



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA**

**EVALUACIÓN DEL BIOSURFACTANTE NONIL FENOL
ETOXILADO 10 MOLES COMO AGENTE REMEDIADOR DE UN
SUELO IMPACTADO CON CRUDO PESADO**

**REALIZADO POR:
GABRIELA DEL VALLE MORENO MISTAGE**

**Trabajo especial de grado presentado como requisito parcial para optar
al título de:**

INGENIERO DE PETRÓLEO

MATURÍN, FEBRERO DE 2024



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA**

**EVALUACIÓN DEL BIOSURFACTANTE NONIL FENOL
ETOXILADO 10 MOLES COMO AGENTE REMEDIADOR DE UN
SUELO IMPACTADO CON CRUDO PESADO**

REALIZADO POR:

**GABRIELA DEL VALLE MORENO MISTAGE
C.I.: 18.582.828**

REVISADO POR:

M.Sc. CARLOS JAVIER DE LA CRUZ

Asesor Académico

MATURÍN, FEBRERO DEL 2024



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA**

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL BIOSURFACTANTE
NONIL FENOL ETOXILADO 10 MOLES COMO AGENTE
REMEDIADOR DE UN SUELO IMPACTADO CON CRUDO
PESADO**

REALIZADO POR:

GABRIELA DEL VALLE MORENO MISTAGE

C.I.: 18.582.828

APROBADO POR:

**MSc. CARLOS DE LA CRUZ
ASESOR ACADÉMICO**

**MSc. NORIS BELLO
JURADO PRINCIPAL**

**MSc. LUIS CASTILLO
JURADO PRINCIPAL**

MATURÍN, FEBRERO DE 2024



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS

ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
SUB-COMISIÓN DE TRABAJO DE GRADO

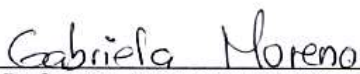
ACTA DE EVALUACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO

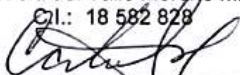
CTG-EICA-IP-2024

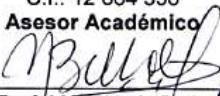
MODALIDAD: TESIS DE GRADO

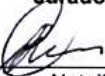
ACTA N° 000003090-00208-01-2024

En Maturín, siendo las 8:00 am del día 9 de febrero del 2024 reunidos en la Sala "A1 Postgrado", Campus: Juanico del Núcleo de Monagas de la Universidad de Oriente, los miembros del jurado profesores: MSc. Carlos De La Cruz (Asesor Académico), MSc. Noris Bello (Jurado), MSc. Luis Castillo (Jurado). A fin de cumplir con el requisito parcial exigido por el Reglamento de Trabajo de Grado vigente para obtener el Título de Ingeniero de Petróleo, se procedió a la presentación del Trabajo de Grado, titulado: **EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL BIOSURFACTANTE NONIL FENOL ETOXILADO 10 MOLES COMO AGENTE REMEDIADOR DE UN SUELO IMPACTADO CON CRUDO PESADO**. Por la Bachiller: **GABRIELA DEL VALLE MORENO MISTAGE, C.I. 18 582 828**. El jurado, luego de la discusión del mismo acuerdan calificarlo como: APROBADO CON CALIFICACIÓN


Br. Gabriela del Valle Moreno Mistage
C.I.: 18 582 828


Prof. MSc. Carlos De La Cruz
C.I.: 12 664 336
Asesor Académico


Prof. MSc. Noris Bello
C.I.: 4714349
Jurado


Prof. Ing. Natali Ramos
C.I.: 14 145 134
Sub-Comisión de Trabajo de Grado




Prof. MSc. Luis Castillo
C.I.: 13 773 520
Jurado


Prof. Ing. Jesús Otahola
C.I.: 14 940 176
Jefe de Departamento



Según establecido en resolución de Consejo Universitario N° 034/2009 de fecha 11/06/2009 y Artículo 13 Literal J del Reglamento de Trabajo de Grado de la Universidad de Oriente. NOTA: Para que esta acta tenga validez debe ser asentada en la hoja N°- 344 del 15° libro de Actas de Trabajos de Grado del Departamento de Ingeniería de Petróleo, EICA de la Universidad de Oriente y estar debidamente firmada por el (los) asesor (es) y miembros del jurado.

