



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**EVALUACIÓN DE LA TOXICIDAD DE SUELOS
CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS MEDIANTE LA
UTILIZACIÓN DEL DESENGRASANTE BIODEGRADABLE
LEMON MAGIC PARA LA EMPRESA RKL, CIA. LTDA.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA:

KARLA MARIANELA CONLAGO GUALAVISÍ

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**EVALUACIÓN DE LA TOXICIDAD DE SUELOS
CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS MEDIANTE LA
UTILIZACIÓN DEL DESENGRASANTE BIODEGRADABLE
LEMON MAGIC PARA LA EMPRESA RKL, CIA. LTDA.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: KARLA MARIANELA CONLAGO GUALAVISÍ

DIRECTOR: Ing. ADRIÁN ALEJANDRO RODRÍGUEZ PINOS, Mgs.

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Karla Marianela Conlago Gualavisí

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

Yo, Karla Marianela Conlago Gualavisí, 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.

Riobamba, 20 de marzo de 2023

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Karla Conlago', with a large, stylized initial 'K'.

Karla Marianela Conlago Gualavisí
172452779-9

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **EVALUACIÓN DE LA TOXICIDAD DE SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DEL DESENGRASANTE BIODEGRADABLE LEMON MAGIC PARA LA EMPRESA RKL, CIA. LTDA.**, realizado por la señorita: **KARLA MARIANELA CONLAGO GUALAVISÍ**, 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.

	FIRMA	FECHA
Ing. Paúl Gustavo Palmay Paredes, MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 <small>Firmado electrónicamente por:</small> PAUL GUSTAVO PALMAY PAREDES	2023-03-20
Ing. Adrián Alejandro Rodríguez Pinos, Mgs. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 <small>Firmado electrónicamente por:</small> ADRIAN ALEJANDRO RODRIGUEZ PINOS	2023-03-20
Ing. Luis Santiago Carrera Almendáriz, MSc. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 <small>Firmado electrónicamente por:</small> LUIS SANTIAGO CARRERA ALMENDARIZ	2023-03-20

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a Dios, por darme sabiduría y fortaleza, para afrontar cada uno de los obstáculos que se presentaron en el camino durante todos los años de formación académica, a mi madre Rosa Gualavisí, que siempre me apoyo incondicionalmente, brindándome ánimos y esperanza, que gracias a su esfuerzo he podido llegar hasta aquí, a mi amado hijo Santiel, que fue la inspiración para continuar cuando me rendía, y a todos mis hermanos muchas gracias, ya que siempre han sido un gran ejemplo a seguir y me han enseñado a esforzarme para cumplir mis metas.

A una persona muy especial que en el presente ya no se encuentra conmigo, pero que en esos momentos difíciles siempre estuvo ahí apoyándome y acompañándome cada día, enseñándome a no rendirme y que fue el motivo para no darme por vencida.

Karla

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer infinitamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por abrirme sus puertas para mi formación académica todos estos años, a cada uno de los Ingenieros, técnicos y docentes que aportaron con su conocimiento. A mi director de este trabajo, Ing. Adrián Rodríguez Pinos, por su enseñanza, su paciencia y apoyo durante la realización del Trabajo de Integración Curricular.

Karla

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xv
RESUMEN.....	xvi
SUMMARY	xvii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Planteamiento del problema	2
1.2. Limitaciones y delimitaciones.....	3
1.2.1. <i>Limitaciones</i>	3
1.2.2. <i>Delimitaciones</i>	3
1.2.2.1. <i>Delimitación espacial</i>	3
1.2.2.2. <i>Delimitación geográfica</i>	3
1.2.2.3. <i>Delimitación temporal</i>	3
1.3. Problema general de investigación.....	3
1.4. Problemas específicos de investigación.....	4
1.5. Objetivos.....	4
1.5.1. <i>Objetivo general</i>	4
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	4
1.6. Justificación.....	4
1.6.1. <i>Justificación teórica</i>	4
1.6.2. <i>Justificación metodológica</i>	5
1.6.3. <i>Justificación práctica</i>	6
1.7. Hipótesis	6
1.7.1. <i>Hipótesis general</i>	6
1.7.2. <i>Hipótesis específicas</i>	6

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	7
2.1. Antecedentes de la investigación	7
2.2. Referencias teóricas	10
2.2.1. <i>Petróleo</i>	10
2.2.1.1. <i>Caracterización del crudo de petróleo</i>	10
2.2.1.2. <i>Gravedad API (densidad)</i>	10
2.2.1.3. <i>Gravedad específica</i>	11
2.2.1.4. <i>Contenido de azufre</i>	11
2.2.1.5. <i>Poder calorífico</i>	12
2.2.1.6. <i>Viscosidad</i>	12
2.2.1.7. <i>Hidrocarburos totales del petróleo (TPH)</i>	12
2.2.2. <i>Suelo</i>	13
2.2.2.1. <i>Contaminación del suelo</i>	13
2.2.2.2. <i>Contaminación del suelo con TPH</i>	13
2.2.2.3. <i>Remediación de suelos</i>	14
2.2.2.4. <i>Tecnologías de remediación de suelos</i>	14
2.2.2.5. <i>Tecnologías de remediación físico- químicos</i>	15
2.2.3. <i>Lavado de suelos</i>	16
2.2.3.1. <i>Desventaja</i>	16
2.2.3.2. <i>Tipos de lavado de suelo</i>	16
2.2.3.3. <i>Compuestos para el lavado de suelos</i>	17
2.2.3.4. <i>Surfactantes</i>	18
2.2.4. <i>Desengrasante biodegradable LEMON MAGIC</i>	18
2.2.4.1. <i>Componentes del desengrasante</i>	19
2.2.4.2. <i>Propiedades Físico-química</i>	19
2.2.4.3. <i>Características del desengrasante</i>	20
2.2.4.4. <i>Usos del desengrasante</i>	20
2.2.5. <i>Normativa ambiental</i>	21
2.2.5.1. <i>Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA)</i>	21
2.2.5.2. <i>Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador</i>	21
2.2.5.3. <i>Toxicidad</i>	22

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	23
3.1.	Enfoque de investigación	23
3.2.	Nivel de investigación	23
3.3.	Diseño de investigación	23
3.3.1.	<i>Según la manipulación o no de la variable independiente</i>	23
3.3.1.1.	<i>Descripción de las variables</i>	23
3.3.2.	<i>Según las intervenciones en el trabajo de campo</i>	24
3.3.3.	<i>Diseño factorial 2k</i>	24
3.3.3.1.	<i>Esquema de Tratamiento para la remoción de TPH</i>	24
3.3.3.2.	<i>Diseño factorial 2k para remoción de TPH</i>	25
3.4.	Tipo de estudio	25
3.5.	Población y Planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra	26
3.5.1.	<i>Población</i>	26
3.5.2.	<i>Selección de la muestra</i>	26
3.5.3.	<i>Tamaño de la muestra</i>	26
3.6.	Métodos, técnicas e instrumentos de investigación	26
3.6.1.	<i>Técnicas utilizadas en la siguiente investigación para recolectar datos</i>	26
3.6.1.1.	<i>Diagrama Proceso de remediación</i>	27
3.7.	Técnicas de recolección de datos	28
3.7.1.	<i>Caracterización del suelo</i>	28
3.7.1.1.	<i>Determinación del pH del suelo</i>	28
3.7.2.	<i>Caracterización del petróleo</i>	29
3.7.2.1.	<i>Densidad API</i>	29
3.7.2.2.	<i>Viscosidad cinemática</i>	30
3.7.3.	<i>Contaminación de la muestra de suelo</i>	31
3.7.3.1.	<i>Lavado de suelo</i>	32

CAPÍTULO IV

4.	DATOS, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	33
4.1.	Datos	33
4.1.1.	<i>Caracterización del suelo</i>	33
4.1.1.1.	<i>pH del suelo</i>	33
4.1.2.	<i>Caracterización del petróleo</i>	33
4.1.2.1.	<i>Densidad API</i>	33

4.1.2.2.	<i>Viscosidad cinemática</i>	33
4.2.	Cálculos	34
4.2.1.	<i>Cálculo de la densidad del suelo</i>	34
4.2.1.1.	<i>Densidad aparente</i>	34
4.2.1.2.	<i>Densidad real</i>	34
4.2.1.3.	<i>Densidad relativa</i>	34
4.2.1.4.	<i>Porosidad</i>	34
4.2.2.	<i>Cálculo de densidad API del crudo petróleo</i>	35
4.2.3.	<i>Cálculo de viscosidad cinemática</i>	36
4.3.	Resultados	37
4.3.1.	<i>Caracterización del suelo</i>	37
4.3.1.1.	<i>Discusión de los resultados de la caracterización del suelo</i>	37
4.3.2.	<i>Caracterización del crudo de petróleo</i>	38
4.3.2.1.	<i>Discusión de resultados de la caracterización del crudo de petróleo</i>	38
4.3.3.	<i>TPH de la muestra inicial</i>	39
4.3.4.	<i>Resultados obtenidos en el análisis de TPH</i>	39
4.3.5.	<i>Análisis del diseño experimental</i>	40
4.3.5.1.	<i>Discusión de resultados del diseño experimental</i>	42
4.4.	Prueba de hipótesis	44
4.4.1.	<i>Hipótesis general</i>	44
4.4.2.	<i>Hipótesis específicas</i>	44
CONCLUSIONES		46
RECOMENDACIONES		47

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Revisión bibliográfica.....	9
Tabla 2-2:	Caracterización del crudo de petróleo.....	10
Tabla 2-3:	Clasificación del petróleo crudo en relación con los grados API	11
Tabla 2-4:	Gravedad específica	11
Tabla 2-5:	Viscosidad de los petróleos.....	12
Tabla 2-6:	Principales técnicas de recuperación de suelos.....	14
Tabla 2-7:	Ventajas del lavado ex situ	17
Tabla 2-8:	Propiedades Fisicoquímicas del desengrasante Lemon Magic	19
Tabla 2-9:	Características del desengrasante biodegradable	20
Tabla 2-10:	Límites permisibles para la remediación de suelos contaminados.....	21
Tabla 3-1:	Variables dependiente e independiente.....	23
Tabla 3-2:	Tratamiento para la remoción de TPH.....	24
Tabla 3-3:	Tratamientos de remoción de TPH con Lemon Magic	25
Tabla 3-4:	Determinación del pH del suelo.....	28
Tabla 3-5:	Densidad API.....	29
Tabla 3-6:	Viscosidad cinemática	30
Tabla 3-7:	Técnica para contaminar la muestra.....	31
Tabla 3-8:	Técnica para el lavado de suelo	32
Tabla 4-1:	Datos de pH del suelo	33
Tabla 4-2:	Datos experimentales para determinación de densidad API corregida.....	33
Tabla 4-3:	Datos experimentales para viscosidad cinemática	33
Tabla 4-4:	Resultado de la caracterización físico-química del suelo	37
Tabla 4-5:	Resultado caracterización del crudo de petróleo.....	38
Tabla 4-6:	TPH del suelo contaminado	39
Tabla 4-7:	Resultado de remoción de TPH por espectrofotometría infrarroja	39
Tabla 4-8:	Información del factor.....	41

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Proceso de lavado de suelos ex situ	17
Ilustración 2-2: Desengrasante LEMON MAGIC.....	19
Ilustración 3-1: Diagrama proceso de remediación.....	27
Ilustración 4-1: Remoción de TPH por cada tratamiento	40
Ilustración 4-2: Análisis de varianza	41
Ilustración 4-3: Diagrama de Pareto.....	42

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 3-1:	Densidad aparente.....	28
Ecuación 3-2:	Densidad real	29
Ecuación 3-3:	Densidad relativa	29
Ecuación 3-4:	Porosidad	29
Ecuación 3-5:	Densidad API corregida.....	30
Ecuación 3-6:	Gravedad específica.....	30
Ecuación 3-7:	Densidad API.....	30
Ecuación 3-8:	Viscosidad cinemática	31
Ecuación 3-9:	Viscosidad dinámica.....	31

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** CONTAMINACIÓN DE LA MUESTRA DE SUELO CON PETRÓLEO
- ANEXO B:** PROCESO DE LAVADO DE SUELO CON EL DESENGRASANTE LEMON
MAGIC
- ANEXO C:** PROCESO DE LAVADO DE SUELO CON EL DESENGRASANTE LEMON
MAGIC
- ANEXO D:** PROCESO DE LAVADO DE SUELO CON EL DESENGRASANTE LEMON
MAGIC
- ANEXO E:** CARACTERIZACIÓN DEL PETRÓLEO Y DEL SUELO
- ANEXO F:** RESULTADOS CARACTERIZACIÓN DEL SUELO DENSIDAD
- ANEXO G:** RESULTADOS CARACTERIZACIÓN DEL SUELO TEXTURA
- ANEXO H:** RESULTADOS CARACTERIZACIÓN DEL SUELO HIDROCARBUROS
TOTALES

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

API	Instituto Americano del Petróleo
RAHOE	Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador
TPH	Hidrocarburos Totales de Petróleo
NTE-INEN	Normas Técnicas Ecuatorianas- Instituto Ecuatoriano de Normalización

RESUMEN

La contaminación del suelo por hidrocarburos afecta negativamente la capacidad de producir cultivos de calidad. Cuando los hidrocarburos entran en contacto con el suelo, desencadenan procesos fisicoquímicos simultáneos que aumentan su toxicidad y dificultan su remedio. Por lo tanto, en el presente trabajo de investigación se evaluó la toxicidad de los suelos contaminados con hidrocarburos utilizando el desengrasante biodegradable Lemon Magic para la empresa RKL CIA, Ltda., ubicada en el cantón Puyo Provincia de Pastaza. Se trabajó con una muestra de suelo tipo franco arcillo arenoso de 1500g, se tomó una muestra de 500 g de suelo para su respectiva caracterización y una muestra de crudo de petróleo. La muestra de suelo fue contaminada con 40000 ppm de crudo de petróleo, y se sometió a un tratamiento de remediación con la técnica de lavado utilizando el desengrasante Lemon Magic, variando la concentración del desengrasante y la temperatura del sistema en el agitador tipo Shaker del laboratorio de Investigación de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Se obtuvo una mayor remoción de hidrocarburos totales de petróleo (TPH) en el Tratamiento 2, en el cual se utilizó una concentración de 10% V/V y una temperatura de 120°F. El proceso efectuado con Lemon Magic logró una remoción del 90,5%, obteniendo un valor de 3366 mg/kg que está dentro de los límites permisibles de acuerdo con la normativa del RAOHE para el uso del suelo en actividades industriales. En conclusión, el uso de Lemon Magic resultó efectivo en la remoción de hidrocarburos totales de petróleo TPH en el suelo contaminado con crudo de petróleo. Se recomienda variar las concentraciones del contaminante para simular un derrame real y evaluar la eficacia del desengrasante en diferentes condiciones.

Palabras clave: <HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO>, <DESENGRASANTE BIODEGRADABLE>, <LEMON MAGIC>, <REMEDIACIÓN>, <LAVADO>.

