disponible en: <http://aqmlaboratorios.com/relaciones-cationicas-analisis-de-suelos/>

**MUÑOZ ANDRÉS, V. et al.** *Gestión y conservación de aguas y suelos.* [en línea]. 1. Madrid-España: Madrid: Editorial UNED, 2019. [Consulta: 18 de enero del 2022]. Disponible en:  
[https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=8w\\_FDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=MU%C3%91OZ+ANDR%C3%89S,+V.+et+al.,+2019.+Gesti%C3%B3n+y+conservaci%C3%B3n+de+aguas+y+suelos.+Madrid:+s.n.+ISBN+9788436276084,+9788436275711.+%7D&ots=cVvwH0NFuN&sig=Mv6ehDjg--\\_Q3O0gy0TDKpMzDtc&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=8w_FDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=MU%C3%91OZ+ANDR%C3%89S,+V.+et+al.,+2019.+Gesti%C3%B3n+y+conservaci%C3%B3n+de+aguas+y+suelos.+Madrid:+s.n.+ISBN+9788436276084,+9788436275711.+%7D&ots=cVvwH0NFuN&sig=Mv6ehDjg--_Q3O0gy0TDKpMzDtc&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)

**NIETO, M.** *Áridos o arenas de construcción* [blog]. [Consulta: 22 de enero del 2022]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/EsmeNieto/ridos-o-arenas-de-construccion>

**ORTEGA, G.** *Significado de fiordo* [blog] [Consulta: 22 de enero del 2022]. Disponible en:  
<https://significado.com/fiordo/>

**ORTEGA MIRANDA, G.** *El suelo: Características.* [blog]. [Consultado el 18 de enero del 22]. Disponible en: <https://www.abc.com.py/edicion-impres/suplementos/escolar/el-suelo-caracteristicas-1724350.html>

**OTZEN, T. y MANTEROLA, C.** "Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio". *International Journal of Morphology [en línea], 2017, Chile 35(1), pp. 228-232.* [Consulta: 18 de enero del 2022]. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ijmorphol/v35n1/art37.pdf>

**PÁEZ HOFFMANN, M.A.** "Evaluación del método fenton aplicado a suelos contaminados con

hidrocarburos procedentes de pasivos ambientales del bloque 61".[en línea].2019, (Ecuador). [Consulta: 18 de enero del 2022]. Disponible en:  
<https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/3473>

**PAWAR, R.** "The Effect of Soil pH on Bioremediation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHS)". *Journal of Bioremediation & Biodegradation* [en línea], 2015, 06(3), pp. 1-14 [Consulta: 12 de febrero del 2022]. Disponible en: <https://www.omicsonline.org/open-access/the-effect-of-soil-ph-on-bioremediation-of-polycyclic-aromatic-hydrocarbons-pahs-2155-6199-1000291.php?aid=52038>

**PELLEGRINE, A.** *Textura y color del suelo. Suelos* [blog]. [Consulta: 18 de enero del 2022]. Disponible en:  
[https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/42831/mod\\_resource/content/1/TEMA%20%20-%20TEXTURA%20Y%20COLOR.pdf](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/42831/mod_resource/content/1/TEMA%20%20-%20TEXTURA%20Y%20COLOR.pdf)

**PEÑA, V.N.** *Inceptisoles*. [blog]. [Consulta: 18 de enero del 2022]. Disponible en:  
<https://es.scribd.com/document/463319098/Inceptisoles>

**PÉREZ POZO, M.R.** Evaluación de la biorremediación en suelos contaminados con hidrocarburos utilizando *Pseudomonas fluorescens* (Trabajo de Titulación)(Maestría).[en línea] Universidad Politécnica Salesiana, Facultad de recursos naturales. (Quito-Ecuador).2018. pp 1-8 [Consulta:18 de enero del 2022]. Disponible en:  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15446/1/UPS-QT12601.pdf>

**PILATASIG MURILLO, L.S.** Análisis comparativo entre los valores del límite líquido obtenidos por copa de casagrande y penetrómetro de cono para suelos finos del cantón Pastaza, provincia de Pastaza (Trabajo de titulación)(Pregrado).[en línea]. Universidad tecnica de Ambato, Facultad de ingeniería civil y mecánica, Escuela de ingeniería civil.(Ambato-Ecuador).2021.pp. 11-12 [Consulta: 24 de febrero del 2022]. Disponible en:  
<file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Tesis%20I.%20C.%201454%20-%20Pilatasig%20Murillo%20Lisbeth%20Solange.pdf>

**PLATA QUINTERO, L.S.** Evaluación teórica de la remoción y tiempo de acción de tres técnicas de biorremediación, para el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos.(Trabajo de

titulación)(Pregrado). [En línea] Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, Facultad de ingeniería ambiental, escuela de ingeniería. (Bucaramanga-Colombia).2012. pp.18-19 [Consulta: 18 de enero del 2022]. Disponible en:  
[https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/2075/digital\\_24402.pdf?sequence=1](https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/2075/digital_24402.pdf?sequence=1)