DEL PUEBLO VENIMOS / HACIA EL PUEBLO VAMOS

RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 41 del Reglamento de Trabajos de Grado:

“Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien le participará al Consejo Universitario”.



DEDICATORIA

De manera especial a Dios y a la Virgen del Valle, quienes en todo momento me mantuvieron con fortaleza para asumir este gran reto hasta el final.

De la misma manera, quisiera dedicarle este gran esfuerzo a mi madre Nely Mistage y a mi padre Pedro Moreno, quienes gracias a su educación me forjaron como una mujer de bien, comprometida con mis responsabilidades y metas.

Por último, a mis abuelos, Emilia y Aquilino quienes desde el cielo siempre fueron motivación, así como también lo fue mi tía Faridy, este triunfo también es de ellos.

AGRADECIMIENTOS

Principalmente a Dios y a la virgen del valle, quienes me guiaron y dieron fortaleza para alcanzar esta meta.

A mi familia, en especial a mis padres, hermanos, esposo he hija y a quienes tengo en el cielo como son mi abuela Emilia, abuelo Aquilino y mi tía Faridy, por su apoyo incondicional, comprensión y motivación a lo largo de mis años de estudio.

Agradezco también, a mi asesor académico ingeniero CARLOS DE LA CRUZ, por sus valiosos concejos, orientaciones y perseverancia para materializar esta etapa de mi vida.

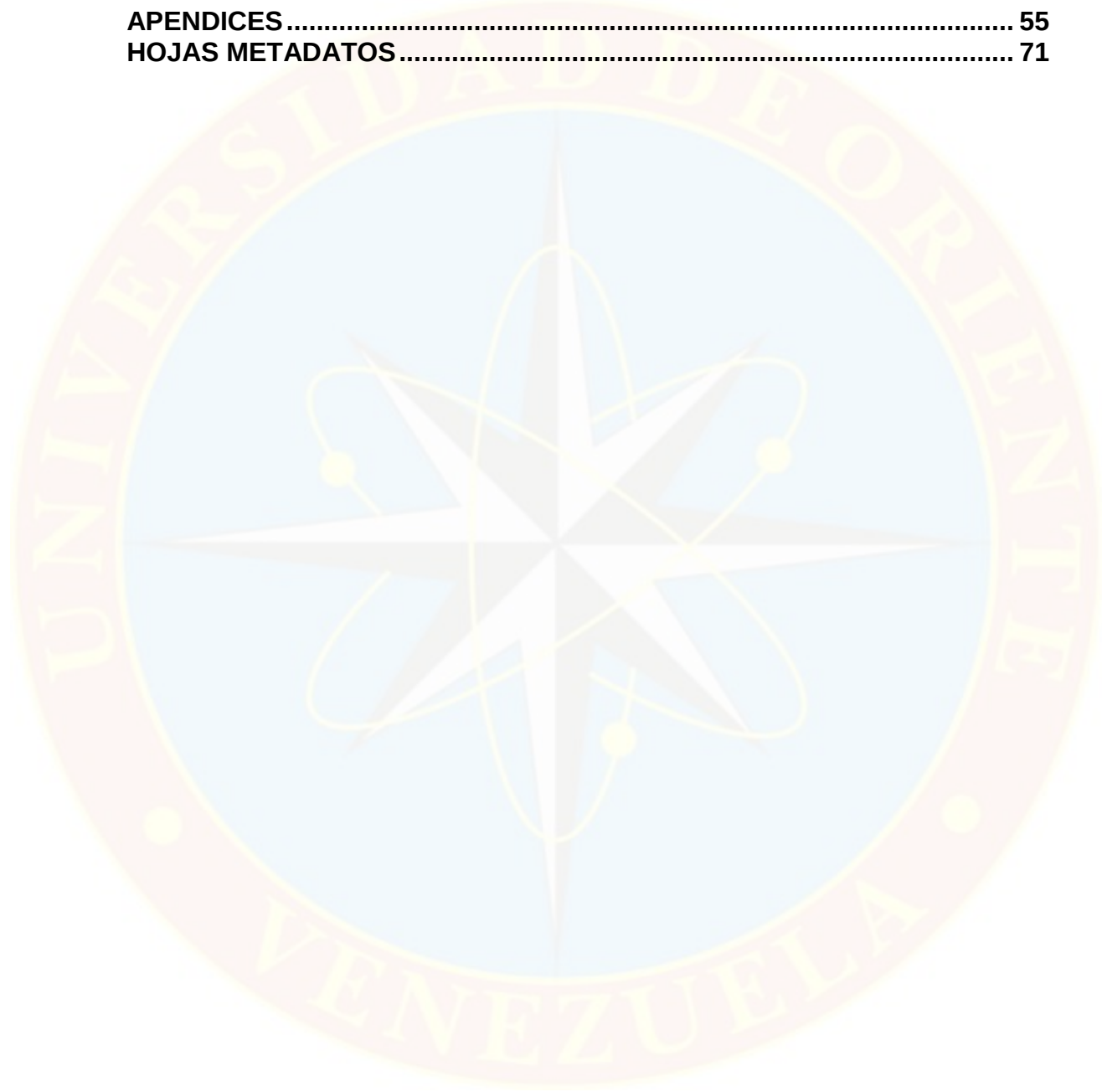
Por último y no menos importante, a la UNIVERSIDAD DE ORIENTE, que más allá de una institución académica, se convirtió en un segundo hogar para mí, llenándome de orgullo y satisfacción.