1887-DBRA-UPT-2023



SUMMARY

Soil contamination by hydrocarbons affects negatively the ability to produce quality crops. When hydrocarbons come into contact with the soil, they trigger simultaneous physicochemical processes that increase its toxicity and make its remediation difficult. Therefore, in this research work, the toxicity of soils contaminated with hydrocarbons was evaluated using the biodegradable degreaser Lemon Magic for the company RKL CIA, Ltda., located Puyo canton, Pastaza Province. A 1500 g sample of sandy clay loam soil was used; also a 500 g sample of soil was taken for its respective characterization together with a sample of crude oil. The soil sample was contaminated with 40000 ppm of crude oil and was subjected to a remediation treatment with the washing technique using Lemon Magic degreaser, varying the concentration of the degreaser and the temperature of the system in the Shaker type agitator in the Research Laboratory of the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. A higher removal of total petroleum hydrocarbons (TPH) was obtained in Treatment 2, in which a concentration of 10% V/V and a temperature of 120°F were used. The process carried out with Lemon Magic achieved a removal of 90.5%, obtaining a value of 3366 mg/kg, which is within the permissible limits according to the RAOHE regulations for the use of soil in industrial activities. In conclusion, the use of Lemon Magic was effective in the removal of total petroleum hydrocarbons TPH in soil contaminated with crude oil. It is recommended to vary the concentrations of the contaminant to simulate a real spill and evaluate the efficacy of the degreaser under different conditions.

Key words: <TOTAL PETROLEUM HYDROCARBONS>, <BIODEGRADABLE DEGREASANT>, <LEMON MAGIC>, <REMEDICATION>, <WASHING>, <RAOHE>.



Abg. Ana Gabriela Reinoso, Mgs.

C.I.: 1103696132

INTRODUCCIÓN

A inicios de 1911 se empezó con la exploración petrolífera en el Ecuador, se construyó el primer pozo en la península de Santa Elena, llamado Ancón 1, pero fue en 1967 que el Consorcio Texaco Gulf perforó el pozo de Lago Agrio 1, dando paso al auge de la industria hidrocarburífera (Romero, 2010, p.10), haciendo que se convirtiera en una de las fuentes principales de ingreso económico, tanto que en el año 2008, represento un 22.2% del Producto Interno Bruto ecuatoriano (PIB), 46.6% del presupuesto general del estado y un 63.1% de las exportaciones totales.

El manejo inadecuado de los materiales y residuos peligrosos, han generado la contaminación de los principales recursos naturales que son suelo, aire y agua. El petróleo se destaca entre los principales contaminantes, su exploración, extracción, refinó y transporte producen severos daños que afectan a la calidad del medio ambiente en todos los países. En la amazonia ecuatoriana varias comunidades indígenas se han visto afectadas por el derrame accidental de petróleo, el cual ha causado una alteración en la cadena alimenticia.

Los hidrocarburos totales de petróleo (TPH) son un grupo de contaminantes orgánicos que se liberan fácilmente en el suelo debido a derrames en la superficie causando daños significativos a la salud humana y al medio ambiente (Li et al., 2020, p.52), ocupan un lugar destacado entre los desastres ambientales globales y son provenientes del aumento de las actividades industriales (Zeneli et al., 2019, p.14). La contaminación por TPH ocurre cuando la cantidad de hidrocarburos en el suelo se encuentran por encima de los límites permisibles y altera la capacidad de descomposición de los microorganismos presentes en el ambiente los que son responsables de la mineralización y oxidación del TPH, fracciones que no se degradan se incrustan en el suelo o en los sedimentos las cuales permanecen por un periodo largo de tiempo lo que origina un suelo contaminado afectando notoriamente sus características y propiedades (Castro, 2007, p.12).

Se conocen varias tecnologías para la remediación de suelos contaminados, las cuales han desarrollado estrategias sostenibles. Esto ha llevado a utilizar las tecnologías de remediación fisicoquímicas usando el lavado de suelos, en el cual el suelo contaminado se extrae y se lava con agentes surfactantes que se colocan en una unidad para el lavado con el fin de remover el contaminante y trasladarlo a la fase acuosa.(Volke y Velasco, 2002, p.42).

Por lo antes mencionado acerca de los efectos nocivos de los TPH en la salud humana y ecológica, el presente trabajo de investigación se fundamenta en evaluar la remoción de TPH con el producto Lemon Magic de un suelo contaminado con hidrocarburos.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

La contaminación de los suelos por hidrocarburos invalida la capacidad para producir y generar plántos de calidad, al momento que un hidrocarburo entra en contacto con el suelo imposibilita el intercambio gaseoso con la atmósfera, iniciando una serie de procesos fisicoquímicos simultáneos como evaporación y penetración, ocasionando una mayor toxicidad y de esta manera dificultando su tratamiento (Benavides et al., 2006, p. 82). El petróleo por ser un hidrocarburo de peso molecular alto contiene tres niveles de salinidad bajos, medianos y altos lo que dificulta el restablecimiento natural del suelo debido a que la salinidad destruye la estructura de proteínas y enzimas de los microorganismos usados en los procesos bacterianos, por esta razón es evidente realizar una remediación del suelo para su recuperación.

Por otra parte la problemática principal durante la contingencia, recuperación, limpieza y remediación de un suelo en un derrame de crudo es el uso de productos tóxicos sintéticos, los cuales pueden llegar causar mayor impacto ambiental que el propio contaminante, produciendo daños en las personas, flora y fauna; debido a esto la empresa RKL a trabajo en una línea de investigación desarrollando un producto desengrasante biodegradable (LEMON MAGIC) el cual es amigable con los seres vivos y el entorno natural.

Por otra parte, la cantidad generada de suelo contaminado es un gran problema debido a los altos costos que genera a la empresa por la disposición final a un Gestor Ambiental; por lo que RKL ha elaborado máquinas para tratamiento Ex-situ durante la remediación; mismas que permitirán reducir la cantidad de residuos contaminados generados en los diferentes proyectos.

Por esta razón es preciso realizar análisis de hidrocarburos de petróleo totales (TPH) de los suelos contaminados con petróleo pre y post tratamiento de lavado, con el desengrasante biodegradable para ser comparados con la normativa vigente, en estándares de calidad ambiental para suelos remediados. Con este estudio se conocerá las características con las que los suelos serán depositados en el medio ambiente, con el fin de dar su respectivo uso.

1.2. Limitaciones y delimitaciones

1.2.1. Limitaciones

La presente investigación está dirigida a evaluar parámetros a nivel experimental de la toxicidad del suelo y no se extenderá a nivel industrial debido a los altos costos que esto genera, de igual forma el desengrasante “Lemon Magic” a utilizar en el estudio tiene una variedad de aplicaciones entre estas la remediación ambiental de suelos contaminados con crudo de petróleo, por lo cual se determinará la eficacia que tendrá el producto al remover de los suelos contaminados los niveles de TPH.

1.2.2. Delimitaciones

1.2.2.1. Delimitación espacial

Esta investigación se desarrolló en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, facultad de Ciencias, laboratorio de Análisis Instrumental e Investigación.

1.2.2.2. Delimitación geográfica

Para la recolección de datos estadísticos del crudo fue en la provincia de Sucumbíos, cantón Lago Agrio, asimismo para la toma de muestras de suelo contaminado y su posterior traslado a la Provincia de Chimborazo al laboratorio de Instrumental, donde se obtuvo resultados contemplados en los parámetros requeridos para la evaluación de suelos contaminados con hidrocarburos.

1.2.2.3. Delimitación temporal

Se realizó la presente investigación en un tiempo comprendido entre Abril-Agosto 2022, entre este tiempo se llevó a cabo la parte teórica y experimental a nivel de laboratorio, donde se valoró los parámetros más importantes en los suelos contaminados con hidrocarburos tomando en cuenta que el tiempo para su realización fue corto.

1.3. Problema general de investigación

¿En qué medida la aplicación del desengrasante LEMON MAGIC permitirá la recuperación de los suelos contaminados por derrames de hidrocarburos?

1.4. Problemas específicos de investigación

- a) ¿Qué características debe tener el suelo y el contaminante para que sea más efectivo la técnica de lavado para remover TPH?
- b) ¿En qué medida las variables afectaran en el proceso de lavado con el desengrasante LEMON MAGIC?
- c) ¿Cuáles serán las concentraciones finales de TPH según la normativa ambiental RAHOE vigente en los suelos contaminados por derrames de hidrocarburos después del proceso de remediación por lavado?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Evaluar la toxicidad de los suelos contaminados con hidrocarburos mediante la utilización del desengrasante biodegradable “LEMON MAGIC” para la empresa RKL, CIA, LTDA.

1.5.2. Objetivos específicos

- Realizar la caracterización fisicoquímica del suelo virgen y crudo de petróleo.
- Determinar las variables optimas en el proceso lavado de suelo utilizando el desengrasante biodegradable “LEMON MAGIC, en base a un diseño experimental.
- Analizar los parámetros de toxicidad de acuerdo con los limites permisibles de TPH en el suelo tratado establecido en la normativa RAOHE.

1.6. Justificación

1.6.1. Justificación teórica

En nuestro país, la extracción de petróleo juega un papel importante debido a que sus derivados como los aceites, combustibles ligeros y pesados son utilizados en diferentes áreas, lamentablemente en ciertos casos se presentan fugas accidentales o inadvertidas de estos compuestos, ocasionando daños al medio ambiente. El impacto ambiental, ocasionado por los derrames de petróleo no es solo lo que se aprecia a simple vista, es por esto por lo que la función principal de los procesos de remediación en el suelo debe estar orientados no solamente a

disminuir la concentración de los contaminantes, sino también a restaurar la salud del suelo que es lo más importante dejando un suelo próspero y productivo. (Fernández & Humbser, 2014, p. 17).

En diversas investigaciones se ha reportado que los TPH se pueden remover por distintas tecnologías, sin embargo, la mayoría de estas son insostenibles debido a los altos costos que estos generan, de mantenimiento de equipos, flexibilidad y confiabilidad del proceso, impacto ambiental. Por lo que, el lavado de suelo con surfactantes ha demostrado ser una técnica prometedora, permitiendo alcanzar concentraciones menores a los límites permisibles de TPH. Por esta razón se ha desarrollado un producto desengrasante Lemon Magic para el lavado de suelo contaminado con hidrocarburos, el cual posee cualidades biodegradables que ayuda a mitigar la contaminación y de reducido valor económico, está diseñado para atender manera rápida y segura el daño ambiental ante un gran derrame de hidrocarburo de hecho es una de las primeras opciones para brindar respuesta ante derrames. Por ende, las entidades dedicadas a la extracción de petróleo que son las principales fuentes de contaminación del suelo, aire y agua en el oriente ecuatoriano, son las encargadas de remediar los suelos afectados.

Actualmente la empresa Bio & Limpieza RKL CIA. LTDA, no cuenta con análisis de laboratorio de los suelos remediados mediante el del producto “LEMON MAGIC”, por lo que se ha visto la necesidad de realizar una evaluación a nivel de laboratorio, de los suelos contaminados con hidrocarburos. El principal problema en la remediación ambiental es la generación de desechos entre ellos los suelos contaminados; sin embargo, mediante el uso de “LEMMON MAGIC”, se puede reducir y ahorrar costos al cliente por envío a disposición final.

1.6.2. Justificación metodológica

Para alcanzar los objetivos planteados en el trabajo de investigación se utilizarán técnicas como el muestreo y análisis experimental a nivel de laboratorio que son resultados reales tomados en el laboratorio de Suelos, Investigación e Instrumental de la facultad de Ciencias en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, de igual forma con la recopilación bibliográfica que es importante para la recolección de datos y aporte de veracidad a la investigación a realizar que es compartida con la observación directa la cual verifica los aportes y profundiza con la evaluación de la toxicidad de los suelos contaminados con hidrocarburos mediante la utilización de desengrasantes biodegradables. En este estudio, se evaluará la técnica de remediación de lavado de suelo con el desengrasante biodegradable, LEMON MAGIC, en el suelo contaminado, dependiendo de la carga contaminante y las características del suelo. Esta técnica trata de acelerar los procesos de remoción de TPH utilizando un tratamiento adecuado suministrando la

concentración más óptima de desengrasante, para el lavado del suelo en un periodo de tiempo, y una temperatura la misma que, ayudará a reducir los niveles de contaminante presente.

1.6.3. Justificación práctica

Esta investigación contribuirá a la empresa RKL, con los análisis de hidrocarburos de petróleo totales (TPH) de un suelo contaminado a nivel de laboratorio, mediante la utilización de su producto “LEMMON MAGIC”, dicho análisis servirá para los futuros proyectos que realice la empresa, en el campo de remediación ambiental, se podrá saber la eficiencia que tiene el desengrasante para la disposición final de los suelos como industrial o agrícola según los límites permisibles para suelos remediados, establecidos en el reglamento ambiental de actividades hidrocarburíferas.

1.7. Hipótesis

1.7.1. Hipótesis general

- La utilización del desengrasante biodegradable Lemon Magic logra la remoción de TPH del suelo contaminado con hidrocarburos.

1.7.2. Hipótesis específicas

- El crudo derramado en el suelo se clasifica como liviano, mediano, pesado o extrapesado, las características del suelo utilizado serán favorables en la remediación.
- Las variables como la concentración y temperatura influyen significativamente en el proceso de lavado, determinado la efectividad del desengrasante Biodegradable LEMON MAGIC.
- Los TPH analizados en la muestra tratada se encuentran de los límites permisibles de la normativa RAOHE, para la remediación de suelos contaminados.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Actualmente uno de los problemas de mayor relevancia a nivel mundial es la contaminación ambiental generada por los derrames de petróleo crudo en diferentes procesos ya sea de extracción, producción y transporte, debido a esto han surgido varias líneas de investigación basadas en el desarrollo de formulaciones para la elaboración de productos que ayuden a la recuperación de los suelos contaminados por los hidrocarburos presentes, los cuales deben ser biodegradables y amigables con el ambiente.

Los tratamientos fisicoquímicos como el lavado de suelo es una de las tecnologías usadas hoy en día. En estos tratamientos se pueden emplear el uso de surfactantes. Los más recomendables para el lavado o biorremediación son los aniónicos ya que suelen ser menos tóxicos, y poseen mayor biodegradabilidad. En el lavado de suelos los surfactantes trasladan el contaminante de una fase sólida a una fase acuosa (Riojas et al., 2010, p.8).

El lavado del suelo mejorado con surfactantes es una forma efectiva de remediar los suelos contaminados con petróleo. Como molécula anfifílica, el surfactante elimina el petróleo crudo del suelo contaminado principalmente por dos mecanismos: movilización inducida por la tensión interfacial aceite/agua reducida y la solubilización de los contaminantes en los núcleos hidrofóbicos del surfactante micelas (Mulligan, Yong y Gibbs, 2001, p .7). Con esta técnica de lavado se han obtenido resultados teniendo la capacidad de movilizar contaminantes orgánicos como los hidrocarburos que están fuertemente adsorbidos al suelo (Riojas et al., 2011, p.3). En un gran número de las investigaciones antes realizadas se utilizaron tensoactivos sintéticos tradicionales, que han traído problemas debido a su toxicidad y baja biodegradabilidad. Por lo tanto, tensoactivos de baja toxicidad y alta biodegradabilidad han recibido cada vez más interés en este campo.

Sin embargo, la aplicación de un desengrasante biodegradable como LEMON MAGIC en el lavado de suelos contaminados con petróleo crudo, no ha sido reportada en literatura abierta, por lo tanto, se maneja que su principal componente es el d-limoneno y se ha referenciado estudios donde se ha utilizado este compuesto.