**PORRAS VELÁZQUEZ, A.** Tipos de muestreo. [Blog].Mexico, 2017[Consulta: 18 de enero del 2022]. Disponible en:  
<https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/163/1/19-Tipos%20de%20Muestreo%20-%20Diplomado%20en%20Análisis%20de%20Información%20Geoespacial.pdf>

**QIN, X., LI, D., TANG, J., ZHANG, Q. y GAO, J.** "Effect of the salt content in soil on bioremediation of soil by contaminated petroleum". *JOURNAL OF NANJING FORESTRY UNIVERSITY* [en línea], 2013, vol. 56 (02), pp. 108. [Consulta: 12 de febrero del 2022]. ISSN 1000-2006. Disponible en:  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22725670/#:~:text=Soil%20pH%20increased%20after%20leaching%20and%20decreased%20during%20bioremediation%20process.&text=Conclusions%20The%20result%20suggested%20that,in%20the%20saline%20alkaline%20soil.>

**QUIJANO, G.C.** Evaluación de la degradación de hidrocarburos totales del petróleo por bioestimulación con abonos orgánicos asociados a especies arbóreas (Trabajo de titulación)(Maestría). [En línea] ECOSUR.(Tabasco-Mexico). 2015. pp.1-23 [Consulta: 18 de enero del 2022]. Disponible en:  
[https://www.researchgate.net/publication/279751879\\_Evaluacion\\_de\\_la\\_degradacion\\_de\\_hidrocarburos\\_totales\\_del\\_petroleo\\_por\\_bioestimulacion\\_con\\_abonos\\_organicos\\_asociados\\_a\\_especies\\_arboreas](https://www.researchgate.net/publication/279751879_Evaluacion_de_la_degradacion_de_hidrocarburos_totales_del_petroleo_por_bioestimulacion_con_abonos_organicos_asociados_a_especies_arboreas)

**QUISPE HUANCA J.** Determinación de los tiempos de la biodegradación del hidrocarburo (Diesel B5) a diferentes concentraciones en bioreactores de polietileno con un inóculo de bacterias nativas de suelo contaminado con hidrocarburos. (Trabajo de titulación) (Pregrado). [En línea] Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa, Facultad de ingeniería de procesos, Escuela Profesional De Ingeniería Ambiental.(Arequipa-Perú). 2020. pp 1-2

[Consulta: 18 de enero del 2022]. Disponible en:

<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/11299/IAquhujmm.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**RAMÍREZ MAQUIZA, S.M.**, Análisis comparativo entre los valores del límite líquido obtenidos por copa de casagrande y penetrómetro de cono para suelos granulares del cantón Ambato, provincia de Tungurahua. (Trabajo de titulación) (Pregrado) [en línea]. Universidad Técnica de Ambato, Facultad de ingeniería civil y mecánica, Escuela de ingeniería Civil. (Ambato-Ecuador). 2021. pp. 43-44 [Consulta: 24 de enero del 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/32493/1/Tesis I. C. 1458 - Ramirez Maiquiza Silvia Maribel.pdf>.

**RAMÓN ALEJANDRO, X.F.** Comportamiento de bacterias y hongos en la degradación de hidrocarburos en suelos contaminados (Trabajo de titulación) (pregrado). [en línea]. Universidad Científica del Sur, Facultad de ciencias Ambientales, Escuela de ingeniería ambiental. (Lima- Perú). 2020. pp. 5-6 [Consulta: 18 de enero del 2022]. Disponible: <https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/1501/TB-Ram%c3%b3n%20X.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**REAL ACADEMIA ESPAÑOLA.** Definición de albuminoide [blog]. [Consulta: 22 de enero del 2022]. Disponible en: <https://dle.rae.es/albuminoide>

**RECINOS, Derick.** *Determinación de Textura por el método de Bouyucos* [blog]. [Consulta: 31 de enero del 2022]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/387041125/DETERMINACION-DE-TEXTURA-POR-EL-METODO-DE-BOUYUCOS-docx>.

**RODRÍGUEZ OCHOA, E.P.** Biorremediación de los suelos contaminados con hidrocarburos provenientes de la estación de Secoya utilizando un consorcio bacteriano aerobio a escala de laboratorio (Trabajo de Titulación) (Pregrado). [en línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de ciencias, Escuela de ingeniería ambiental. (Riobamba-Ecuador). 2018. pp 7-8 [Consulta: 18 de enero del 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10468/1/96T00495.pdf>

**SIGTIERRAS.** *Mapa de órdenes de suelos del Ecuador.*[blog]. [Consulta: 18 de enero del 2022].  
Disponible en: <http://www.sigtierras.gob.ec/mapa-de-ordenes-de-suelos/>

**SIMBAÑA CAZAR, C.J.** Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de la parroquia Taracoa en Francisco de Orellana, mediante el hongo *Pleurotus ostreatus*. (Trabajo de titulación) (Pregrado) [en línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de ciencias, Escuela de ciencias Químicas. (Riobamba-Ecuador). 2016. pp 1-16 [Consulta: 18 de enero del 2022]. Disponible en:  
<http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/4916/1/236T0192.pdf>

**SOLA REDONDO, F.** La textura de los suelos agrícolas [blog]. [Consulta: 22 de enero del 2022].  
Disponible en: <https://www.universidadderiego.com/la-textura-en-los-suelos-agricolas/>.