ÍNDICE GENERAL

RESOLUCIÓN	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE GRAFICAS	xii
LISTA DE TABLAS	xiii
RESUMEN	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
EL PROBLEMA Y SUS GENERALIDADES	3
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.2.1 Objetivo general	4
1.2.2 Objetivo específicos	4
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.4 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.5 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	6
CAPÍTULO II.....	7
MARCO TEÓRICO	7
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	7
2.2 BASES TEÓRICAS	8
2.2.1 Los surfactantes	8
2.2.2 Ventajas y desventajas de los surfactantes.....	9
2.2.3 El petróleo	9
2.2.4 Problemas de la industria petrolera: contaminación y eficiencia de extracción	10
2.2.5 Contaminación de suelos	11
2.2.6 Estrategias de remediación de suelos.....	11
2.2.7 Técnicas de remediación de acuerdo al lugar	12
2.2.8 Técnicas de remediación de acuerdo al tipo de tratamiento.....	13
2.2.9 Lavado de suelo	14
2.2.10 Materia orgánica del suelo.....	15
2.2.10 Hidrocarburos totales del petróleo (HTP)	15
2.2.11 pH del suelo.....	16
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	16
CAPÍTULO III.....	19
MARCO METODOLÓGICO.....	19
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	19

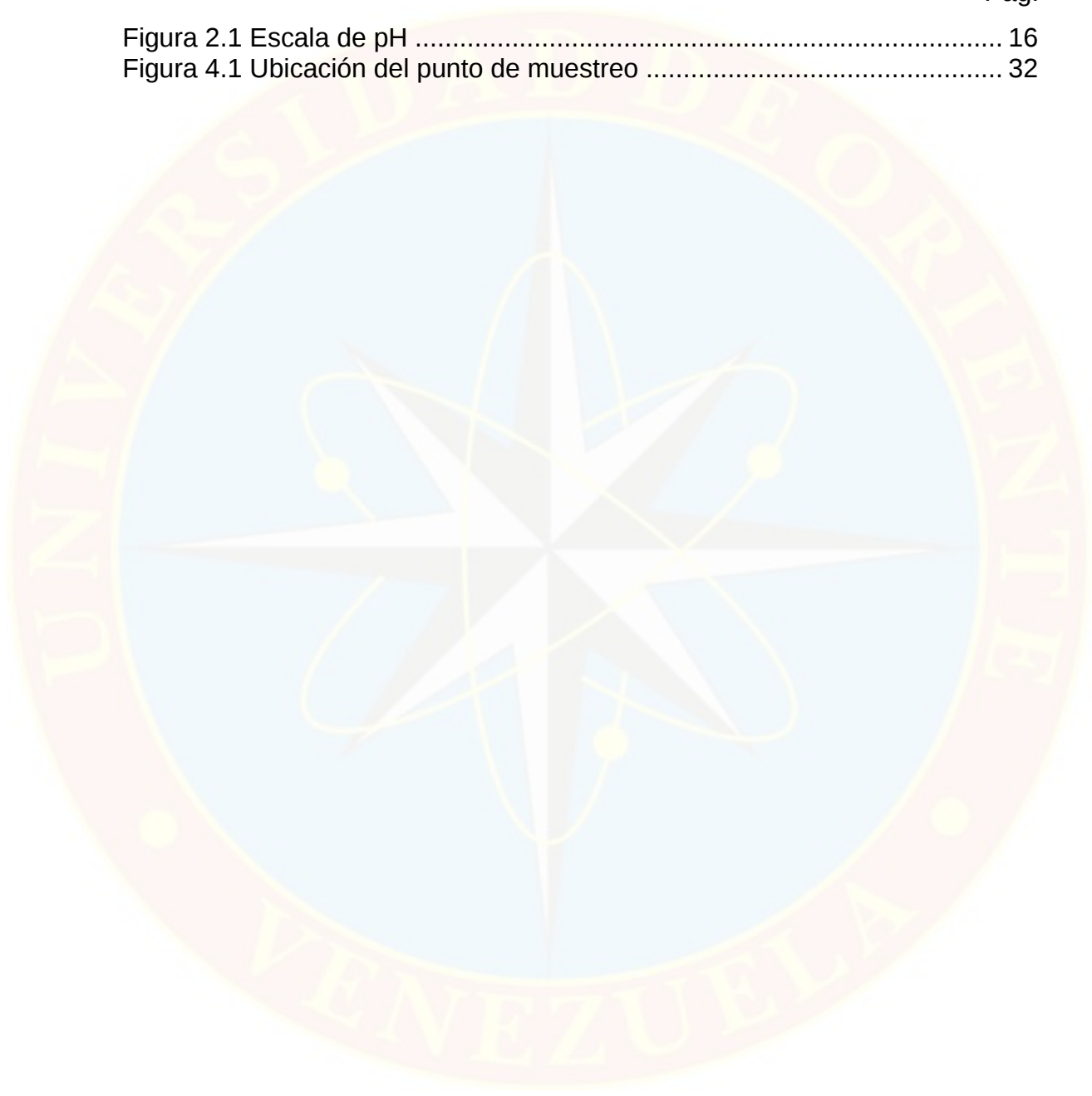
3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	19
3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL	20
3.4 SISTEMA DE HIPÓTESIS	21
3.5 SISTEMA DE VARIABLES	21
3.6 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	22