Evaluación de un surfactante de origen natural como dispersante en derrames de hidrocarburos según Herazo y Romero (2021, p.5), el D-limoneno se utilizó para remediar suelo contaminado con

crudo, se evidenció una remoción del 50% similar al uso de producto desengrasantes comerciales como COREXIT® EC9500A, MARINE D-BLUE CLEAN™, SAFRON GOLD con valores de eficiencias alcanzadas de 54, 55 y 53%. En la Tabla 2-1 se muestran diferentes estudios acerca de la remediación de suelo contaminado con petróleo crudo utilizando diferentes productos

Tabla 2-1: Revisión bibliográfica

Año	Tipo	Nombre de la Investigación	Autor (es)	Lugar	Compuesto Utilizado	% remoción de TPH	TPH final, inicial mg / Kg
2010	Articulo	Evaluación de la biorremediación aplicando mezclas de surfactante-solvente en suelo contaminado con diésel	Héctor Hugo Riojas González Pablo Gortáres-Moroyoqui	México	Mezcla de Tween 80 con D-Limoneno	46.5	5,950
2012	Tesis	Lavado In Situ de un suelo contaminado con diésel, asistido con surfactantes.	Oscar Piña Maldonado	México	Texapon N-40	36.89	24,762
2013	Tesis	Remoción de diésel en un suelo empleando surfactantes sintéticos	María Adriana Martínez Martínez	México	Alquil - éter sulfato de sodio	89.63	203,280
2013	Tesis	Formulación y evaluación de dispersantes detergentes y desengrasantes biodegradables para derrames en suelo de crudos livianos en la industria petrolera	Grace Natalia Enríquez Rodríguez	Ecuador			
2001	Articulo	Evaluation of a surfactant of natural origin as a dispersant in oil spills in seas•	Duvanís Enrique Herazo-Navajas	Colombia	Mezcla surfactante natural en estudio saponina y el solvente D - Limoneno	50	1983.9
2004	Articulo	Evaluation of biosurfactants for crude oil contaminated soil washing	Urum, Kingsley Pekdemir, Turgay	Inglaterra	Tanino	52	8700,5

Realizado por: Conlago, K., 2022.

2.2. Referencias teóricas

2.2.1. *Petróleo*

El petróleo es un líquido viscoso de color verde, amarillo, marrón o negro, formado por diferentes hidrocarburos, compuestos por átomos de carbono e hidrógeno en diferentes cantidades. Los yacimientos de petróleo no tienen la misma composición, ya que, también se pueden encontrar otros compuestos nitrogenados oxigenados, nitrogenados, azufre, níquel y metales pesados. Su origen se da por la descomposición organismos que vivían en la tierra hace millones de años (Burgos, Catells y Reol, 2002, p. 4).

2.2.1.1. *Caracterización del crudo de petróleo*

Tabla 2-2: Caracterización del crudo de petróleo

PARAMETROS	UNIDADES	NORMA ASTM	VALORES
API 60 °F	° API	D 1298-85	28.7
Api seco	° API		28.7
Gravedad especifica			0.8833
Azufre	% peso	D 4294-90	0.82
Poder calorífico*	BTU/ lb	D 240-92	20240
Poder calorífico*	KJ / Kg		46921
Poder calorífico*	Kcal/Kg		11221
Viscosidad cst 80 ° F	cSt	D 445-88	22.5
Viscosidad cst 104 ° F	cSt		14.8

Fuente: (PetroEcuador, 2022, p.1)

Realizado por: Conlago, K., 2022.

2.2.1.2. *Gravedad API (densidad)*

La gravedad API es una propiedad propuesta por el Instituto Americano del Petróleo, que utiliza la escala API, se basa en la densidad relativa del petróleo como criterio de clasificación del petróleo (Santos et al., 2014, p. 574). Esta propiedad indica si el crudo es liviano o pesado. Los crudos livianos tienen a convertirse en gasolina, combustible pesado y diésel una vez refinados. Los crudos más pesados tienen altas proporciones de moléculas grandes, que las refinerías pueden utilizar en combustibles industriales pesados, asfalto y otros productos. La densidad de un crudo se expresa en términos de gravedad API (ICCT, 2011, p. 6).

Tabla 2-3: Clasificación del petróleo crudo en relación con los grados API

Petróleo crudo	° API
Liviano	$^{\circ}\text{API} \geq 31$
Mediano	$22 \leq ^{\circ}\text{API} < 31$
Pesado	$10 \leq ^{\circ}\text{API} < 22$
Extrapesado	$^{\circ}\text{API} \leq 10$

Fuente: (Santos et al., 2014, p. 575).

Realizado por: Conlago, K., 2022.

2.2.1.3. Gravedad específica

La gravedad específica es un parámetro del que depende la calidad del crudo y es utilizada para darnos una idea de la composición, el calor de combustión y el valor para ser comercializado.

Es la relación que existe entre la densidad del líquido con respecto a la densidad del agua medidas a las mismas condiciones de temperatura. La gravedad específica 60/60 hace referencia a que las densidades del líquido y el agua fueron tomadas a 60 °F y a la misma presión. Si se miden a cualquier otra temperatura se debe hacer una corrección a la gravedad leída en la observación (León, 2013, p. 12).

Tabla 2-4: Gravedad específica

Petróleo	Gravedad Específica (g/cm³)
Extrapesado	>1.0
Pesado	1.0 - 0.92
Mediano	0.92 - 0.87
Ligero	0.87 - 0.83
Super ligero	<0.83

Fuente: (León, 2013, p. 12).

Realizado por: Conlago, K., 2022.

2.2.1.4. Contenido de azufre

Entre los elementos que se encuentran en el petróleo crudo, el azufre es el más perjudicial en los procesos de refinado. Los altos niveles de azufre en la refinación pueden; desactivar los catalizadores que aceleran las reacciones químicas en algunos procesos, suelen provocar la corrosión en los equipos de refinería y emiten a la atmósfera compuestos de azufre. El petróleo crudo si su nivel de azufre es inferior al valor 0,5 %s es denomina dulce y si el nivel de azufre esta entre 1,0 y 2,0 %, es un crudo agrio, pero en algunos casos se registran niveles de azufre de > 4 % (ICCT, 2011, p. 6).

2.2.1.5. Poder calorífico

Es un criterio para valorar un combustible desde el punto de vista económico e industrial se el cual se define como la cantidad de calor producido en la combustión de la masa unitaria de combustible. Los valores del poder calorífico van desde 8. 500 cal./g hasta 11.500 cal./g. para la gasolina de automóvil e incluso más (Machado et al., 2012, p. 66).

2.2.1.6. Viscosidad

Esta propiedad del fluido es la que perturba la producción y la recuperación del petróleo. Mientras más viscoso se ve el petróleo, más difícil resulta producirlo, los términos pesado y viscoso se utilizan para describir los petróleos pesados, ya que los petróleos pesados suelen ser más viscosos que los petróleos convencionales (Urum y Pekdemir, 2004, p.5).

Tabla 2-5: Viscosidad de los petróleos

Petróleo	Viscosidad (Cp)
Convencional	1-10
Pesado	< 20
Extrapesado	1000000

Fuente: (Santos et al., 2014, p. 575).

Realizado por: Conlago, K., 2022.

2.2.1.7. Hidrocarburos totales del petróleo (TPH)

El término TPH describe una gran familia de cientos de compuestos químicos que se derivan del petróleo crudo. El petróleo crudo es utilizado para elaborar productos de petróleo, que pueden contaminar el ambiente. Debido a que existen muchos productos químicos diferentes en el petróleo crudo y en otros productos de petróleo, no resulta práctico medir cada uno en forma separada. Resulta útil medir la cantidad total de TPH en un sitio contaminado (ATSDR, 1998, p .2). El rango de hidrocarburos es de C₅ a C₄₀ y consisten en clases y fracciones, como gasolina, queroseno, diésel, turbosina y crudo. Se consideran un grupo común de contaminantes orgánicos persistentes en el medio ambiente y son altamente tóxicos, ingresan al medio ambiente. ya sea a través de accidentes o de emisiones industriales (Zeneli et al., 2019, p .6).

2.2.2. *Suelo*

El suelo forma la capa superficial de la corteza terrestre, es un recurso natural limitado y no renovable, del cual depende la vida de todas las especies que habitan en el planeta. Este formado por la progresiva alteración física y química de la roca madre a lo largo del tiempo, bajo condiciones climáticas y topográficas determinadas y sometido a la actividad de organismos vivos (Aguilera, Tesresa y Paola, 2016, p. 4). Los suelos intervienen en el ecosistema con su participación en los ciclos biogeoquímicos de elementos clave para la vida como carbono, nitrógeno, fósforo, etc. Y por efecto de la energía útil, circulan de los sistemas vivos a los no vivos.

2.2.2.1. *Contaminación del suelo*

La contaminación del suelo es un proceso de alteración química por el que se produce la pérdida de la fertilidad y por ende de productividad. La mayoría de los contaminantes se han originado en las actividades humanas y se liberan en el medio ambiente debido a las malas prácticas de producción, consumo y eliminación, como las prácticas agrícolas insostenibles, los procesos industriales y la minería, así como la gestión deficiente de los residuos (FAO, 2022, p. 9).

2.2.2.2. *Contaminación del suelo con TPH*

La contaminación de los suelos por los hidrocarburos ha tomado mayor importancia en la actualidad por parte de los países productores de petróleo y organizaciones que cuidan del medio ambiente, por los daños que causan a la salud humana y los altos costos que generan su limpieza y remediación (Rodríguez, 2017, p. 60).

Los hidrocarburos totales de petróleo afectan directamente al suelo, debido a que son altamente tóxicos, cambiando la composición y las propiedades físicas (textura, porosidad, capacidad de retención de agua, densidad real y aparente), químicas y fisicoquímicas (pH, potencial redox, capacidad de intercambio catiónico) que los diferencian entre sí y del material original. Los más tóxicos son los que tienen menor peso molecular, también producen una contaminación indirecta en las plantas, ya que estas absorben los minerales del suelo (Rodríguez, 2017, p. 61).

Por lo general, ciertos microorganismos tienen la capacidad de degradar algunas fracciones de los hidrocarburos. Cuando los derrames que ocurren en el suelo suelen filtrarse o lixiviarse llegando al agua subterránea donde los componentes pueden descomponerse de su mezcla original, dependiendo de las propiedades químicas de cada elemento, unos se evaporan, otros se disuelven en el agua subterránea y otros en menores proporciones, se adhieren al suelo permaneciendo

durante un largo tiempo, muy pocos son degradados por microorganismos presentes en el suelo. Los suelos afectados por la contaminación de hidrocarburos presentan: reducción de la flora en la zona del derrame, contaminación por infiltración en masas de agua subterráneas, transformación de la cadena trófica por el cambio en la dinámica poblacional de la biota, también generan otros impactos sociales, económicos e infecciosos, en las áreas cercanas al lugar contaminado (Goya, 2020, p. 8).

2.2.2.3. *Remediación de suelos*

El término remediación implica cualquier operación unitaria o serie de operaciones unitarias que tienen como objetivo la recuperación de suelos o cuerpos de agua contaminados, estas técnicas alteran la composición de la sustancia contaminante, por medio de acciones químicas, físicas o biológicas, haciendo que reduzca la toxicidad, movilidad o volumen del material contaminado, de esta manera mejorando sus características y se evitando que se genere un peligro para animales, plantas y seres humanos (Candia, 2014, p. 15).

La remediación de los suelos debe estar enmarcada a dejarlos dentro de niveles permisibles de acuerdo con las diferentes normativas vigentes en cada país. Un factor que determina los efectos de los hidrocarburos es la textura del suelo por la presencia de partículas arenosas, limos o arcilla, impidiendo el intercambio gaseoso con la atmósfera, lo cual ocasiona mayor toxicidad y salinidad (Fernández y Humbser, 2014, p. 54).

2.2.2.4. *Tecnologías de remediación de suelos*

Tabla 2-6: Principales técnicas de recuperación de suelos

Tipo de tratamiento		Tratamiento	Aplicación
Descontaminación	Físico	Extracción	In situ
		Lavado	Ex situ -In situ
		Flushing	In situ
		Electrocinética	In situ
		Adición de enmiendas	In situ
		Barreras permeables	In situ
		Inyección de aire	In situ
		Pozos de recirculación	In situ
		Oxidación ultravioleta	Ex situ

	Biológico	Biodegradación asistida	In situ
		Biotransformación	In situ
		Fitorrecuperación	In situ
		Bioventing	In situ
		Landfarming	Ex situ
		Biopilas	Ex situ
		Compostaje	Ex situ
	Lodos biológicos	Ex situ	
	Térmico	Incineración	Ex situ
		Desorción térmica	Ex situ
Contención	Barreras verticales	In situ	
	Barreras horizontales	In situ	
	Barreras de suelo seco	In situ	
	Sellado profundo	In situ	
	Barreras hidráulicas	In situ	
Confinamiento	Estabilización físico-química	Ex situ	
	Inyección de solidificantes	In situ	
	Vitrificación	Ex situ-In situ	

Fuente:(Ortiz et al., 2007, p. 24).

Realizado por: Conlago, K., 2022.

Se han realizado distintas investigaciones con el fin de tratar de recuperar los suelos contaminados. Actualmente se tiene una variedad muy amplia de tecnologías de recuperación de suelos contaminados, algunas que se aplican habitualmente y otras todavía se encuentran en una fase experimental, las cuales están destinadas a separar o destruir las sustancias contaminantes mediante diversos procesos generalmente químicos, térmicos o biológicos. La aplicación de estas tecnologías va a depender de las características del suelo y del contaminante, de la eficacia, de los costos económicos y del tiempo que se emplee en la recuperación. Para la recuperación de suelos se tiene tratamientos in situ, que intervienen sobre los contaminantes en el lugar en el que se encuentran, y tratamientos ex situ, que requieren la excavación del suelo para su posterior tratamiento, ya sea en el mismo lugar o en instalaciones externas (Ortiz et al., 2007, p. 23).

2.2.2.5. Tecnologías de remediación físico- químicas

Estas tecnologías por lo general son bajas en costos y no requieren mucho tiempo para su realización, al compararse con otras técnicas como la biorremediación. Aunque sus costos pueden variar dependiendo si el contaminante requiere ser tratado.

2.2.3. Lavado de suelos

La limpieza del suelo combinada con la adición de tensoactivos es una posible técnica de remediación que puede eliminar eficazmente los contaminantes del suelo en un período de tiempo relativamente corto. En los últimos años, Estados Unidos, Canadá y varios países de Europa han implementado este proceso de remediación de acuerdo con los estándares regulatorios y las mejores prácticas de gestión para un proceso exitoso de limpieza del suelo se inicia con la identificación de tipos de contaminantes como por ejemplo el TPH, contaminantes orgánicos e inorgánicos los metales pesados luego de esto se utiliza surfactantes apropiados.

2.2.3.1. Desventaja

Produce efluentes de lavado contaminados que pueden estar sujetos a estándares de descarga y deben tratarse antes de su eliminación o reciclaje. Por lo tanto, las aguas residuales de lavado contaminadas deben ser tratadas.