**SUAREZ BELTRAN, R.M.** Guía de métodos de biorremediación para la recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos. (Trabajo de titulación) (maestría). [en línea] Universidad Libre.(Bogotá-Colombia). 2013. pp 24-25 [Consulta: 18 de enero del 2022]. Disponible en:  
<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10607/TRABAJO%20FINAL%20cd.pdf?sequence=1>

**TANG, J., ZHU, W., KOOKANA, R. y KATAYAMA, A.** "Characteristics of biochar and its application in remediation of contaminated soil". *Journal of Bioscience and Bioengineering* [en línea], 2013 (China) 116(6) pp. 653-659. [Consulta: 12 de febrero del 2022]. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84886444859&doi=10.1016%2Fj.jbiosc.2013.05.035&partnerID=40&md5=bd96dc593ce42e717e547957d9417ad>.

**TORRES ORDÓÑEZ, M.F.** Percepción social respecto a suelos contaminados por hidrocarburos en la Parroquia San Carlos, perteneciente al Cantón Joya de los Sachas, Provincia de Orellana, Ecuador (Trabajo de titulación) (pregrado) Universidad Católica del Ecuador, Facultad de ciencias humanas, Escuela de ciencias geográficas. (Quito-Ecuador). 2019. pp 11-19 [Consulta: 18 de enero 2022]. Disponibñe en:  
<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/17431/PERCEPCI%c3%93N%20SOCIAL%20RESPECTO%20A%20SUELOS%20CONTAMINADOS%20POR%20HI-DROCARBUROS%20EN%20LA%20PARROQUIA%20SAN%20CARLOS%2c%20P.pdf?s>

equence=1&isAllowed=y

**UNKNOWN.** *Bioventing*[blog].[Consulta: 22 de enero del 2022]. Disponible en:

<http://ecosistematierra.blogspot.com/2015/07/bioventing.html>

**UNLP.** El suelo : un universo invisible. [blog].[Consulta: 18 de enero del 2021]. Disponible

en:<https://unlp.edu.ar/frontend/media/98/27598/3f23fc987dbbeda82587753c9796000a.pdf>

**VACA, M. y ASTUDILLO, E.** "Diagnóstico de la gestión de derrames de hidrocarburos en gasolineras" *Revista UEES* [en línea], 2016,(Ecuador) 1(7), pp.68-69 [Consulta: 22 de enero del 2022]. Disponible en: <http://revistas.uees.edu.ec/index.php/IRR/article/view/40/40>.

**VALLEJO, A., AMORTEGUI, M., SANTAMARIA, M. y ROMO M.** *Capacidad de intercambio cationico.* [blog].[Consulta: 22 de enero del 2022]. Disponible en:

<https://www.youtube.com/watch?v=zUMI5VAKvVE&lc=UgiKZm2DI5Okz3gCoAEC>.

**VELÁSQUEZ ARIAS, J.** "Contaminación de suelos y cuerpos de agua por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación". *Revista de investigación agraria y ambiental.* [en línea], 2017, (Colombia) 8(1), pp.153-154 [Consulta: 18 de enero del 2022]. Disponible en:

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1846/2227>

**VELÁSQUEZ ARIAS, J.A.** Contaminación de suelos y cuerpos de agua por hidrocarburos en Colombia Fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación (Trabajo de titulación) (Pregrado) [en línea]. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. 2016.pp. 10-11 [Consulta: 26 de enero 2022]. Disponible en:

[http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/tesis\\_contaminacion\\_de\\_suelos\\_y\\_cuerpos\\_de\\_agua\\_por\\_hidrocarburos\\_en\\_colombia.pdf](http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/tesis_contaminacion_de_suelos_y_cuerpos_de_agua_por_hidrocarburos_en_colombia.pdf).

**VILCA ROLDAN, G.C.** Mecanismos naturales de remediación de suelos contaminados por hidrocarburos (Trabjado de titulación) (maestria). [en línea]Universidad Científica del Sur, Facultad de ciencias ambientales, Escuela de ingeniería ambiental. (Lima-Perú). 2019. pp. 1-7 [Consulta: 18 de enero del 2022]. Disponible en:

<https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/2090/TB-Vilca%20G->

Ext.pdf?sequence=1&isAllowed=y

**VIZUETE GARCÍA, R.A.** Remediación socio ambiental y su incidencia en suelos contaminados con hidrocarburos en el campo sacha en el año 2015 (Trabajo de Titulación) (M2016. pp.aestría). [en línea] Universidad Tecnológica Indoamérica. (Ambato-Ecuador).2016. pp. 8-12 [Consulta: 18 de enero del 2022]. Disponible en:  
<http://repositorio.uti.edu.ec/bitstream/123456789/343/1/Trabajo%2093%20Vizuetegarcia%20Ricardo%20Abel.pdf>

**VIZUETE GARCÍA, R.A. et al.** "Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos a base de bacterias utilizadas como bioproductos". [en línea], 2020 , (Ecuador) 17(1), pp 179-180. [Consulta: 18 de enero del 2022]. ISSN 2256-3938. Disponible en:  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-44492020000100177&script=sci\\_abstract&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-44492020000100177&script=sci_abstract&tlng=es)

**WUANA, R.A. y OKIEIMEN, F.E.** "Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation". *ISRN Ecology* [en línea], 2011(1), pp. 402647. [Consulta: 12 de febrero del 2021]. Disponible en:  
<https://doi.org/10.5402/2011/402647>.