3.6.1 Identificación del tipo de crudo en base a sus propiedades.	22
3.6.1.1 Determinación de la gravedad API	22
3.6.1.2 Determinación de la densidad	22
3.6.1.3 Determinación de viscosidad cinemática	22
3.6.1.4 Determinación de % AyS	23
3.6.2 Caracterización de las muestras de suelo contaminado antes y después del lavado.....	23
3.6.2.1 pH.....	24
3.6.2.2 Conductividad eléctrica	24
3.6.2.3 Textura	25
3.6.2.4 Materia Orgánica.....	25
3.6.2.5 Hidrocarburos totales del petróleo (HTP)	26
3.6.3 Evaluación del biosurfactante Nonil Fenol Etoxilado 10 Moles como agente remediador del suelo.	26
3.7 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	27
3.8 RECURSOS	29
3.8.1 Humanos	29
3.8.2 Materiales	29
CAPÍTULO IV	30
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	30
4.1 IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE CRUDO EN BASE A SUS PROPIEDADES.	30
4.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS DE SUELO ANTES Y DESPUÉS DEL LAVADO.....	32
4.2.1 Caracterización de la muestra de suelo antes del proceso de lavado.....	33
4.2.2 Caracterización de la muestra de suelo después del proceso de lavado.....	34
4.2.2.1 pH del suelo lavado	34
4.2.2.2 Conductividad eléctrica (CE) del suelo lavado	36
4.2.2.3 Materia orgánica (MO) del suelo lavado.....	37
4.2.2.4 Textura del suelo lavado	39
4.2.2.5 Hidrocarburos totales del suelo lavado	40
4.3 EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL BIOSURFACTANTE NONIL FENOL ETOXILADO 10 MOLES COMO AGENTE REMEDIADOR DEL SUELO.....	42
CAPÍTULO V	46
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	46