2.2.3.2. Tipos de lavado de suelo

In situ: Este es un método de tratamiento consiste en tratar el suelo en el mismo lugar donde se produjo la contaminación. Los contaminantes se extraen del suelo haciendo pasar agua u otras soluciones (*surfactantes*) a través del sistema de inyección o infiltración. Las aguas subterráneas y los líquidos contaminados se recogen a través de pozos de extracción y se bombean a la superficie, donde se tratan y, en ocasiones, se reciclan. El lavado es adecuado para todo tipo de contaminantes, especialmente los compuestos inorgánicos, incluidos los elementos radiactivos, y suele combinarse con otros tratamientos, como la biodegradación y el bombeo. Asimismo, es de difícil aplicación en suelos de baja permeabilidad o ricos en elementos finos (Piña, 2012, p.45).

Ex situ: El lavado es un tratamiento que se da al suelo contaminado por lo general es ex situ, se excava el suelo previamente y este se separa físicamente por tamizado, densidad o gravedad las partículas gruesas, de la parte fina y seguidamente es lavado con productos químicos que permiten eliminar los contaminantes por efecto de la remoción. Una vez terminado el tratamiento químico, el suelo se vuelve a lavar con agua para eliminar los contaminantes y residuos de los productos utilizados y se devuelve a su lugar de origen. La eficiencia de esta técnica se debe al grado de adsorción del contaminante. El lavado es una técnica muy eficiente para tratar suelos contaminados con hidrocarburos, HAP, PCP, pesticidas y metales pesados (Volke y Velasco, 2002, p. 42).

Tabla 2-7: Ventajas del lavado ex situ

Ventajas	Desventajas
Contaminantes solubles en agua.	Con la materia y los contaminantes orgánicos.
Mucho más energético	Mezclas complejas.
Utilizable para cualquier tipo de suelos (no necesitan ser permeables).	Los contaminantes no se destruyen.
Procedimiento moderadamente utilizado.	Los líquidos resultantes abundantes.

Fuente: (Santos et al., 2014, p. 575).

Realizado por: Conlago, K., 2022).

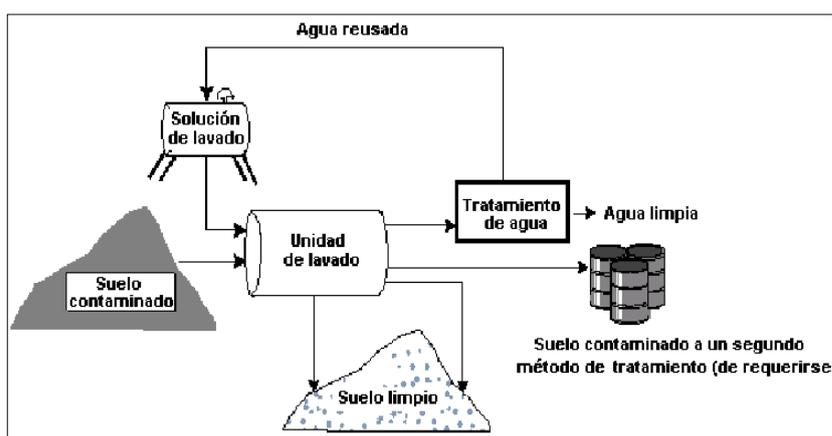


Ilustración 2-1: Proceso de lavado de suelos ex situ

Fuente: (Martínez et al., 2000).

2.2.3.3. Compuestos para el lavado de suelos

Para el lavado de suelo contaminado se utilizan soluciones acuosas con aditivos para poder solubilizar los contaminantes absorbidos en el suelo. La solubilidad en el agua es un mecanismo que inspecciona la remoción por lo cual para aumentar su eficiencia se añade aditivos los cuales pueden reducir tiempo y costos en el proceso de recuperación de los suelos, así como también deben ser biodegradables y no tóxicos con el entorno. Diversos estudios se han encontrado enfocados en la remoción de los compuestos orgánicos volátiles y se han limitado en el estudio de metales pesados (Piña, 2012, p. 26).

En la separación se utiliza una solución surfactante como solvente, mediante el cual los hidrocarburos se desorben de las partículas del suelo, con lo que se consigue que al final el contaminante quede en bajas concentraciones, logrando con ello tener niveles aceptables de remediación. En el lavado de suelos contaminados se utilizan mezclas de surfactantes con el propósito de mejorar las propiedades del producto. Los surfactantes catiónicos, aniónicos y no aniónicos son utilizados en el lavado de los suelos (Mulligan, 2001, p. 22)

2.2.3.4. Surfactantes

Los surfactantes tienen una característica básica que es la capacidad de modificar la tensión superficial o interfacial de los líquidos a los que se añaden. La molécula tiene doble finalidad que la obliga a migrar a la superficie del líquido dejando sumergido el grupo hidrofílico o hidrofóbico, en función de si el solvente es polar o no polar en el interior de la solución.

Los surfactantes no iónicos pueden tener menor toxicidad y mayor biodegradabilidad y son superiores a los surfactantes aniónicos en comparación con la eficiencia de lavado para reducir la cantidad de hidrocarburos adsorbidos en las partículas del suelo. Por lo general los catiónicos son inadecuados en el proceso de remediación por su alta toxicidad, los aniónicos causan una reducción de la conductividad hidráulica del suelo ya que pueden formar precipitados con cationes (Riojas et al., 2011, p. 96).

2.2.4. *Desengrasante biodegradable LEMON MAGIC*

Es un producto formulado pensando en las diferentes aplicaciones posibles en la industria del petróleo y otras, en las que se requiera retirar aceite o grasas residuales ya sean estas minerales o vegetales, naftas y derivados de petróleo, por su elaboración a través de productos naturales no es tóxico y tiene afinidad con el medio ambiente (BIO & LIMPIEZA “RKL”, 2020).

Su principal componente es el limoneno es un terpeno, el cual se extrae como aceite esencial de las frutas cítricas especialmente de la cáscara de la naranja o limón. El limoneno se conoce como solvente, ya que una parte de su estructura se inserta en la película interfacial mientras que el resto se distribuye entre las fases acuosas e hidrofóbica, haciendo que la formulación de agentes desengrasantes sea aprovechada. La toxicidad del D-Limoneno es baja, en diferentes estudios se demuestra que tiene baja tasa de mortalidad lo que hace que se considere como un compuesto seguro para el uso en humanos y en el medioambiente (Herazo y Romero, 2021, p. 231).



Ilustración 2-2: Desengrasante LEMON MAGIC

Fuente: (BIO & LIMPIEZA “RKL”, 2020).

2.2.4.1. Componentes del desengrasante

- **D-limoneno:** se llama solvente hidrocarbonado en la industria, tiene la función de un tensoactivo y se utiliza como ingrediente activo en productos de limpieza. Se destaca la importancia del D-limoneno por su variedad de propiedades en la elaboración de limpiadores, ya que forma emulsiones con el agua y arrastra partículas grasas (Muñoz y Vanegas, 2021, p.22).
- **Tensoactivo o surfactante:** son sustancias que aparecen activas en la superficie al reducir la tensión superficial del líquido disuelto o la interfase si hay otra fase presente. Para que una sustancia sea superficialmente activa, debe tener dos grupos: uno polar (*hidrofilico*) y otro no polar (*hidrofóbico*) (Muñoz y Vanegas, 2021, p .26).

2.2.4.2. Propiedades Físico-química

Tabla 2-8: Propiedades Físicoquímicas del desengrasante Lemon Magic

Condición física	Líquido
Color	Amarillo Verdoso
Olor	Cítrico
pH	6.5-7.0
Punto de inflamación	50°C- 53 °C en estado puro mayor a 97°C como aplicación
Gravedad específica	0,900 a 0,970

Solubilidad en agua	Altamente soluble
Biodegradabilidad	56 %.

Fuente:(BIO & LIMPIEZA “RKL”, 2020).

Realizado por: Conlago, K., 2022.

2.2.4.3. Características del desengrasante

Tabla 2-9: Características del desengrasante biodegradable

Características	LEMON MAGIC
1	Formulación para uso doméstico e industrial
2	No produce daños en la piel
3	Mínimo impacto en áreas acuáticas
4	No contiene solventes tóxicos
5	No forma precipitados
6	No causan daños en el EPP del personal
7	Menor tiempo de degradación
8	Materia prima más concentrada
9	Alta productividad
10	Fácil de utilizar
11	Limpieza y lavado y recuperación efectiva

Fuente:(BIO & LIMPIEZA “RKL”, 2020).

Realizado por: Conlago, K., 2022.

Nota:

Cuando un derrame de hidrocarburo es leve o nivel bajo, indispensablemente se debe dosificar con agua, evitando el gasto innecesario del desengrasante.

2.2.4.4. Usos del desengrasante

- Lavado del canal de flotación.
- Limpieza de equipos y herramientas de trabajo.
- Limpieza de la piel de las personas manchadas con hidrocarburo.
- Lavado de suelo contaminado, grava y piedras.

2.2.5. Normativa ambiental

2.2.5.1. Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA)

En el TULSMA LIBRO VI ANEXO 2, capítulo 4, se encuentra los requisitos de normas de aplicación, perspectivas de calidad del suelo y criterios de remediación.

Los causantes de la contaminación al suelo producidos por diferentes acontecimientos sea derrames o fugas se verá en la obligación de realizar la recuperación del sitio contaminado, analizando los efectos y criterios de remediación de suelos contaminados, que se dispone en la norma, hasta lograr que los parámetros se encuentren dentro valores permisibles establecidos (TULSMA, 2015, p. 27). Para los criterios de calidad de suelo y perspectivas de remediación se dispone de acuerdo al manejo del suelo (comercial, residencial, agrícola, e industrial), donde se establecen niveles máximos de contaminantes de los suelos después de un proceso de restauración (TULSMA, 2015, p.28).

2.2.5.2. Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador

La Constitución del Ecuador establece que el Estado protegerá el derecho de la población de vivir en un ambiente sano y equilibrado, el cual pueda garantizar el desarrollo sustentable, por lo tanto, se debe preservar el medio ambiente, conservar los ecosistemas, la biodiversidad y evitar la contaminación ambiental. Según (RAOHE, 2010, pp. 41- 42) establece en el capítulo XII los límites permisibles, de manera que los sujetos de control y sus operadoras, para liberar emisiones a la atmosfera, desechos sólidos y líquidos en el ambiente, se debe cumplir los límites máximos permisibles que se encuentran en los Anexos No. 1, 2 y 3 de esta norma, mediante el cual se establece el programa mínimo para el seguimiento interno ambiental.

Tabla 2-10: Límites permisibles para la remediación de suelos contaminados

Parámetro	Expresado	Unidad	Uso Agrícola	Uso Industrial	Ecosistemas sensibles
Hidrocarburos Totales	TPH	mg /Kg	< 2500	< 4000	< 1000

Fuente: (Zehner y Terán, 2016, p. 57).

Realizado por: Conlago, K., 2022.

2.2.5.3. Toxicidad

La toxicidad de un compuesto está determinada por la exposición de un organismo a un compuesto químico y depende de la dosis. La toxicidad retarda las reacciones metabólicas y, a menudo, impide el crecimiento de nueva biomasa necesaria para estimular la eliminación rápida de contaminantes. La alta toxicidad resulta de una transferencia de masa más rápida que la capacidad de los mecanismos de eliminación (Cabrera, 2014, p. 5).

Diferentes estudios demuestran que la contaminación por TPH sobre los suelos altera sus propiedades iniciales modificando el pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, carbono orgánico etc., causa afectación a los organismos del suelo provocando una reducción en general de sus capacidades y el uso potencial.

La contaminación de ecosistemas por los derrames de hidrocarburos tóxicos es un problema ambiental muy serio tanto en animales, planta y humanos. Ciertos componentes de los TPH como los bencenos, toluenos y xilenos afectan el sistema nervioso en los humanos, si hay una exposición a altas cantidades pueden causar daños irreparables. Al inhalar altas concentraciones estos compuestos producen náuseas, fatiga y adormecimiento. Otro componente de los TPH como el n-hexano puede provocar neuropatía periférica, que se caracteriza por la pérdida de sensación en los pies y las piernas que puede terminar en una parálisis completa. Otros componentes de fracciones de TPH causan daños en el hígado, sangre, riñones y pulmones. En los animales hay estudios que demuestran que producen efectos en el SNC, el hígado, riñones, el sistema de reproducción y el feto, lo cual ocurre por lo general por la ingestión o inhalación de componentes de TPH es por todo esto que estos compuestos son demasiado tóxicos en el medio y se trabaja para reducir su concentración (ATSDR, 1998, p. 8).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque de investigación

Esta investigación, tiene un enfoque mixto; Cualitativo por los cambios físicos que va a presentar el suelo después del lavado con el desengrasante y un enfoque cuantitativo por la cuantificación de los hidrocarburos totales antes y después de realizar el tratamiento así mismo la recolección de datos de concentración óptima del desengrasante y temperatura.

3.2. Nivel de investigación

Es una investigación de tipo exploratoria, de caracterización de suelos, orientada en la obtención de los datos necesarios para llevar a cabo el tratamiento. Con el fin de obtener la mejor concentración de desengrasante en un tiempo de lavado y temperatura adecuada en el proceso.

3.3. Diseño de investigación

3.3.1. Según la manipulación o no de la variable independiente

Es una investigación experimental ya que se realiza con el propósito de desarrollar e incrementar con la exploración mediante análisis y ensayos a nivel de laboratorio para lo cual se utiliza la concentración y temperatura como variable independiente en el tratamiento de lavado de suelos usando el desengrasante biodegradable “LEMON MAGIC” con la finalidad de que éste producto disminuya la concentración de carga contaminante del suelo, para su posterior aplicación en los proyectos de remediación ambiental producidos por los derrames de petróleo crudo, cumpliendo con las normas establecida del Reglamento sustituto al reglamento ambiental para operaciones hidrocarburíferas en el Ecuador (Zehner y Terán, 2016, p.2).

3.3.1.1. Descripción de las variables

Tabla 31-1: Variables dependiente e independiente

Dependiente	Independientes		
TPH	Concentración	10%	20%
	Temperatura	86°F	120°F

Realizado por: Conlago, K., 2022.

3.3.2. Según las intervenciones en el trabajo de campo

La investigación transversal que se aplica en la evaluación de la toxicidad de los suelos contaminados con hidrocarburos mediante la utilización del desengrasante biodegradable LEMON MAGIC para la empresa RKL, CIA, LTDA., es de carácter descriptiva y cuantitativa debido a que se emplea diferentes variables en un periodo de tiempo determinado con el fin de recopilar datos necesarios e interpretar resultados que son los determinantes para la justificación de este tema de investigación.

3.3.3. Diseño factorial 2k

El diseño factorial de un experimento es un conjunto de puntos o tratamientos experimentales que se pueden formar al considerar todas las combinaciones posibles de niveles de factores. Un diseño factorial 2k tiene k factores en 2 niveles, que pueden ser cuantitativos o cualitativos.

El diseño 2k nos facilita el menor número de ensayos, así que asumimos que la respuesta es aproximadamente rectilínea en el rango de los niveles elegidos de los factores. Los niveles o variables son: Concentración de la disolución de 5% y 10% y temperaturas en Fahrenheit de 86° y 120°. El objetivo principal de este diseño es la aplicación y manejo de variables controladas lo que hace fácil valuar que patrón es el más práctico para la parte experimental de este análisis en la investigación.

3.3.3.1. Esquema de Tratamiento para la remoción de TPH

Tabla 3-2: Tratamiento para la remoción de TPH

Tratamiento											
T _{R1}			T _{R2}			T _{R3}			T _{R4}		
R1	R2	R3									

Realizado por: Conlago, K., 2022.