**YAGUAL BARZOLA, K.R.** Técnicas de recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos aplicables en el cantón Salinas (Trabajo de titulación) (Maestría). [en línea] Universidad Estatal Península de Santa Elena, Facultad de ciencias de la ingeniería, Carrera de ingeniería en petróleo. (La libertad-Ecuador). 2020. pp. 33-35 [Consulta: 18 de enero del 2022]. Disponible en:  
<https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/5345/1/UPSE-TIP-2020-0006.pdf>

## ANEXOS

### ANEXO A: SELECCIÓN Y MEDICIÓN DEL TERRENO



### ANEXO B: ESTERILIZACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS



### ANEXO C: ELABORACIÓN DE CALICATAS



### ANEXO D: IDENTIFICACIÓN Y MEDICIÓN DEL PERFIL DEL SUELO



**ANEXO E: TOMA DE MUESTRA**



**ANEXO F: CORTE Y REALIZACIÓN DE HOYOS EN LOS TUBOS PVC**



## ANEXO G: ELABORACIÓN DE HOYOS



## ANEXO H: COLOCACIÓN DE LOS TUBOS PVC



**ANEXO I: TRATAMIENTO DE *BIOVENTING***



**ANEXO J: TOMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS**



**ANEXO K: TOMA DE MUESTRA FINAL DESPUÉS DEL TRATAMIENTO**



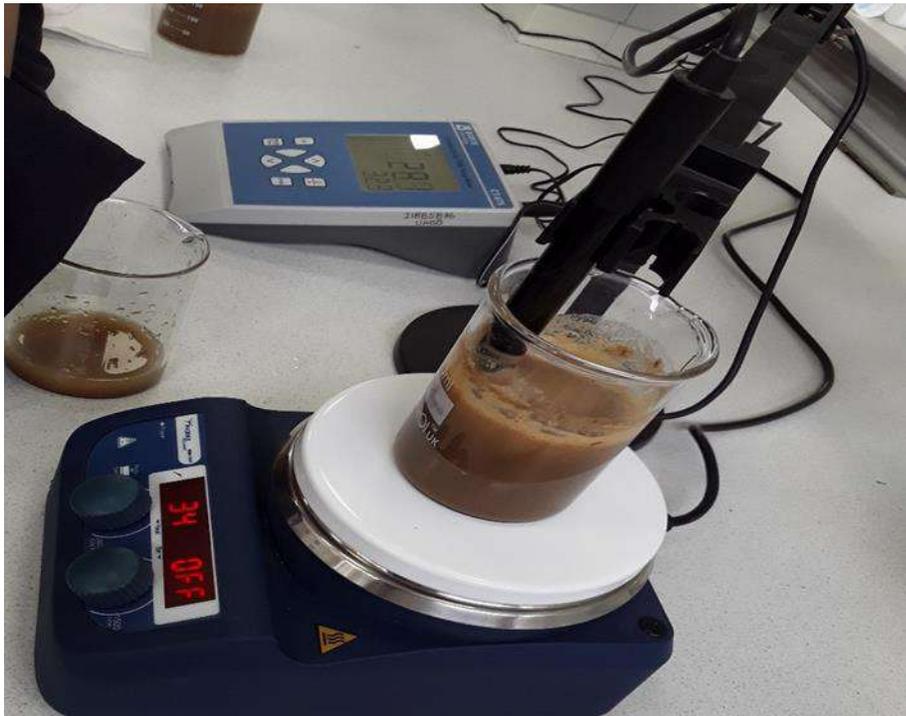
**ANEXO L: MATERIALES DEL LABORATORIO**



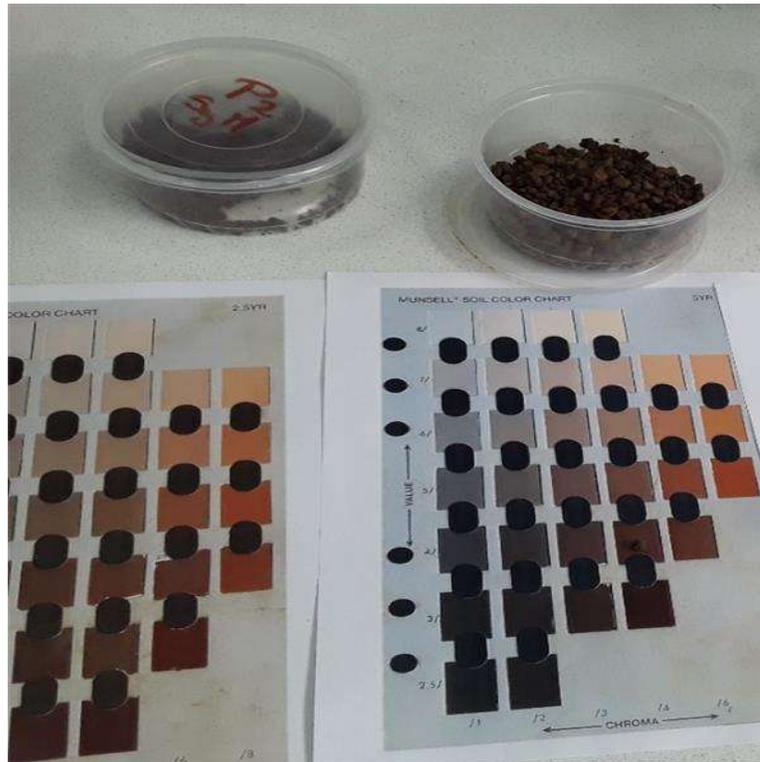
## ANEXO LL: ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DEL SUELO



## ANEXO M: ANÁLISIS DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA



## ANEXO N: IDENTIFICACIÓN DEL COLOR DE SUELO



## ANEXO Ñ: ANÁLISIS DE MATERIA ORGÁNICA



## ANEXO O: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO



## ANEXO P: LÍMITE DE PLASTICIDAD



**ANEXO Q: ANÁLISIS DE LA TEXTURA DEL SUELO**



**ANEXO R: SIEMBRA DE *Guaiacum officinale* Y *Syzygium jambos***



# ANEXO S: ANÁLISIS DE SUELO MUESTRA 1



## INFORME DE ENSAYO N° 16 166 a

### INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Coca, 23 de septiembre de 2021

Empresa:	GOBIERNO AUTONOMO DESCENTRALIZADO DE LA PROVINCIA DE ORELLANA.		
Solicitado por:	Ing. Augusto Cordova.	Dirección:	Coca.
Toma de muestra:	Sr. Darwin Garcia	Fecha y Hora	13/09/2021 10:20
Identificación de la muestra:	Suelo M1 Propiedad del Sr. Carlos Yumbo Locación Comunidad Virgen del Carmen.		

### INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

Fecha y hora de ingreso al laboratorio:	13/09/2021	15:26	Condiciones Ambientales	T max:	32 °C
Fecha Final de Análisis	23/09/2021			T mix:	22 °C

Coordenadas UTM 18M	X:298201
	Y:9956919

### PARÁMETROS, MÉTODO / REFERENCIA y RESULTADOS

Parámetros / Análisis Solicitado	Método de Referencia Normalizado/ ITE-AQLAB	Límite máximo Permisible	Unidad	Resultado	Incertidumbre (k=2)
*Bario	EPA 3050B, SM 3030B, 3111 D / 04/34	200	mg/Kg	553,3	-
Cadmio	EPA 3050B, SM 3030B, 3111 B / 04/33	0,5	mg/Kg	0,68	± 25 %
*Conductividad Eléctrica	EPA 9050 A/ 53/01	200	uS/cm	205,7	-
Niquel	EPA 3050 B, SM 3030 B, 3111 B / 04/33	19	mg/Kg	45,5	± 19%
Plomo	EPA 3050 B, SM 3030 B, 3111 B / 04/33	19	mg/Kg	20,8	± 14 %
Hidrocarburos totales	EPA 3550 B, 418,1 / 56	< 150	mg/Kg	300	± 7%
Hidrocarburos aromaticos policiclicos	EPA 3510 C, 3630 C, 8310 / 55	0.1	mg/Kg	0,2	± 4 %
*Potencial de Hidrogeno	EPA 9045 D/ 52/01	6 a 8	-	5,97	-

Fuente: Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la prevención y control de la Contaminación Ambiental.  
Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Suelo. Acuerdo Ministerial N° 097-A 04 Noviembre 2015.  
Tabla 1. Criterios de Calidad del suelo.

### REFERENCIA Y OBSERVACIONES:

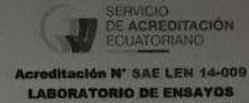
El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente.  
Los límites permisibles de las Normativas (\*) y los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.  
El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos relacionados a la muestra son conforme lo solicitado por el cliente.  
Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.



Ing. Armando Melena, ez Lara  
DIRECTOR TECNICO  
AUTORIZADO

16 166 a

# ANEXO T: ANÁLISIS DE SUELO MUESTRA 2



## INFORME DE ENSAYO N° 16 166 b

### INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE Coca, 23 de septiembre de 2021

Empresa:	GOBIERNO AUTONOMO DESCENTRALIZADO DE LA PROVINCIA DE ORELLANA.			
Solicitado por:	Ing. Augusto Cordova.	Dirección:	Coca.	
Toma de muestra:	Sr. Darwin García	Fecha y Hora	13/09/2021	10:50
Identificación de la muestra:	Suelo M2 Propiedad del Sr. Santos Merizalde Locación Comunidad Virgen del Carmen.			

### INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

Fecha y hora de ingreso al laboratorio:	13/09/2021	15:26
Fecha Final de Análisis	23/09/2021	

Condiciones Ambientales	T max:	32 °C
	T mix:	22 °C

Coordenadas UTM 18M	X:298227
	Y:9956834

### PARÁMETROS, MÉTODO / REFERENCIA y RESULTADOS

Parámetros / Análisis Solicitado	Método de Referencia Normalizado/ ITE-AQLAB	Límite máximo Permisible	Unidad	Resultado	Incertidumbre (k=2)
*Bario	EPA 3050B, SM 3030B, 3111 D / 04/34	200	mg/Kg	320,0	~
Cadmio	EPA 3050B, SM 3030B, 3111 B / 04/33	0,5	mg/Kg	0,9	± 25 %
*Conductividad Eléctrica	EPA 9050 A/ 53/01	200	uS/cm	213,9	~
Niquel	EPA 3050 B, SM 3030 B, 3111 B / 04/33	19	mg/Kg	32,4	± 19%
Plomo	EPA 3050 B, SM 3030 B, 3111 B / 04/33	19	mg/Kg	23,7	± 14 %
Hidrocarburos totales	EPA 3550 B, 418,1 / 56	< 150	mg/Kg	300	± 7%
Hidrocarburos aromaticos policiclicos	EPA 3510 C, 3630 C, 8310 / 55	0.1	mg/Kg	0,2	± 4 %
*Potencial de Hidrogeno	EPA 9045 D/ 52/01	6 a 8	~	5,99	~

Fuente: Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la prevención y control de la Contaminación Ambiental.  
 Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Suelo. Acuerdo Ministerial N° 097-A 04 Noviembre 2015.  
 Tabla 1. Criterios de Calidad del suelo.

### REFERENCIA Y OBSERVACIONES:

El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente.  
 Los límites permisibles de las Normativas (\*) y los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.  
 El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos relacionados a la muestra son conforme lo solicitado por el cliente.  
 Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio



*Armando Melendrez Lara*  
 Ing. Armando Melendrez Lara  
**DIRECTOR TECNICO  
 AUTORIZADO**

16 166 b

# ANEXO U: ANÁLISIS DE REMEDIACIÓN DEL SUELO MUESTRA 1

## INFORME DE ENSAYO N° 16 721 a

### INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Coca, 4 de febrero de 2022

Empresa:	KERLY FERNANDA ESPINOZA CHAVEZ.		
Solicitado por:	Srta. Kerly Espinoza.	Dirección:	Sacha.
Toma de muestra:	Srta. Kerly Espinoza.	Fecha y Hora:	19/01/2022 10:00:00
Identificación de la muestra:	Suelo M1, Finca del Sr. Carlos Yumbo realizada por calicata, profundidad de la muestra 0.70 cm, Area con vegetacion rodeada de Cacao Locacion Comunidad Virgen del Carmen,		

### INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

Fecha y hora ingreso al Laboratorio:	19/01/2022 14:30	Condiciones Ambientales	T max: 32 °C T min: 22 °C
Fecha Final de Análisis:	04/02/2022		
Coordenadas	X:0298429 Y:9957411		

### PARÁMETROS, MÉTODO / REFERENCIA y RESULTADOS

Parámetros / Análisis Solicitado	Método de Referencia ITE-AQLAB	Uso Residencial <sup>2) e</sup>	Uso Comercial <sup>2) e</sup>	Uso Industrial <sup>2) e</sup>	Uso Agrícola <sup>2) e</sup>	Unidad	Resultado	Incertidumbre (k=2)
*Bario	EPA 3050 B, SM 3030 B, 3111 D /04/34	500	2000	2000	750	mg/Kg	220	~
*Conductividad Electrica	EPA 9050 A / 52/02	2000	4000	4000	2000	uS/cm	13,11	~
Cadmio	EPA 3050B, SM 3030 B, 3111 B / 04/33	< 4	< 10	< 10	< 2	mg/Kg	< 1,17	± 25 %
Niquel	EPA 3050B, SM 3030 B, 3111 B / 04/33	< 100	< 100	< 50	< 50	mg/Kg	25,7	± 19 %
*Potencial de Hidrogeno	EPA 9045 D /52/01	6 a 8	6 a 8	6 a 8	6 a 8	~	6,36	~
Plomo	EPA 3050B, SM 3030 B, 3111 B / 04/33	< 140	< 150	< 150	< 60	mg/Kg	< 25,0	± 14 %
Hidrocarburos Totales	EPA 3050 C, EPA 418,1 / 56	< 230	< 620	< 620	< 150	mg/Kg	< 1 000	± 28%
Hidrocarburos aromaticos policiclicos	EPA 3510 C, 3630 C, 8310 / 55	**	**	**	**	mg/Kg	< 0,075	± 31 %

Fuente: Reglamento a la Ley de Gestion Ambiental para la prevencion y control de la contaminacion Ambiental.  
Norma de calidad ambiental y de desoarga de efluentes: Recurso Suelo. Acuerdo Ministerial N° 097-A 04, Noviembre 2015.  
Tabla 2: Criterios de Remediacion.  
\*\* No establecida en la Tabla.