5.1 CONCLUSIONES.....	46
5.2 RECOMENDACIONES.....	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
APENDICES	55
HOJAS METADATOS.....	71



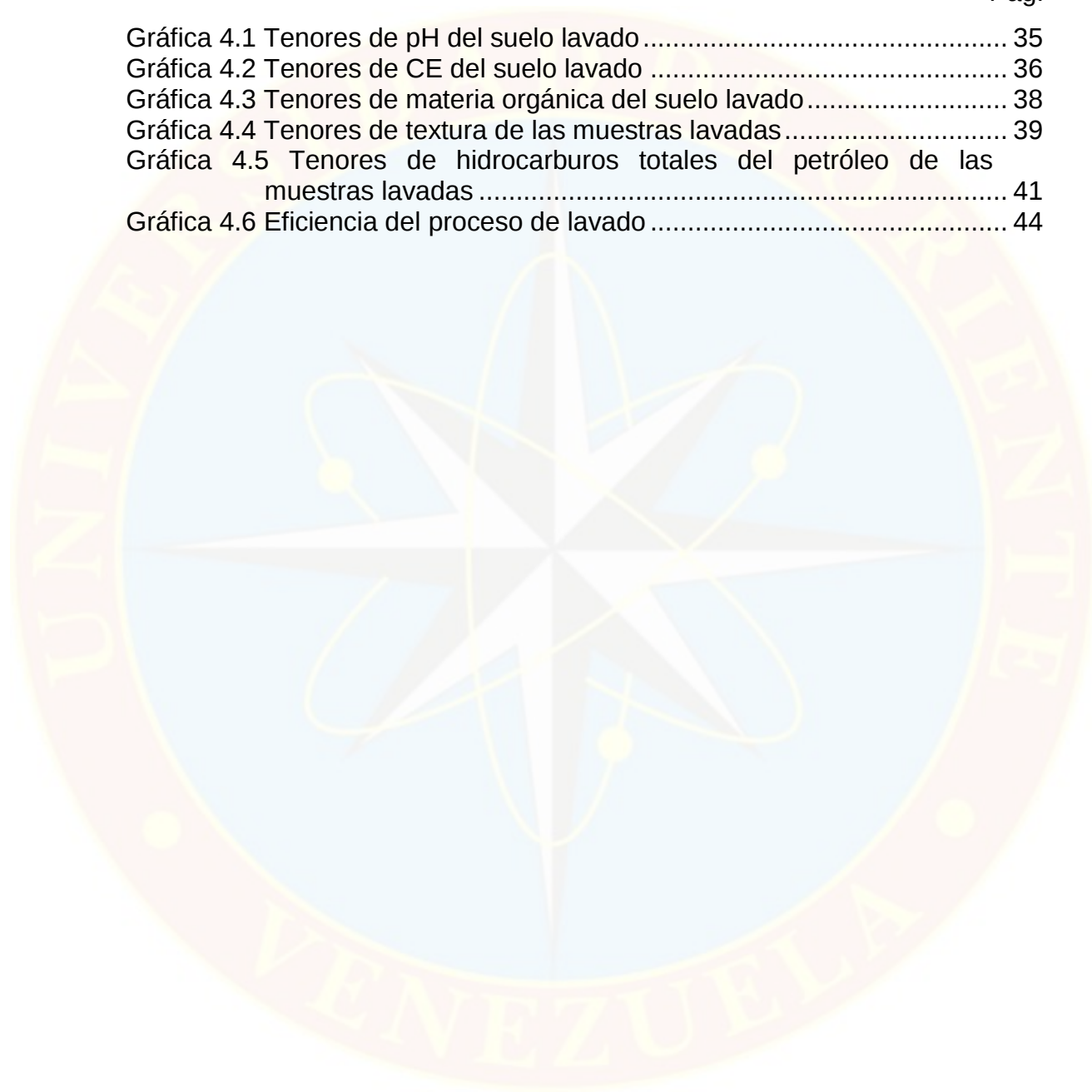
LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1 Escala de pH	16
Figura 4.1 Ubicación del punto de muestreo	32