3.3.3.2. Diseño factorial 2k para remoción de TPH

Tabla 3-3: Tratamientos de remoción de TPH con Lemon Magic

No.	Tratamiento	Variables	Repetición	RPM	Peso (g)
					PRODUCTO
1	TR1	Concentración: 20% T: 120° °F	R1	125	25
2			R2		
3			R3		
4	TR2	Concentración: 10% T: 120° °F	R1		
5			R2		
6			R3		
7	TR3	Concentración: 20% T: 86 °F	R1		
8			R2		
9			R3		
10	TR4	Concentración: 10% T: 86° °F	R1		
11			R2		
12			R3		

Realizado por: Conlago, K., 2022.

3.4. Tipo de estudio

Este proyecto es de tipo investigación, ya que contempla aspectos preliminares que determinarán si el proyecto es posible o no, mediante una investigación teórico – práctico. El estudio permite señalar la viabilidad del proyecto por medio de un estudio analítico, descriptivo y experimental. El presente proyecto relaciona datos específicos basados en normas ambientales legales y los compara con datos experimentales obtenidos mediante el análisis de las muestras, permitiendo describir un proceso factible.

3.5. Población y Planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra

3.5.1. Población

La población para este estudio fue en el bloque 56 de la provincia de Sucumbíos, Cantón Lago Agrio. Además, se tomó como criterio la accesibilidad para este estudio las muestras de suelo y crudo fueron recolectadas para el análisis corresponde a la empresa RKL.

3.5.2. Selección de la muestra

El muestreo de suelo contaminado con hidrocarburos se llevó a cabo en el bloque 56 en el Cantón Lago Agrio, de la provincia de Sucumbíos, tomando en cuenta la metodología de muestreo con modificaciones descrita en el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario, Medio Ambiente.

La muestra arcillosa recolectada con ayuda de una barrena para muestreo de suelo a una profundidad de 50 cm aproximadamente se conservó en fundas de cierre hermético de polietileno para su transporte hacia las instalaciones de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH en la Ciudad de Riobamba, en donde se realizarán las pruebas experimentales.

3.5.3. Tamaño de la muestra

Se realizó un muestreo al azar tomando una muestra de 500 g para la caracterización fisicoquímica del suelo y 1 Kg para los ensayos de tratabilidad las cuales se subdividen en muestras exactas de 50 gramos.

3.6. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

3.6.1. Técnicas utilizadas en la siguiente investigación para recolectar datos

Recopilación bibliográfica: permite desarrollar una base teórica de la investigación, que permite sustentar el trabajo realizado. Recopilando información de bibliotecas, laboratorios de investigación; revistas, libros, periódicos, tesis, tutoriales. Según (Gómez et al., 2014, p. 8)

Observación Directa: se utiliza para verificar la investigación que se realiza, permite conocer las características físicas de los suelos tratados (GLOBE, 2005, p.6).

Laboratorio: el análisis de laboratorio es la principal técnica, porque permitirá tener resultados reales de muestras tomadas por un laboratorio acreditado, siendo estos las herramientas principales para la verificación de los datos obtenidos. Este tipo de técnica ayuda a analizar muestras del estudio de campo y determinar sus componentes, tener una caracterización inicial y final para dar una solución al problema.

Instrumentos: Un instrumento de recopilación de datos es cualquier recurso que un investigador puede utilizar para acceder a fenómenos y extraer información de ellos. Con ello, la herramienta agrega todo el trabajo previo de la encuesta, resumiendo las aportaciones del marco teórico a la hora de seleccionar datos correspondientes a indicadores y, por tanto, a variables o conceptos utilizados (Aguilar, 2016).

3.6.1.1. Diagrama Proceso de remediación

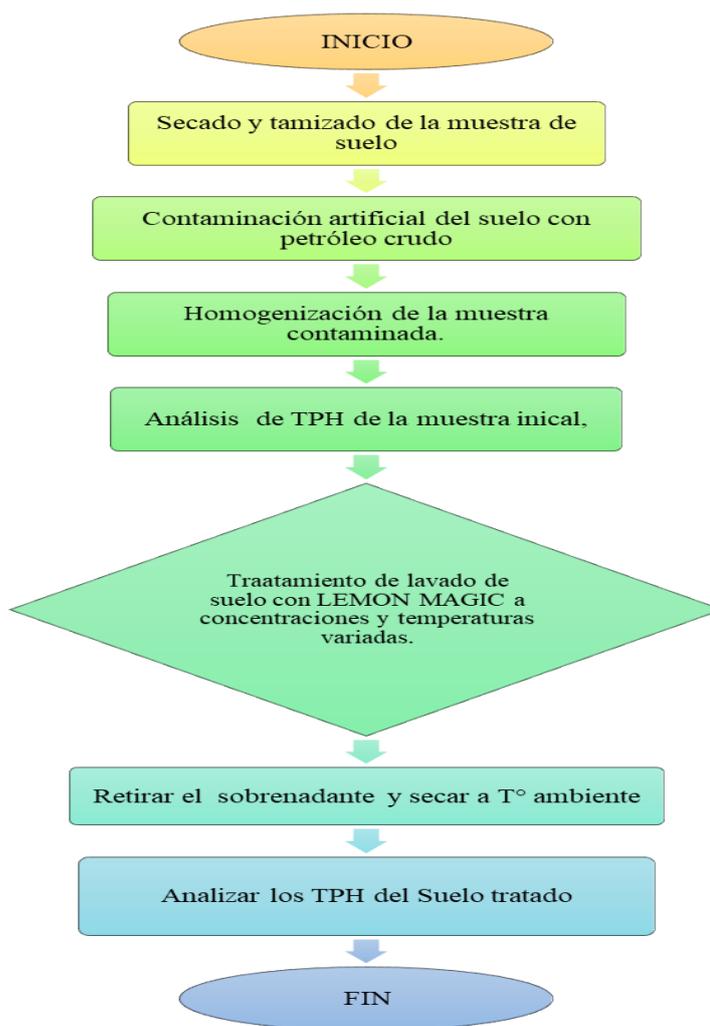


Ilustración 3-1: Diagrama proceso de remediación

3.7. Técnicas de recolección de datos

3.7.1. Caracterización del suelo

3.7.1.1. Determinación del pH del suelo

Tabla 3-4: Determinación del pH del suelo

MÉTODO POTENCIOMÉTRICO		
Materiales	Equipos	Reactivos
<ul style="list-style-type: none">• Mortero y pistilo• Agua destilada• Vaso de precipitación	<ul style="list-style-type: none">• Balanza analítica• pH-metro	<ul style="list-style-type: none">• Suelo
Procedimiento <ul style="list-style-type: none">• Secar la muestra a temperatura ambiente.• Triturar en el mortero la muestra seca hasta homogenizar las partículas.• Pasar por el tamiz para retirar restos vegetales.• Pesar 40 gramos de muestra, luego adicionar 80 ml de agua destilada al vaso contenido el suelo, con la ayuda de una varilla agitar manualmente la mezcla• durante 30 min.• Dejar reposar 15 min y luego calibrar el medidor de pH con las soluciones reguladoras, enjuagar los electrodos con el agua destilada.• Introducir el electrodo y registrar el pH al momento que la lectura se estabilice.		

Fuente: (Martínez, 2013, p.27)

Realizado por: Conlago, K., 2022.

- **Densidad aparente**

$$\rho_A = \frac{m}{V}$$

Ecuación 3-1: Densidad aparente

- **Densidad real**

$$\rho_R = \frac{m}{V}$$

Ecuación 3-2: Densidad real

- **Densidad relativa**

$$\rho_{Rel} = \frac{\rho_A}{\rho_{H_2O}}$$

Ecuación 3-3: Densidad relativa

- **Porosidad**

$$\text{Porosidad} = \frac{\rho_A}{\rho_R}$$

Ecuación 3-4: Porosidad

3.7.2. Caracterización del petróleo

3.7.2.1. Densidad API

Tabla 3-5: Densidad API

Densidad API		
Materiales	Equipos	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> • Probeta de 1000 mL 	<ul style="list-style-type: none"> • Hidrómetro de vidrio • Termómetro 	<ul style="list-style-type: none"> • Crudo de petróleo
<p>Procedimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> • Después de la asignación del crudo en el laboratorio se procede a depositar el crudo en un Becker para poder manipularlo • Se lleva la muestra de crudo a una probeta de 1000 ml y se llena hasta 900 ml • Según la característica del crudo si se observa pesado o liviano se define que tipo de termohidrómetro se pueda utilizar de acuerdo con su escala. • Se debe tomar la temperatura del laboratorio. • Luego se introduce el termohidrómetro a la probeta, observando que no toque las paredes de esta y que flote libremente. 		

- Se registra la lectura, en el punto en que la muestra suba a la superficie y corte la escala del hidrómetro, colocando la vista ligeramente por encima del plano de la superficie del líquido
- Se sacar el hidrómetro fuera de la muestra y se limpia con papel higiénico

Cálculos

Ecuación 3-5: Densidad API corregida

$$Densidad\ API\ corregida = densidadAPI - factor\ de\ corrección$$

Ecuación 3-6: Gravedad específica

$$G_E = \frac{141,5}{131,5 + densidad\ API\ corregida}$$

Ecuación 3-7: Densidad API

$$Densidad\ API = \frac{141.5}{G_E} - 131.5$$

Fuente: (AG, 2022b).

Realizado por: Conlago, K., 2022.

3.7.2.2. Viscosidad cinemática

Tabla 3-6: Viscosidad cinemática

Viscosidad Cinemática y Dinámica		
Materiales	Equipos	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> • Tubo de extracción • Soporte del termómetro • Termómetro • Embudo de filtración • Matraz • Cronómetro, preciso dentro del 0.1% 	<ul style="list-style-type: none"> • Baño termostático 	<ul style="list-style-type: none"> • Crudo de petróleo
<p>Procedimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> • Establezca y controle la temperatura de baño María a la temperatura de prueba seleccionada. • Temperatura de prueba estándar para medir viscosidad Saybolt Universal son 21.1, 37.8, 54.4 y 98.9 ° C (70, 100, 130 y 210 ° F) • Temperatura de prueba estándar para medir viscosidad Saybolt Furol son 25.0, 37.8, 50.0 y 98.9 ° C (77, 100, 122 y 210 ° F). 		

<ul style="list-style-type: none"> • Agitar la muestra en el viscosímetro con el termómetro de viscosidad apropiado equipado con el soporte del termómetro. Con un movimiento circular a 30 a 50 rpm en un plano horizontal. Cuando permanezca constante a 0.03 ° C (0.05 ° F) durante un minuto de agitación continua, retirar el termómetro. • Agitar la muestra y colar a través del paño metálico de 150 μm (No. 100) en el embudo del filtro. • Inmediatamente coloque la punta del tubo de extracción en la galería en un punto, y aplique succión para eliminar el aceite hasta que su nivel en la galería esté por debajo del borde de desbordamiento • Verificar el matraz receptor que esté en la posición correcta; luego sacar el corcho del viscosímetro usando el cable conectado, y encender el temporizador. • Detenga el temporizador en el instante en que la parte inferior del menisco de aceite llegue a la marca de graduación en el matraz receptor. Registre el tiempo de salida en segundos con una precisión de 0.1 s.
<p>Cálculos</p> <p>Ecuación 3-8: Viscosidad cinemática</p> $V_{cinematica} = t(fluido) * K (capilar)$ <p>Ecuación 3-9: Viscosidad dinámica</p> $U = \text{densidad del fluido en } \frac{g}{cm^3} * V_{cinematica} \text{ en } cm^2/s$

Fuente: (AG, 2022a).

Realizado por: Conlago, K., 2022.

3.7.3. Contaminación de la muestra de suelo

Tabla 32-7: Técnica para contaminar la muestra

CONTAMINACIÓN DE LA MUESTRA		
Materiales	Equipos	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> • Mortero y pistilo • Bandejas de aluminio • Vaso de precipitación 	<ul style="list-style-type: none"> • Balanza analítica 	<ul style="list-style-type: none"> • Petróleo crudo • Suelo • Agua Destilada
<p>Procedimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> • Secar la muestra a temperatura ambiente. • Triturar en el mortero la muestra seca hasta homogenizar las partículas. • Pasar por el tamiz para retirar restos vegetales. 		

- Pesar 1000 gramos de muestra suelo y agregar 40 g del crudo de petróleo.
- Dejar durante 15 días hasta homogenizar la muestra contaminada.
- Determinar TPH de la muestra contaminada.

Fuente: (Piña, 2012, p. 62).

Realizado por: Conlago, K., 2022.

3.7.3.1. Lavado de suelo

Tabla 3-8: Técnica para el lavado de suelo

MÉTODO PARA LAVAR EL SUELO		
Materiales	Equipos	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> • Matraz Erlenmeyer • Vaso de precipitación • Vasos de plástico 	<ul style="list-style-type: none"> • Balanza analítica • Agitador 	<ul style="list-style-type: none"> • Desengrasante LEMMON • MAGIC
<p>Procedimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pesar 50 g de suelo contaminado. • Preparar soluciones al 10% y 20% v/v del producto. • Colocar en suelo contaminado en el matraz. • Colocar en el agitador a 125 rpm y una temperatura de 120°F y 86°F. • Tiempo de agitación 18 h. • Retirar la muestra. • Sedimentar por 1 hora para separar la fase sólida y líquida. • Recuperar el suelo lavado • Secar a temperatura ambiente la muestra 		

Fuente: (Piña, 2012, p. 62)

Realizado por: Conlago, K., 2022.

CAPÍTULO IV

4. DATOS, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Datos

4.1.1. Caracterización del suelo

4.1.1.1. pH del suelo

Tabla 4-1: Datos de pH del suelo

pH del suelo	
Repetición	
1	7,61
2	7,56
3	7,49

Realizado por: Conlago, K, 2022.

4.1.2. Caracterización del petróleo

4.1.2.1. Densidad API

Tabla 4-2: Datos experimentales para determinación de densidad API corregida

Muestra	Norma	Densidad API	T (°C)
CRUDO	ASTM D-287-67	29,2	25,1

Realizado por: Conlago, K, 2022.

4.1.2.2. Viscosidad cinemática

Tabla 43-3: Datos experimentales para viscosidad cinemática

Muestra	Viscosímetro Ubbelohde	Constante (K)	Tiempo (s)	Densidad H2O (g/cm ³)	T (°C) Baño María
CRUDO	3BU	5	1,19	0.99705	25

Realizado por: Conlago, K, 2022.