### REFERENCIA Y OBSERVACIONES:

El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por El cliente.  
Los límites permisibles de las Normativas (®) y los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.  
El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos relacionados a la muestra son conforme lo solicitado por el cliente.  
Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio



16 721 a

# ANEXO V: ANÁLISIS DE REMEDIACIÓN DEL SUELO MUESTRA 2

## INFORME DE ENSAYO N° 16 721 b

### INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Coca, 4 de febrero de 2022

Empresa:	KERLY FERNANDA ESPINOZA CHAVEZ.		
Solicitado por:	Srta. Kerly Espinoza.	Dirección:	Sacha.
Toma de muestra:	Srta. Kerly Espinoza.	Fecha y Hora:	19/01/2022 11:00:00
Identificación de la muestra:	Suelo M2, Finca del Sr. Daniel Valarezo realizada por calicata, profundidad de la muestra 0.70 cm, Area con vegetación Locacion Comunidad Virgen del Carmen.		

### INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

Fecha y hora ingreso al Laboratorio	19/01/2022	14:30
Fecha Final de Análisis:	04/02/2022	

Condiciones Ambientales	T max: 32 °C
	T min: 22 °C

Coordenadas	X:0298560
	Y:9957055

### PARÁMETROS, MÉTODO / REFERENCIA y RESULTADOS

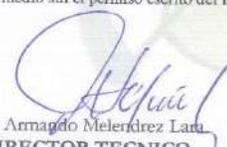
Parámetros / Análisis Solicitado	Método de Referencia ITE-AQLAB	Uso Residencial <sup>2) e</sup>	Uso Comercial <sup>2) e</sup>	Uso Industrial <sup>2) e</sup>	Uso Agrícola <sup>2) e</sup>	Unidad	Resultado	Incertidumbre (k=2)
*Bario	EPA 3050 B, SM 3030 B, 3111 D /04/34	500	2000	2000	750	mg/Kg	245	~
*Conductividad Electrica	EPA 9050 A / 52/02	2000	4000	4000	2000	uS/cm	15,63	~
Cadmio	EPA 3050B, SM 3030 B, 3111 B / 04/33	< 4	< 10	< 10	< 2	mg/Kg	< 1,17	± 25 %
Niquel	EPA 3050B, SM 3030 B, 3111 B / 04/33	< 100	< 100	< 50	< 50	mg/Kg	21,5	± 19 %
*Potencial de Hidrogeno	EPA 9045 D /52/01	6 a 8	6 a 8	6 a 8	6 a 8	~	6,39	~
Plomo	EPA 3050B, SM 3030 B, 3111 B / 04/33	< 140	< 150	< 150	< 60	mg/Kg	< 25,0	± 14 %
Hidrocarburos Totales	EPA 3050 C, EPA 418,1 / 56	< 230	< 620	< 620	< 150	mg/Kg	< 1 000	± 28%
Hidrocarburos aromaticos policiclicos	EPA 3510 C, 3630 C, 8310 / 55	**	**	**	**	mg/Kg	< 0,075	± 31 %

Fuente: Reglamento a la Ley de Gestion Ambiental para la prevencion y control de la contaminacion Ambiental. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Suelo. Acuerdo Ministerial N° 097-A-04, Noviembre 2015. Tabla 2: Criterios de Remediacion.  
\*\* No establecida en la Tabla.

### REFERENCIA Y OBSERVACIONES:

El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por El cliente.  
Los límites permisibles de las Normativas (®) y los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.  
El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos relacionados a la muestra son conforme lo solicitado por el cliente.  
Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio



  
Ing. Armando Melendez Lara  
DIRECTOR TECNICO  
AUTORIZADO

16 721 b

## ANEXO W: DATOS REALES DE LA REMEDIACIÓN DEL SUELO MUESTRA 1



### OFICIO N°: 2022-024

Francisco de Orellana 14 de febrero del 2022

Srta Kerly Espinoza  
**PROYECTOS DE INVESTIGACION ESPOCH-ENA**

**Presente,**

En atención a su consulta respecto a los resultados de análisis de suelos reportados en los informes de ensayo 16 721 a y 16 721 b, debo manifestar que los resultados reportados de los parámetros Cadmio, Plomo, Hidrocarburos Totales de Petróleo y Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, estos resultados son en base a nuestro alcance de acreditación para el análisis de suelos. Además adjunto la interpretación comparativa de los demás parámetros de mencionados informes.

A continuación detallo los valores reales obtenidos y la comparación de Normativa.