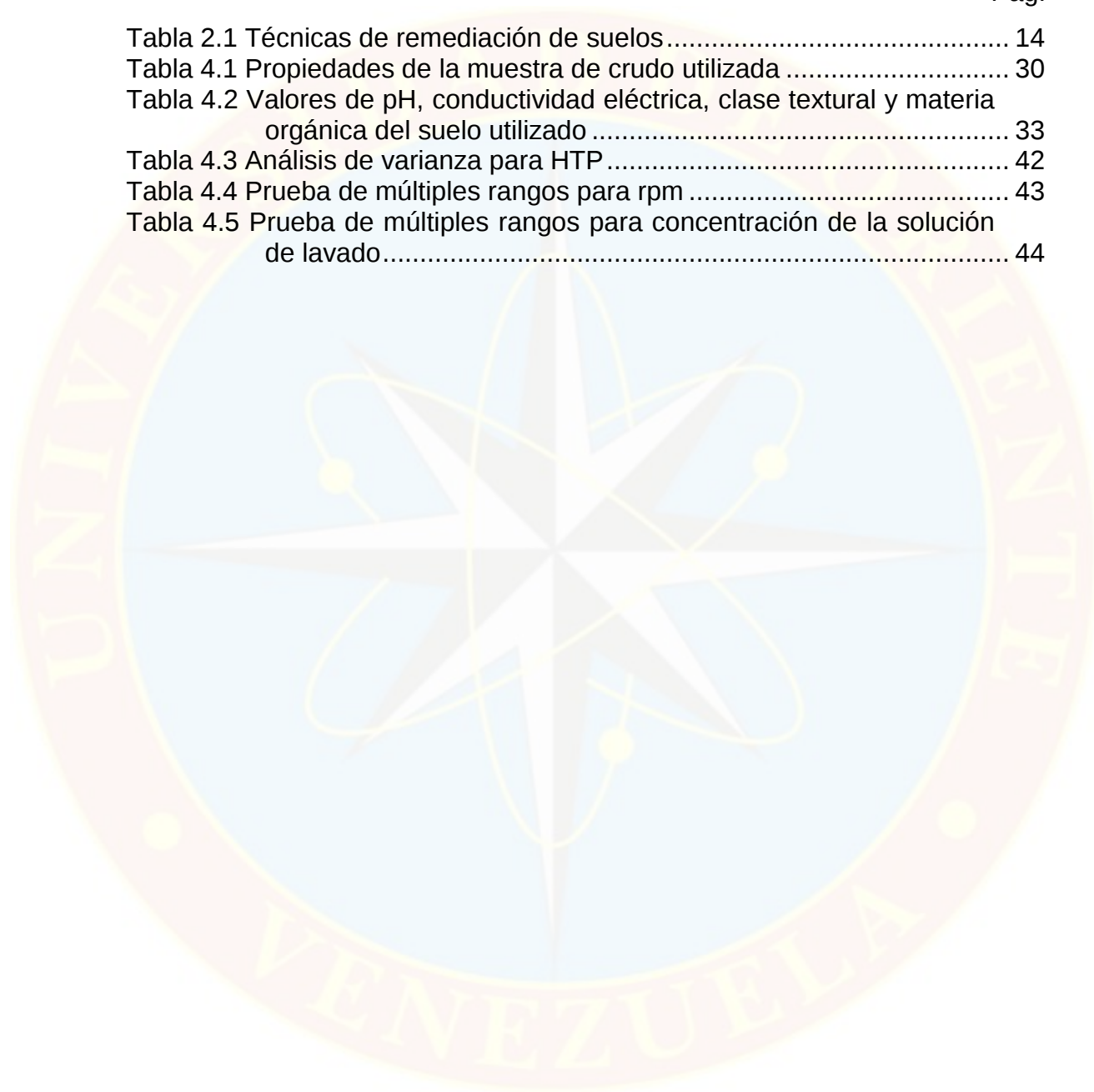
LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Gráfica 4.1 Tenores de pH del suelo lavado	35
Gráfica 4.2 Tenores de CE del suelo lavado	36
Gráfica 4.3 Tenores de materia orgánica del suelo lavado	38
Gráfica 4.4 Tenores de textura de las muestras lavadas	39
Gráfica 4.5 Tenores de hidrocarburos totales del petróleo de las muestras lavadas	41
Gráfica 4.6 Eficiencia del proceso de lavado	44



LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1 Técnicas de remediación de suelos	14
Tabla 4.1 Propiedades de la muestra de crudo utilizada	30
Tabla 4.2 Valores de pH, conductividad eléctrica, clase textural y materia orgánica del suelo utilizado	33
Tabla 4.3 Análisis de varianza para HTP	42
Tabla 4.4 Prueba de múltiples rangos para rpm	43
Tabla 4.5 Prueba de múltiples rangos para concentración de la solución de lavado.....	44





**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA**

**EVALUACIÓN DEL BIOSURFACTANTE NONIL FENOL ETOXILADO
10 MOLES COMO AGENTE REMEDIADOR DE UN SUELO IMPACTADO
CON CRUDO PESADO**

Autor:
Gabriela del Valle Moreno Mistage
C.I. 18.582.828
Febrero, 2024

Asesor Académico:
MSc. Carlos De La Cruz

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal evaluar el biosurfactante nonil fenol etoxilado 10 moles como agente remediador de un suelo impactado con crudo pesado. En primer lugar, se realizó una caracterización del crudo a utilizar y luego se hizo el muestreo del suelo al cual se le midió el pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, hidrocarburos totales del petróleo y textura antes y después del proceso de lavado. Se pesaron 5 kg de suelo y se contaminó con el hidrocarburo hasta obtener una concentración inicial de 76408 mg/kg. Seguidamente se tomaron 18 muestras (200 g) del suelo contaminado a las cuales se les aplicó la dilución del surfactante a 2 concentraciones (3 y 20%) tomando en cuenta una relación de 1:3 de suelo: surfactante y realizando el lavado a 3 tipos de rpm (500, 1000 y 1700 rpm). Se aplicó un análisis de varianza unifactorial para medir el efecto de las concentraciones y rpm en los HTP y se determinó el porcentaje de eficiencia. Los resultados arrojaron que el suelo cumplía con los requisitos (Decreto 2635) para ser sometido al proceso de lavado y que la concentración y los rpm ejercen un efecto significativo en la recuperación del suelo contaminado. Se detectaron diferencias significativas entre ambas concentraciones y en las rpm resultaron similares los tratamientos de 500 y 1000 rpm; determinándose que el tratamiento que mejor resultó fue el de concentración 3% a 500 rpm con una eficiencia de 87,11%.

Palabras claves: Suelo, Lavado, Surfactante.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial los pasivos ambientales generados por la industria petrolera son muchos y muy pocos son pagados, ya que consideran más económico abandonar el lugar afectado y seguir al siguiente sin tomar en cuenta que estos a largo o corto plazo tendrán incidencia sobre el ambiente.

La contaminación ambiental ocasionada por el petróleo y productos petroquímicos se reconoce como uno de los más graves problemas de la actualidad, sobre todo cuando se asocia a los derrames accidentales a gran escala (Plohl y Leskovsek, 2002).

Una vez derramado este contaminante en el suelo, la mayoría de los compuestos se pierden por volatilización (alifáticos), mientras que el resto de los hidrocarburos persisten en la superficie, generando un gran impacto en virtud de ser tóxicos y recalcitrantes para los seres vivos (Tissot y Mahro, 1996).

Recientemente ha habido un creciente interés en el uso de surfactantes para la restauración de suelos por sus propiedades físicas y químicas únicas, que incluyen la disminución de la superficie y tensiones interfaciales de los líquidos y su capacidad de movilizar al contaminante orgánico que está fuertemente adherido al suelo y posteriormente biodisponerlo (Pinto y Moore, 2000). Sin embargo, la elección del surfactante que se utilizará en el proceso de remediación de suelos con petróleo dependerá de varios factores tales como costos, la biodegradabilidad, toxicidad, la adsorción del surfactante a las moléculas del suelo, la dispersión en suelo y la disminución de la tensión superficial que este produzca (Urumand y Pekdemir, 2004).