4.2. Cálculos

4.2.1. Cálculo de la densidad del suelo

4.2.1.1. Densidad aparente

A partir de la Ec. 3-1

$$\rho_A = \frac{m}{V}$$
$$\rho_A = \frac{41,005}{47}$$
$$\rho_A = 0,82 \frac{g}{mL}$$

4.2.1.2. Densidad real

A partir de la Ec. 3-1

$$\rho_R = \frac{m}{V}$$
$$\rho_R = \frac{41,005}{40}$$
$$\rho_R = 1,03 \frac{g}{mL}$$

4.2.1.3. Densidad relativa

A partir de la Ec. 3-3

$$\rho_{Rel} = \frac{\rho_A}{\rho_{H_2O}}$$
$$\rho_{Rel} = \frac{0,82}{1}$$
$$\rho_{Rel} = 0,82 \frac{g}{mL}$$

4.2.1.4. Porosidad

A partir de la Ec. 3-4

$$\text{Porosidad} = \frac{\rho_A}{\rho_R}$$
$$\text{Porosidad} = \frac{0,82}{1}$$

$$\text{Porosidad} = 0,82$$

4.2.2. Cálculo de densidad API del crudo petróleo

$$^{\circ}\text{C} = \frac{^{\circ}\text{F} - 32}{1.8}$$

$$25,1 = \frac{^{\circ}\text{F} - 32}{1.8}$$

$$25,1 * 1.8 = ^{\circ}\text{F} - 32$$

$$45,18 = ^{\circ}\text{F} - 32$$

$$45,18 + 32 = ^{\circ}\text{F}$$

$$^{\circ}\text{F} = 77,18$$

$$\text{factor de corrección} = (T_1 - T_2) * 0,2$$

$$\text{Factor de correccion} = (25,1 - 15,5) * 0,2$$

$$\text{Factor de corrección} = 1,92$$

A partir de la Ec. 3-5

$$\text{Densidad API Corregida} = \text{Densidad API} - \text{Factor de correccion}$$

$$\text{FDensidad API Corregida} = 29,2 - 1,92$$

$$\text{Densidad API Corregida} = 27,28$$

A partir de la Ec. 3-6

$$G_E = \frac{141,5}{131,5 + \text{densidad API corregida}}$$

$$G_E = \frac{141,5}{131,5 + 27,28}$$

$$G_E = 0,89$$

A partir de la Ec. 3-7

$$\text{Densidad API} = \frac{141,5}{G_E} - 131,5$$

$$\text{Densidad API} = \frac{141,5}{0,89} - 131,5$$

$$\text{Densidad API} = 27,49$$

4.2.3. Cálculo de viscosidad cinemática

A partir de la Ec. 3-8

$$V_{\text{cinematica}} = t(\text{fluido}) * K (\text{capilar})$$

$$V_{\text{cinematica}} = 76 \text{ s} * 5$$

$$V_{\text{cinematica}} = 380 \text{ cst}$$

$$U = (\text{densidad del fluido en } \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * V_{\text{cinematica}}) \text{cm}^2/\text{s}$$

$$V_{\text{cinematica}} = 380 \text{cst} * \frac{1 \text{stoke}}{100 \text{cst}} = 3,8 \text{stoke}$$

$$V_{\text{cinematica}} = 3,8 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$$

A partir de la Ec. 3-9

$$\text{Densidad del fluido} = G_E * \text{densidad}_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$\text{Densidad del fluido} = 0,89 * 0,99705 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{Densidad del fluido} = 0,8874 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$U = 0,8874 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 3,8 \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$U = 3,37 \frac{\text{g}}{\text{cm} * \text{s}} = \text{poise}$$

$$U = 3,37 \text{poise} * \frac{100 \text{cp}}{1 \text{poise}}$$

$$U = 337 \text{cp}$$

4.3. Resultados

4.3.1. Caracterización del suelo

Tabla 44-4: Resultado de la caracterización físico-química del suelo

PARÁMETROS	UNIDADES	VALOR	ESTÁNDAR	NORMA / INSTITUCIÓN
Textura	%	Arena 54 Limo 24 Arcilla 22	45-80 0-28 20-35	FAO (2009, p.13)
Densidad Aparente	g/mL	1,15	<1,10	USDA (1990)
Densidad Real	g/mL	3,22	2,5-3,5	Murillo et al. (2014, p.5)
pH	-	7,55	6-8	TULSMA (2015, p. 16)
Porosidad	%	63,27	40-60	Murillo et al. (2014, p,8)

Realizado por: Conlago, K, 2022.

4.3.1.1. Discusión de los resultados de la caracterización del suelo

La tabla 4-4 refleja los resultados de la caracterización del suelo, a partir de estos se ha determinado que el suelo virgen utilizado para el estudio de remediación cumple con los valores normativos para un suelo franco arenoso arcilloso, típico de climas cálido/húmedos como los de la región Oriental. Según Piña (2012, p. 70), la estructura y composición del suelo son factores determinantes en el movimiento de contaminantes. La densidad aparente y real tienen un impacto directo en la porosidad del suelo, la cual está relacionada con la absorción y desorción de contaminantes. Un suelo con mayor porosidad puede desplazar más contaminantes o productos utilizados para la restauración. El suelo analizado en este estudio presenta una textura franca arenosa arcillosa, con una composición de 54% de arena, 24% de arcilla y 22% de limo. Esta

composición indica que el proceso de limpieza por lavado es posible debido a su alta porosidad del 60,22%, lo que favorece el drenaje y la difusión del contaminante y la solución.

El pH del suelo es un factor importante que afecta la solución surfactante y la formación de micelas. De acuerdo con Martínez (2001, p. 14), para utilizar la tecnología de limpieza como el lavado de suelos, se requiere un pH de 6 a 8 que favorezca la eliminación de TPH. El suelo sin contaminar que se obtuvo en el laboratorio tiene un pH ligeramente alcalino con un valor de 7,55, lo que podría favorecer la formación de micelas y permitir que se desprendan más TPH de la matriz del suelo.

Es importante destacar que una de las ventajas de los tratamientos de remediación ex situ es que no se requiere que los suelos sean altamente permeables, lo que es aplicable a cualquier tipo de suelo.

4.3.2. Caracterización del crudo de petróleo

Tabla 4-5: Resultado caracterización del crudo de petróleo

PARÁMETROS	UNIDADES	VALOR	ESTÁNDAR PARA CRUDOS MEDIANOS	NORMA / INSTITUCIÓN
Gravedad Específica	g/mL	0,89	0,87-0,92	ENAP (2018)
Densidad API		27,49	22,3- 31	OPIS (2018)
Viscosidad Cinemática	cm ² /s	3,80	<4	NTE INEN (2013)
Viscosidad Dinámica	Cp	3,70	<4,5	NTE INEN (2013)

Realizado por: Conlago, K, 2022.

4.3.2.1. Discusión de resultados de la caracterización del crudo de petróleo

Para aplicar las tecnologías de restauración es necesario conocer el contaminante que representa un riesgo para la salud del suelo, por lo que se llevó a cabo la caracterización de la muestra de petróleo crudo descrita en la Tabla 5-4, donde se obtuvo un valor de 0,89 g/ml para la gravedad específica, la cual está directamente relacionada con la densidad °API, que obtuvo un valor de 27,

49 , con estos valores se determinó que el crudo que se empleó en el estudio es de tipo medio de acuerdo a la clasificación (API).

Según Orejuela (2010, p. 37, los crudos con grados API más altos son más valiosos comercialmente y tienen una menor viscosidad y una mayor tendencia a la emulsión, a mayor emulsión, mejor solubilidad del aceite en las micelas de los surfactantes, sin embargo, la emulsión puede ser perjudicial para el lavado de suelo. El autor enfatiza que se debe evitar la formación de emulsiones en un proceso de lavado del suelo porque, una vez formadas, las emulsiones son relativamente inmóviles y altamente viscosas, lo que dificulta que los surfactantes penetren en la interfaz entre el suelo y el crudo. Herazo y Romero (2021, p. 236) sostienen que la efectividad de eliminación de los surfactantes se ve influenciada por la composición química del petróleo, así como por sus propiedades físicas y por el medio ambiente en el que se encuentre. Como consecuencia, la efectividad disminuye a medida que aumenta la viscosidad de los hidrocarburos.

4.3.3. TPH de la muestra inicial

Tabla 45-6: TPH del suelo contaminado

Muestra Inicial	40000 mg/ Kg
------------------------	--------------

Realizado por: Conlago, K, 2022.

4.3.4. Resultados obtenidos en el análisis de TPH

Tabla 64-7: Resultado de remoción de TPH por espectrofotometría infrarroja

TRATAMIENTOS	TPH mg/kg	TPH PROM (mg/Kg)	% Remoción	% Remoción Prom
TR1	3756,1	4615,0	88,5	85,8
	4888,9		85,0	
	5200,1		84,0	
TR2	3900,0	3366,7	88,0	90,5
	3500,0		89,3	
	2700,1		91,7	
TR3	14120,3	14188,6	56,6	56,4
	15046,3		53,8	
	13399,3		58,8	

TR4	12209,4	12369,9	62,5	62,0
	11500,3		64,7	
	13400,1		58,8	

Realizado por: Conlago, K., 2022.

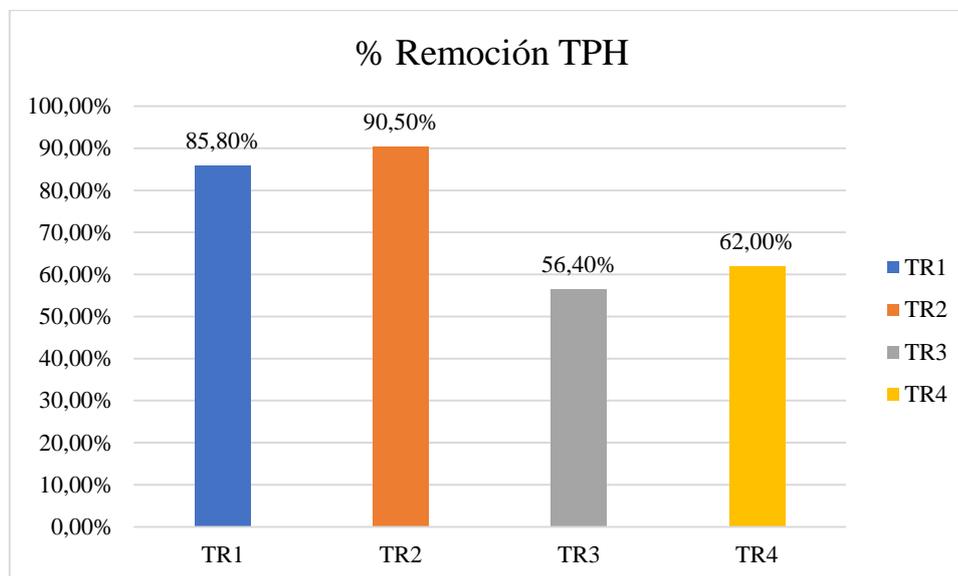


Ilustración 4-1: Remoción de TPH por cada tratamiento

Realizado por: Conlago, K., 2022.

La Ilustración 4-1 muestra los resultados de la eliminación de hidrocarburos totales de petróleo obtenidos para cada tratamiento. Se observó que el tratamiento TR2 fue el más efectivo al emplear una concentración del 10% en volumen del desengrasante LEMON MAGIC y una temperatura de 120 °F (48,6 °C). Este resultado indica que la combinación de estos factores favorece la eliminación de los hidrocarburos totales de petróleo con mayor eficacia que los otros tratamientos evaluados.

4.3.5. *Análisis del diseño experimental*

Se empleó un software estadístico para llevar a cabo un ANOVA (Análisis de Varianza) en un diseño bifactorial que permitió analizar el efecto de la temperatura y concentración del desengrasante Lemon Magic en la remoción de TPH. Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

Tabla 47-8: Información del factor

Factor	Niveles valores
Concentración	10; 20
Temperatura	120; 86

Realizado por: Conlago, K., 2022.

```
Analysis of Variance

Source          DF      Adj SS      Adj MS      F-Value      P-Value
Model           3      266123663    88707888    138,93       0,000
  Linear        2      265879648    132939824    208,20       0,000
    T           1      258824452    258824452    405,35       0,000
    C           1       7055196     7055196      11,05       0,010
  2-Way Interactions 1       244015     244015        0,38       0,554
    T*C         1       244015     244015        0,38       0,554
Error           8       5108150     638519
Total          11     271231813

Model Summary

      S      R-sq  R-sq(adj)  R-sq(pred)
799,074  98,12%   97,41%    95,76%
```

Ilustración 4-2: Análisis de varianza

Realizado por: Conlago, K., 2022.

Durante el análisis de los datos obtenidos en este estudio, se aplicó un nivel de confianza del 95% mediante el uso de un análisis de varianza (ANOVA) para determinar la importancia de los factores involucrados en la eliminación de TPH. El método estadístico ANOVA permite evaluar la variabilidad en los datos y determinar si hay una diferencia significativa entre las medias de dos o más grupos.

En este caso, se determinó que el factor más importante para la eliminación de TPH fue la temperatura, ya que presentó un valor de p-value de 0,000, lo que indica una fuerte relación estadística entre este factor y la remoción de TPH. Por otro lado, La interacción entre la concentración de Lemon Magic y la temperatura no mostraron una relación significativa con la eliminación de TPH.

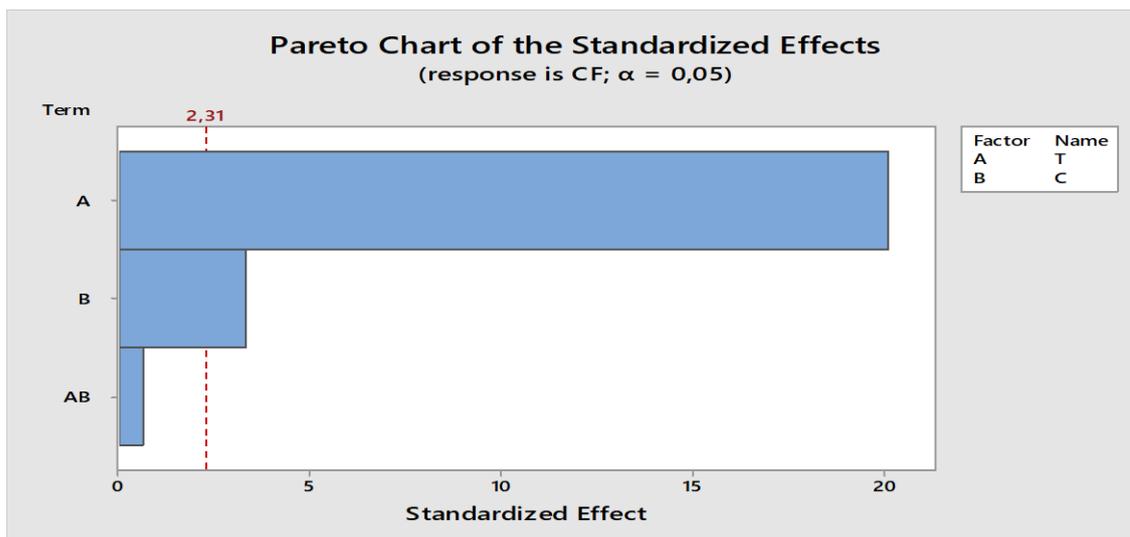


Ilustración 4-3: Diagrama de Pareto

Realizado por: Conlago, K, 2022.

El diagrama de Pareto es una herramienta visual útil para identificar los factores más significativos que afectan la eliminación de TPH en suelos contaminados con crudo. En este estudio, se utilizó el diagrama para representar la influencia de la temperatura y concentración del desengrasante Lemon Magic en la remoción de TPH.

Los resultados del análisis de Pareto mostraron que la temperatura (A) es el factor más importante que influye en la eliminación de TPH en el lavado de suelos contaminados con crudo. Este resultado concuerda con los hallazgos de otros estudios que indican que la temperatura juega un papel fundamental en la desorción de los contaminantes del suelo.