Informe 16 721 a

Parámetros	Unidad	Resultado obtenido	Limite Permisible (*)	CRITERIO
*Potencial de Hidrogeno		6,36	6 a 8	CUMPLE
*Conductividad Electrica	uS/cm	13,11	200	CUMPLE
*Bario	mg/kg	220	750	CUMPLE
Niquel	mg/kg	25,7	50	CUMPLE
*Cadmio	mg/kg	1,05	< 2	CUMPLE
*Plomo	mg/kg	2,68	< 60	CUMPLE
*Hidrocarburos Totales	mg/kg	77,0	< 150	CUMPLE
<b>*Hidrocarburos Aromaticos Policiclicos</b>				
*Fluoranteno	mg/kg	< 0,010	0,1	CUMPLE
*Benzo (b) Fluoranteno	mg/kg	< 0,005	0,1	CUMPLE
*Benzo (k) Fluoranteno	mg/kg	< 0,002	0,1	CUMPLE
*Benzo (a) Pireno	mg/kg	< 0,010	0,1	CUMPLE
*Benzo (g,h,i) Pireno	mg/kg	< 0,010	**	NO APLICA
*Indeno (1,2,3 cd) Pireno	mg/kg	< 0,024	0,1	CUMPLE

(\*)Reglamento a la Ley de Gestion Ambiental para la prevencion y control de la contaminacion Ambiental. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Suelo. Acuerdo Ministerial N° 097-A 04, Noviembre 2015. Tabla 2: Criterios de Remediacion. Uso agricola

Calle Juan Huncite S/N y Fray Gregorio de Alumina, Barrio Con Hogar tras concesionario Mazda  
Tel: (593) 6 2881 715 Cel. 0991666858

[www.aqlabec.com](http://www.aqlabec.com) - [laboratorio@aqllabec.com](mailto:laboratorio@aqllabec.com) / [laboratorioaqlab@gmail.com](mailto:laboratorioaqlab@gmail.com) / [info@aqllabec.com](mailto:info@aqllabec.com)

MC0202-01

Página 1 de 2

ANEXO X: DATOS REALES DE LA REMEDIACIÓN DEL SUELO MUESTRA 2



Informe 16 721 b

Parámetros	Unidad	Resultado obtenido	Limite Permissible (*)	CRITERIO
*Potencial de Hidrogeno		6,39	6 a 8	CUMPLE
*Conductividad Electrica	uS/cm	15,63	200	CUMPLE
*Bario	mg/kg	245	750	CUMPLE
Niquel	mg/kg	21,5	50	CUMPLE
*Cadmio	mg/kg	1,16	< 2	CUMPLE
*Plomo	mg/kg	3,43	< 60	CUMPLE
*Hidrocarburos Totales	mg/kg	38,2	< 150	CUMPLE
<b>*Hidrocarburos Aromaticos Policiclicos</b>				
*Fluoranteno	mg/kg	< 0,010	0,1	CUMPLE
*Benzo (b) Fluoranteno	mg/kg	< 0,005	0,1	CUMPLE
*Benzo (k) Fluoranteno	mg/kg	< 0,002	0,1	CUMPLE
*Benzo (a) Pireno	mg/kg	< 0,010	0,1	CUMPLE
*Benzo (g,h,i) Pireno	mg/kg	< 0,010	**	NO APLICA
*Indeno (1,2,3 cd) Pireno	mg/kg	< 0,024	0,1	CUMPLE

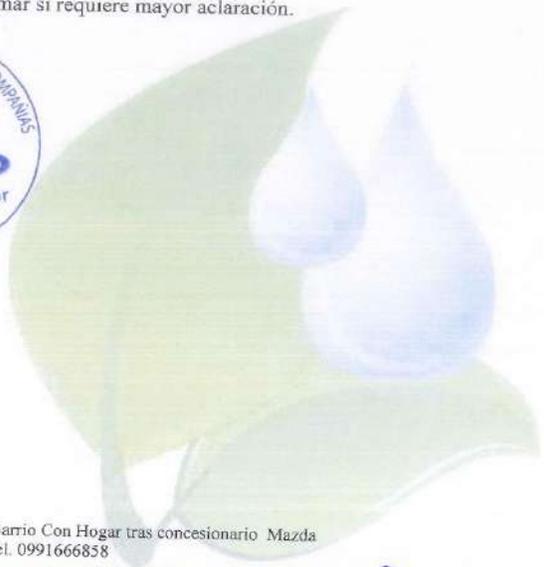
(\*)Reglamento a la Ley de Gestion Ambiental para la prevencion y control de la contaminacion Ambiental. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Suelo. Acuerdo Ministerial N° 097-A 04, Noviembre 2015. Tabla 2: Criterios de Remediacion. Uso agricola

Es todo cuanto podemos comunicar, favor confirmar si requiere mayor aclaración.

Atentamente,

Ing. Nelson Shiguango

DIRECCIÓN TÉCNICA AQLAB



Calle Juan Huncite S/N y Fray Gregorio de Aluminia, Barrio Con Hogar tras concesionario Mazda  
Telf.: (593) 6 2881 715 Cel. 0991666858

[www.aqlabec.com](http://www.aqlabec.com) - [laboratorio@aqlabec.com](mailto:laboratorio@aqlabec.com) / [laboratorioaqlab@gmail.com](mailto:laboratorioaqlab@gmail.com) / [info@aqlabec.com](mailto:info@aqlabec.com)

MC0202-01



epoch

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 17 / 10 / 2022

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Kerly Fernanda Espinoza Chavez
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería Ambiental
<b>Título a optar:</b> Ingeniera Ambiental
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.

Leonardo Medina  
18-10-2022.



1824-DBRA-UTP-2022