Por otro lado, la concentración del desengrasante Lemon Magic y el efecto combinado de la temperatura y concentración tienen una influencia menor en la remoción de TPH. Sin embargo, esto no significa que estos factores deban ser ignorados en la tarea de eliminación de TPH en suelos contaminados. Es importante tener en cuenta que la concentración y el efecto combinado pueden tener un mayor impacto en diferentes condiciones ambientales o en diferentes tipos de suelos.

4.3.5.1. *Discusión de resultados del diseño experimental*

En el presente estudio, se llevaron a cabo experimentos para evaluar la efectividad de diferentes concentraciones de Lemon Magic y temperaturas en la remoción de TPH de suelos contaminados con crudo. La concentración inicial de TPH en el suelo fue de 40.000 mg/kg, lo que representa

un nivel de contaminación significativo. Se aplicó un diseño experimental 2k con cuatro tratamientos y tres repeticiones, para un total de 12 muestras analizadas.

Los resultados indicaron que el TR2 fue el tratamiento más efectivo en la remoción de TPH, logrando una reducción promedio de la concentración del contaminante a 3366,7 mg/kg, lo que representa una efectividad del 90,5%. Este valor cumple con la normativa ambiental RAOHE, que establece un límite permisible de TPH de <4.000 mg/kg para suelos utilizados en actividades industriales.

En el estudio realizado por Riojas et al. (2010), se utilizó D-limoneno, el cual es el componente principal del desengrasante Lemon Magic, a una concentración de 10,000 (mg kg⁻¹) en el tratamiento de suelos contaminados con TPH. Los resultados mostraron una eficiencia de remoción del 42.5%, sin fluctuaciones de temperatura. Posteriormente, se agregó Tween 80 con D-limoneno en la misma concentración y se logró una eficiencia de remoción del 80%. Esto demuestra que el uso de Lemon Magic es efectivo en la remoción de TPH en suelos contaminados, especialmente a bajas concentraciones.

En este estudio, se encontró que la concentración óptima de Lemon Magic para la eliminación de TPH fue del 10%. De acuerdo con Lee (2005, p. 4), el aumento de la concentración de este surfactante reduce la tensión superficial del suelo, lo que conduce a una mayor eliminación de hidrocarburos. Sin embargo, Chu (2003, p.2) sostiene que la relación entre la dosis del surfactante y la eficacia de la remediación del suelo contaminado no es lineal. Esto se debe a que la formación de micelas, junto con otros factores como las propiedades fisicoquímicas del suelo, la velocidad de reacción, la temperatura, el pH, la concentración de contaminantes, las fracciones a remover y el tiempo de lavado, también tienen un impacto significativo en la desorción de hidrocarburos (Piña, 2012, p.82).

La investigación llevada a cabo por Urum y Pekdemir (2004) muestra que la temperatura del sistema es la variable más influyente en la reducción de la tensión superficial. Al aumentar la temperatura, las fuerzas de cohesión disminuyen, lo que aumenta el ángulo de contacto y reduce las fuerzas capilares del hidrocarburo y el suelo, facilitando la movilización del petróleo. Además, desde una perspectiva ambiental y económica, los resultados son positivos, ya que varios estudios recomiendan el uso de productos en niveles bajos, debido a que en niveles altos pueden ser más perjudiciales que el propio contaminante.

4.4. Prueba de hipótesis

4.4.1. Hipótesis general

La utilización del desengrasante biodegradable Lemon Magic logra la remoción de TPH del suelo contaminado con hidrocarburos.

Después de realizar un diseño factorial 2k con los parámetros específicos de esta investigación y analizar estadísticamente los resultados, se ha podido determinar que el desengrasante mágico de limón de RKL es altamente efectivo en la eliminación de contaminantes de hidrocarburos (TPH). Por lo tanto, la hipótesis planteada en este estudio puede ser confirmada con los datos obtenidos en el análisis.

4.4.2. Hipótesis específicas

El crudo derramado en el suelo se clasifica como liviano, mediano, pesado o extrapesado, las características del suelo utilizado serán favorables en la remediación.

Se caracterizó tanto el suelo como el petróleo crudo utilizado en la investigación. Los valores obtenidos para la densidad aparente, real y pH del suelo se encuentran dentro del rango establecido y no afectan la remediación del suelo, sino que son beneficiosos para la liberación del contaminante. El petróleo crudo utilizado tiene una gravedad específica de 0,89 g/mL y una densidad API de 27,49 g/mL, lo que lo clasifica como de categoría media. Sin embargo, la viscosidad cinemática y dinámica están por debajo de las normas NTE-INEN establecidas.

Las variables como la concentración y temperatura influyen significativamente en el proceso de lavado, determinado la efectividad del desengrasante Biodegradable LEMON MAGIC.

Se encontró que la temperatura es el factor más influyente en el proceso de lavado, con los mejores resultados a 120°F. La disminución de la tensión superficial a medida que aumenta la temperatura permite una eliminación más efectiva del contaminante TPH durante el lavado.

Los TPH analizados en la muestra tratada se encuentran de los límites permisibles de la normativa RAOHE, para la remediación de suelos contaminados.

La concentración de 40000 mg/kg de TPH permitió una remoción eficaz del 90.5%, cumpliendo así con los límites permisibles de descarga establecidos por la norma (< 4000 mg/kg). La

técnica de lavado con desengrasante facilitó la eliminación de los contaminantes, especialmente en suelos arcillosos que presentan mayor adherencia.

CONCLUSIONES

- Se evaluaron las muestras de suelo tratadas experimentalmente en el laboratorio, mediante el método de lavado utilizando el desengrasante biodegradable Lemon Magic de la empresa RKL, dando un resultado eficiente para la remoción de TPH logrando bajar los niveles de este contaminante de 40000 mg kg^{-1} , a un promedio de tres muestras analizadas con los mejores resultados de $3366,7 \text{ mg kg}^{-1}$, con un porcentaje de eficiencia de 90.5%.
- Se realizó la caracterización física tanto del suelo y crudo, en la que se determinaron varios parámetros como son la densidad °API, la viscosidad y gravedad específica. Este crudo tiene una gravedad de 27,28 °API por lo que lo caracteriza como un crudo mediano no fue muy viscoso por lo cual fue más fácil de solubilizar. En cuanto la caracterización del suelo sirvió para conocer la textura, densidad aparente, real y el pH, y poder determinar si estos factores influyen en el tratamiento de lavado dando como resultado no tener mayor incidencia.
- Se determinó en base a un análisis estadístico que las variables óptimas que arrojaron mejor resultado en este proceso de remoción de TPH fue el TR2 con las diferentes condiciones una temperatura de 120 °F a una concentración del 10 % v/v de producto, es decir a estas condiciones se puede remover el 90.5% del contaminante reconociendo la eficiencia de Lemon Magic en este estudio, siendo la variable más influyente la temperatura del sistema.
- Con el análisis de TPH del suelo remediado por lavado reveló que el proceso efectuado con Lemon Magic a las diferentes dosis se obtuvo un valor de $3366,7 \text{ mg kg}^{-1}$, mg/Kg los cuales se consideran dentro de los límites permisibles de acuerdo a la normativa del RAOHE, dando como resultado un suelo para uso industrial, resulta evidente que estos suelos en este proceso pierden materia orgánica esencial en la fertilidad de un suelo debido a esto es necesaria la aplicación de una recuperación real que vuelva un suelo próspero y productivo.

RECOMENDACIONES

- Para una investigación más completa, se puede variar las concentraciones del contaminante hasta simular un derrame real, ya que en este estudio se trabajó con concentraciones bajas reportadas en otras fuentes, para determinar si el uso de este producto tiene la misma eficiencia.
- Para lograr una remoción más efectiva, se recomienda realizar el lavado del suelo en dos ocasiones. Esta práctica garantizará una limpieza más profunda y completa, asegurando resultados óptimos

BIBLIOGRAFÍA

AG LUMITOS. Gravedad API. *QUÍMICA.ES* [en línea]. 2022. [Consulta: 8 agosto 2022]. Disponible en: https://www.quimica.es/enciclopedia/Gravedad_API.html

AGUIAR, M. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos. *Saber Metodología* [en línea]. 2016. [Consulta: 11 junio 2022]. Disponible en: <https://sabermetodologia.wordpress.com/2016/02/15/tecnicas-e-instrumentos-de-recoleccion-de-datos/>

AGUILERA, C.; et al. Propuesta de remediación de suelo contaminado con hidrocarburos, Empresa Logística y Transportes MC2, Placilla, región de Valparaíso [en línea] (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Viña del Mar, Escuela de Ingeniería, Chile. 2016. pp. 1-170. [Consulta: 11 junio 2022]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12536/2034>

ATSDR. *Hidrocarburos totales de petróleo (TPH)* [en línea]. Estados Unidos: Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 1998. [Consulta: 11 junio 2022]. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts123.html#

BENAVIDES, J.; et al. “Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo”. *Publicación Científica*, vol. 4, no. 5(2006), pp. 82-90. ISSN 1794-2370.

BIO & LIMPIEZA “RKL”. *Limpieza y remediación ambiental en derrames de crudo. Propuesta Técnica Proponentes.* RKL: Quito – Ecuador. 2020.

BURGOS, J.; et al. *El petróleo.* Primera Ed. Madrid: EISE Domènech, S.A. pp. 2-19. 2002. ISBN B-41679-2002.

CABRERA, L. *Riesgo Químico Bajo Control* [en línea]. Madrid, España: Universidad Politécnica. 2014. pp. 1-15. [Consulta: 11 junio 2022]. Disponible en: <https://www.upm.es/sfs/Rectorado/Gerencia/Prevencion%20de%20Riesgos%20Laborales/Informacion%20sobre%20Prevencion%20de%20Riesgos%20Laborales/Manuales/folleto%20LABORATORIOS%20QUIMICA%2014nov2006.pdf>

CANDIA, J. “Manual de tecnologías de remediación de sitios contaminados”. *Antimicrobial agents and chemotherapy* [en línea], 2014, 58(12), pp. 11-29. [Consulta: 11 junio 2022]. ISSN 1098-6596. DOI 10.1128/AAC.03728-14. Disponible en: <https://fch.cl/wp->

content/uploads/2019/10/manual-de-tecnologias-de-remediacion-de-sitios-contaminados_baja-1.pdf

CASTRO, G. *Diseño Monitoreo Frente Derrames De Hidrocarburos* [en línea]. Chile: PRASA. 2007. [Consulta: 18 junio 2022]. Disponible en: https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/INFORME_FINAL_ASESORIA_SAG_HCS2.pdf

FAO. *Evaluación mundial de la contaminación del suelo*. Roma: FAO. 2022. ISBN 9789251357941.

FERNÁNDEZ, P., & HUMBSER, J. Evaluación de la toxicidad del suelo durante y después de un proceso de biorremediación de hidrocarburos aromáticos policíclicos HAPs [en línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Ingeniería Ambiental, Cuenca, Ecuador. 2014. pp. 1-21. [Consulta: 18 junio 2022]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8974/1/UPS-CT005259.pdf>

GLOBE. *Un vistazo a la investigación de suelos* [en línea]. Estados Unidos: Global Learning and Observation to Benefit the Environment Program. 2005. pp. 14-15. [Consulta: 18 junio 2022]. Disponible en: https://www.globe.gov/documents/10157/381040/soil_chap_es.pdf

GÓMEZ, E.; et al. “Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización”. *DYNA* [en línea], 2014, 81(184). pp. 158-163. [Consulta: 18 junio 2022]. ISSN 18781632. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/496/49630405022.pdf>

GOYA, N. Análisis de las estrategias para la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos totales de petróleo (TPH) [en línea] (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Naturales, Guayaquil, Ecuador. 2020. pp. 3-91. [Consulta: 18 junio 2022]. Disponible en: http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/51387/1/TFM_Nelson_Ivan_Goya_Castro_15_10_10%283%29.pdf

HERAZO, D., & ROMERO, A. “Evaluación de un surfactante de origen natural como dispersante en derrames de hidrocarburos en mares”. *DYNA* [en línea], 2020, 88(218), pp. 230-238. [Consulta: 18 junio 2022]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v88n218/2346-2183-dyna-88-218-230.pdf>

ICCT. *Introducción a la refinación del petróleo y producción de gasolina y diésel con contenido ultra bajo de azufre* [en línea]. Estados Unidos: The International Council on Clean Transportation. 2011. [Consulta: 18 junio 2022]. Disponible en: http://www.theicct.org/sites/default/files/ICCT_RefiningTutorial_Spanish.pdf

LEE, D. “Effect of Tween surfactant components for remediation of toluene-contaminated groundwater”. *Geosciences Journal* , vol. 9, no. 3 (2005), pp. 261-267.

LEÓN, A. *Guía de laboratorio de fluidos determinación de la gravedad API*. Colombia-Bucaramanga: s.n. 2013.

LI, Q.; et al. “Effects of co-contamination of heavy metals and total petroleum hydrocarbons on soil bacterial community and function network reconstitution”. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 204, (2020). pp. 111083. ISSN 10902414.

MACHADO, A. “Comparación de las propiedades que influyen en la combustión entre el fly ash, carbón y diferentes derivados del petróleo”, vol. 6, no. 6 (2012), pp. 61-70.

MARTÍNEZ, M. Remoción de diésel en un suelo empleando surfactantes sintéticos [en línea] (Trabajo de titulación) (pregrado). Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior De Ingeniería Química E Industrias Extractivas, México. 2013. pp. 1-110. [Consulta: 18 junio 2022]. Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/17170/25-1-16634.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MARTÍNEZ, M.; et al. “Lavado de suelo contaminado con plomo y recuperación electroquímica del Pb”. *ResearchGate* [en línea], 2000, pp. 10. [Consulta: 18 junio 2022]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico2005/martinez.pdf>

MARTINEZ, V., & SAMUEL, L. “Effects of Hydrocarbon Pollutants on the Physical and Chemical Properties of Clay Soil”. *Terra Latinoamericana* [en línea], 2001, 19(1) (México). pp. 9-17. [Consulta: 18 junio 2022]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57319102%0ACómo>

MULLIGAN, C.N.; et al. “Surfactant-enhanced remediation of contaminated soil”. *Engineering Geology*, vol. 60, no. 1-4 (2001), pp. 371-380. ISSN 00137952. DOI 10.1016/S0013-7952(00)00117-4.

MUÑOZ, M.; & VANEGAS, Y. Desarrollo de un desengrasante biodegradable a partir del aprovechamiento de desechos orgánicos de la corteza de la naranja (*citrus sinensis*) (Trabajo de titulación) (Pregrado). Fundación Universidad De América, Facultad de Ingenierías, Bogotá, Colombia. 2021. pp. 1-107.

OREJUELA, P. Caracterización de la gravedad api en el campo lisama (cuenca valle medio del magdalena) a partir de la pirolisis RcoK-Eval VI (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Industrial De Santander, Facultad de Ingenierías Físico Químicas, Bucaramanga, Colombia. 2010. pp. 2-143.

ORTIZ, I.; et al. *Técnicas de recuperación de suelos contaminados*. 6 ed. Madrid, España: CITME. 2007. pp. 12-82.

PETROECUADOR. *Muestra de crudo*. Ecuador: s.n. 2022. ISBN 9781119130536.

PIÑA, O. *Lavado In Situ de un suelo contaminado con diésel , asistido con surfactantes*. México: Instituto Politécnico Nacional. 2012.

RAOHE. *Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador*.

RIOJAS, H.; et al. “Evaluación de la biorremediación aplicando mezclas de surfactante- solvente en suelo contaminado con diésel”. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, vol. 6, no. 2 (2010), pp. 100-109.

RIOJAS, H.; et al. “Influence of Surfactants in Remediation of Soils Contaminated with Hydrocarbons”. *Revista Facultad De Ciencias Básicas*, vol. 7, no. 1 (2011), pp. 94-115.

RODRÍGUEZ, G. “Remoción de hidrocarburos totales en suelos contaminados con petróleo mediante residuos de Cachaza y Bagazo de caña de azúcar”. *Ucv-Scientia*, vol. 9, no. 1(2017), pp. 59-66. ISSN 2077172X.

ROMERO, D. Desarrollo y validación de un método para la determinación de hidrocarburos totales de petróleo (TPH's) mediante espectrofotometría de infrarrojos con transformadas de Fourier en suelos fortificados [en línea] (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica Del Ecuador, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Quito, Ecuador. 2010. pp. 1-130. [Consulta: 12 junio 2022]. Disponible en:

<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/3160/T-PUCE-2784.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

SANTOS, R.G. “An overview of heavy oil properties and its recovery and transportation methods”. *Brazilian Journal of Chemical Engineering* [en línea], vol. 31, no. 3(2014), pp. 571-590. ISSN 0104-6632. [Consulta: 12 junio 2022]. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-66322014000300001&lng=en&tlng=en.

TULSMA. *Reforma Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente, Libro VI.*

URUM, K., & PEKDEMIR, T. “Evaluation of biosurfactants for crude oil contaminated soil washing”. *Chemosphere* [en línea], vol. 57, no. 9 (2004), pp. 1139-1150. [Consulta: 12 junio 2022]. ISSN 00456535. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0045653504006630>.

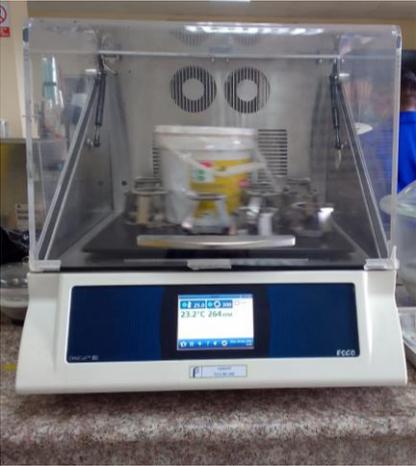
VOLKE, T., & VELASCO, J. *Tecnologías de remediación para suelos contaminados.* México: Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). 2002. pp. 9-60. ISBN 968-817-557-9.

ZEHNER, R., & TERÁN, P. “Reglamento sustitutivo al reglamento ambiental para operaciones hidrocarburíferas en el Ecuador”. *Ministerio de Energía y Minas*, vol. III, no. 1215 (2016), pp. 1-106.

ZENELI, A.; et al. “Monitoring the biodegradation of TPH and PAHs in refinery solid waste by biostimulation and bioaugmentation”. *Journal of Environmental Chemical Engineering* [en línea], 2019, 7(3), pp. 103054. [Consulta: 12 junio 2022]. ISSN 22133437. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103054>.

ANEXOS

ANEXO A: CONTAMINACIÓN DE LA MUESTRA DE SUELO CON PETRÓLEO

a.	b.	c.			
			<p>EVALUACIÓN DE LA TOXICIDAD DE LOS SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DEL DESENGRASANTE BIODEGRADABLE LEMON MAGIC PARA LA EMPRESA RKL CIA, LTDA.</p>		
<p>NOTAS</p> <p>a) Pesar un kg de muestra de suelo.</p> <p>b) Contaminar la muestra con el hidrocarburo.</p> <p>c) Homogenización de la muestra.</p>	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Aprobado ➤ Certificado ➤ Por aprobar ➤ Por calificar ➤ Por verificar 	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>Elaborado por: Karla Marianela Conlago Gualavisí</p>	<p>LÁMINA</p>	<p>ESCALA</p>	<p>FECHA</p>
			<p>1</p>	<p>1:10</p>	<p>2022/08/13</p>

ANEXO B: PROCESO DE LAVADO DE SUELO CON EL DESENGRASANTE LEMON MAGIC

<p>a.</p> 	<p>b.</p> 	<p>c.</p> 			
<p>NOTAS</p>	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>Elaborado por: Karla Marianela Conlago Gualavisí</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA TOXICIDAD DE LOS SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DEL DESENGRASANTE BIODEGRADABLE LEMON MAGIC PARA LA EMPRESA RKL CIA, LTDA.</p>		
<p>a) Pesar 50g de la muestra de suelo contaminada.</p>	<p>➤ Aprobado</p>		<p>LÁMINA</p>	<p>ESCALA</p>	<p>FECHA</p>
<p>b) Colocar en el matraz 10% y 20% de solución. c) Mezcla de suelo contaminado más la solución.</p>	<p>➤ Certificado ➤ Por aprobar ➤ Por calificar ➤ Por verificar</p>		<p>1</p>	<p>1:1</p>	<p>2022/08/13</p>

ANEXO C: PROCESO DE LAVADO DE SUELO CON EL DESENGRASANTE LEMON MAGIC

<p>a.</p> 	<p>b.</p> 	<p>c.</p> 							
<p>NOTAS</p>	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>Elaborado por: Karla Marianela Conlago Gualavisí</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA TOXICIDAD DE LOS SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DEL DESENGRASANTE BIODEGRADABLE LEMON MAGIC PARA LA EMPRESA RKL CIA, LTDA.</p>						
<p>a. Lavar las muestras en el agitador SHAKER a 48.8 y 23 °C.</p> <p>b. Muestras lavadas.</p> <p>c. Retiro del sobrenadante y secado.</p>	<p>➤ Aprobado</p> <p>➤ Certificado</p> <p>➤ Por aprobar</p> <p>➤ Por calificar</p> <p>➤ Por verificar</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="1525 1106 1680 1209">LÁMINA</th> <th data-bbox="1680 1106 1839 1209">ESCALA</th> <th data-bbox="1839 1106 2040 1209">FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="1525 1209 1680 1353">1</td> <td data-bbox="1680 1209 1839 1353">1:1</td> <td data-bbox="1839 1209 2040 1353">2022/08/13</td> </tr> </tbody> </table>	LÁMINA	ESCALA	FECHA	1	1:1	2022/08/13
LÁMINA	ESCALA	FECHA							
1	1:1	2022/08/13							

ANEXO D: PROCESO DE LAVADO DE SUELO CON EL DESENGRASANTE LEMON MAGIC

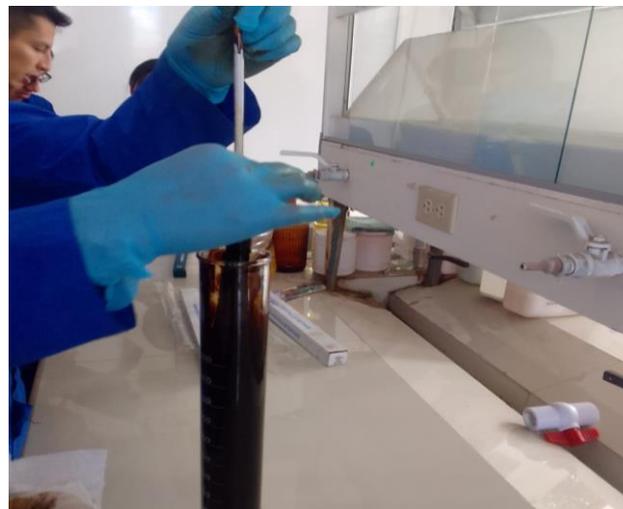
<p>a.</p> 	<p>b.</p> 	<p>c.</p> 							
<p>NOTAS</p>	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA TOXICIDAD DE LOS SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DEL DESENGRASANTE BIODEGRADABLE LEMON MAGIC PARA LA EMPRESA RKL CIA, LTDA.</p>						
<p>d. Análisis de Lugol. e. pH del almidón. f. Ceniza del almidón de maíz blanco y amarillo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aprobado ➤ Certificado ➤ Por aprobar ➤ Por calificar ➤ Por verificar 	<p>Elaborado por: Karla Marianela Conlago Gualavisí</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="1525 1128 1680 1228">LÁMINA</th> <th data-bbox="1680 1128 1839 1228">ESCALA</th> <th data-bbox="1839 1128 2040 1228">FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="1525 1228 1680 1358" style="text-align: center;">1</td> <td data-bbox="1680 1228 1839 1358" style="text-align: center;">1:1</td> <td data-bbox="1839 1228 2040 1358" style="text-align: center;">2022/08/13</td> </tr> </tbody> </table>	LÁMINA	ESCALA	FECHA	1	1:1	2022/08/13
LÁMINA	ESCALA	FECHA							
1	1:1	2022/08/13							

ANEXO E: CARACTERIZACIÓN DEL PETRÓLEO Y DEL SUELO

a.



b.



<p>NOTAS</p>	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>Elaborado por: Karla Marianela Conlago Gualavisí</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA TOXICIDAD DE LOS SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DEL DESENGRASANTE BIODEGRADABLE LEMON MAGIC PARA LA EMPRESA RKL CIA, LTDA.</p>		
<p>g. Análisis de Lugol. h. pH del almidón. i. Ceniza del almidón de maíz blanco y amarillo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aprobado ➤ Certificado ➤ Por aprobar ➤ Por calificar ➤ Por verificar 		<p>LÁMINA</p>	<p>ESCALA</p>	<p>FECHA</p>
		<p>1</p>	<p>1:1</p>	<p>2022/08/13</p>	

ANEXO F: RESULTADOS CARACTERIZACIÓN DEL SUELO DENSIDAD



LABORATORIO DE SUELOS Y AGUA

Cliente: KARLA MARIANELA CONLAGO GUALAVISI

Dirección: Paquiestancia, Ayora

Telf./Cel: (+593) 99 996 2454

Contacto: Karla Conlago

E-mail: marianela.coquiz@gmail.com

Número de Muestras: 1

N° de Informe: 22 534

Fecha de ingreso: octubre 24, 2022

Fecha Emisión: octubre 31, 2022

Tipo de Muestra: suelo

Fecha de Análisis: octubre 25 al 27, 2022

INFORME DE RESULTADOS

Código de Laboratorio	Identificación del Cliente	da g/cc	dr g/cc	Porosidad %	Humedad %	Método de Valoración
LSA22 843	BLOQUE 56 LAGO AGRIO	1,15	3,22	63,27	...	PROCEDIMIENTOS FÍSICOS: Estufa 105 °C Desecador

DATOS ADICIONALES:

% : porcentaje

g/cc: gramo por centímetro cúbico

Nota Aclaratoria:

Los resultados corresponden únicamente a las muestras entregadas por el cliente;


Ing. Agr. Orlando Gualavisi
Técnico de Suelos y Agua



LABORATORIO DE SUELOS Y AGUA

Cayambe, Av. Natalia Jarrín N3-85 y 9 de Octubre. Teléfonos: 593 (2) 3962 946 / 3962 800 Ext: 2504 - 2530
Correo electrónico: ogualavisi@ups.edu.ec / bioagrolab@ups.edu.ec

ANEXO G: RESULTADOS CARACTERIZACIÓN DEL SUELO TEXTURA



LABORATORIO DE SUELOS Y AGUA



Cliente: KARLA MARIANELA CONLAGO GUALAVISI

Dirección: Paquiestancia, Ayora

Tel./Cel: (+593) 99 996 2454

Contacto: Karla Conlago

E-mail: marianela.coquiz@gmail.com

Número de Muestras: 1

N° de Informe: 22 532

Fecha de ingreso: octubre 24, 2022

Fecha Emisión: octubre 31, 2022

Tipo de Muestra: suelo

Fecha de Análisis: octubre 25 al 27, 2022

INFORME DE RESULTADOS

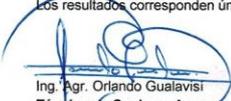
Código Laboratorio	Identificación de	Textura de Suelo			Método de Valoración
		Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	
LSA22 843	BLOQUE 56 LAGO AGRIO	54	24	22	PROCEDIMIENTOS FÍSICOS: Pipeta Robinson Centrífuga

DATOS ADICIONALES:

% : porcentaje;

Nota Aclaratoria:

Los resultados corresponden únicamente a las muestras entregadas por el cliente;


Ing. Agr. Orlando Gualavisi
Técnico de Suelos y Agua



LABORATORIO DE SUELOS Y AGUA

Cayambe, Av. Natalia Jarrín N3-85 y 9 de Octubre. Teléfonos: 593 (2) 3962 946 / 3962 800 Ext: 2504 - 2530
Correo electrónico: ogualavisi@ups.edu.ec / bioagrolab@ups.edu.ec

ANEXO H: RESULTADOS CARACTERIZACIÓN DEL SUELO HIDROCARBUROS TOTALES



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS ÁREA DE AGUAS Y SUELOS

Informe N°: 22-245.5
Fecha de emisión: 2022-11-10

Cliente*: KARLA MARIANELA CONLAGO GUALAVISI
Contacto*: Srta. Karla Conlago
Dirección*: Riobamba
Teléfono*: 0999962454
Tipo de muestra*: SUELO
Descripción de la muestra*: M122
Condiciones de la muestra: Muestra en funda plástica tipo ziploc
Fecha de ingreso de muestra: 2022-10-27
Código de la muestra: 22-245.5
Fecha de realización de los ensayos: 2022-10-27 al 2022-11-08
Lugar donde se realizaron los ensayos: Laboratorio DPEC – Área de Aguas y suelos
E-mail*: karla.conlago@espoch.edu.ec

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO / TÉCNICA	RESULTADO	INCERTIDUMBRE $\pm(k=2)$	**Limite Max. Permisible	DECLARACIÓN DE CONFORMIDAD ^b
Hidrocarburos totales (TPH)	mg/kg	PNE/DPEC/A/EPA 418.1 (Espectrofotometría infrarroja)	3900,049	358,969 mg/kg	<4000	Probablemente cumple

Nota: Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE.
Nota: Los resultados se aplican a la muestra, tal y como se recibió

** Límite Máximo Permisible de acuerdo a la Tabla 6. ROAHE. Uso Industrial.
Límites permisibles para la identificación y remediación de suelos contaminados en todas las fases de la industria hidrocarburífera, incluidas las estaciones de servicios.

Condiciones Ambientales.- Humedad: 42,7 a 57,4 %, Temperatura: 17,3 a 21,0 °C

--- FIN DE LA SECCIÓN ---

^a Información proporcionada por el cliente, el Laboratorio DPEC no se responsabiliza por esta información
^b Declaración de conformidad aplicada con base a la regla de decisión definida en la ROAHE. Tabla 6, uso industrial

Analistas: APJ
Elaborado por: VRT

Revisado por:

x Ing. Richard Herrera V.
RESPONSABLE TÉCNICO

Aprobado por:

Ing. Fernanda Toasa L.
RESPONSABLE DE CALIDAD

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL DEL INFORME COMPLETO O SOLICITAR UNA COPIA CONTROLADA DEL MISMO.
EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE INFORME

Dirección: Enrique Ritter s/n y Bolívar

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26
QUITO - ECUADOR

E-mail: fiq.secretaria.dpec@uce.edu.ec

MC2201-A01-9

Hoja 5 de 13



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: 15 /01/2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Karla Marianela Conlago Gualavisí
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniera Química
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

1887-DBRA-UPT-2023