Por la gran importancia que representan los recursos naturales, entre ellos el suelo, para el hombre y todos los seres vivos; esta situación ha despertado el interés por encontrar diferentes alternativas de procesos o procedimientos para poder evitar la contaminación por hidrocarburos de los recursos naturales y restaurar aquellos que han sido contaminados. Ante esta problemática este trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar el biosurfactante Nonil Fenol Etoxilado 10 Moles como agente remediador de un suelo impactado con crudo pesado.



CAPÍTULO I

EL PROBLEMA Y SUS GENERALIDADES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel mundial, se ve a diario los impactos ambientales producto de la actividad petrolera en los países productores de hidrocarburos, dichos impactos ambientales dependen del estado físico del derrame, la cantidad y composición del petróleo, además de la frecuencia y el tiempo de exposición, así como las características del lugar donde sucede, las variables ambientales como humedad, temperatura, oxígeno.

Venezuela, no escapa a esta problemática pues es la actividad petrolera la principal base económica, de la cual día a día es dependiente. Las actividades petroleras como la exploración, explotación, refinación y transporte, de manera directa o indirecta tienen impacto sobre el ambiente, debido a que el hombre solo le interesa extraer la mayor cantidad de hidrocarburos en el menor tiempo posible, sin tomar en cuenta el daño irreversible que puede causarle al medio ambiente.

En los impactos ambientales el más recurrente es el de los suelos, siendo este el que mayores consecuencias puede tener sobre el desarrollo humano, cabe destacar que muchos de los alimentos provienen del suelo. El impacto ambiental (IA) puede ser definido (Sanz, 1991) como la alteración producida en el medio natural donde el hombre desarrolla su vida; ocasionada por un proyecto o actividad dados, haciendo importante la recuperación de estos cuando han sido afectados mediante técnicas que permitan que estos suelos puedan ser reutilizados; tales como: la

biorremediación que se basa en la degradación de residuos orgánicos por la acción de microorganismos. Dada la importancia de recuperar estos suelos impactados por hidrocarburos y en busca de alternativas de remediar los daños ocasionados se evaluó la eficiencia del biosurfactante Nonil fenol etoxilado 10 moles al ser aplicado en un suelo contaminado con crudo pesado, con la finalidad de determinar las mejores condiciones de concentración del surfactante y rpm del equipo a utilizar, que permitan la mejor remediación del suelo tratado.

1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Objetivo general

Evaluar el biosurfactante Nonil Fenol Etoxilado 10 Moles como agente remediador de un suelo impactado con crudo pesado.

1.2.2 Objetivo específicos

- ✓ Identificar el tipo de crudo en base a sus propiedades.
- ✓ Caracterizar las muestras de suelo antes y después del lavado.
- ✓ Evaluar el biosurfactante Nonil Fenol Etoxilado 10 Moles como agente remediador del suelo.

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

De acuerdo al último balance de gestión ambiental publicado de PDVSA (PDVSA, 2016), solamente durante el año 2016 ocurrieron 8250 derrames en la industria petrolera, de los cuales 8088 fueron de hidrocarburos discretizados en 7000 derrames en aguas (86%) y 1088 en suelos (14%).

La presencia frecuente de hidrocarburos en el medio ambiente puede generar contaminación en los suelos con efectos potencialmente peligrosos, afectando negativamente el desarrollo de la flora y fauna, así como la salud humana.

En vista de lo expuesto se han aplicado diversas técnicas de saneamiento de suelos contaminados como la biorremediación natural, separación física, tratamientos químicos y térmicos, no obstante, estas técnicas tienen algunas limitaciones como tiempos de tratamiento muy largos, generación de gases tóxicos, así como poca efectividad para todos los tipos de suelos y contaminantes.

Es así como se propone trabajar con el lavado de suelos, ya que es una técnica que requiere mucho menos tiempo de tratamiento, se puede realizar in situ, on site o ex situ, funciona con cualquier tipo de suelo y es capaz de remover de manera efectiva el hidrocarburo del suelo contaminado.

De esta manera en este trabajo de grado se propuso evaluar la eficiencia del biosurfactante Nonil Fenol Etoxilado 10 Moles como agente remediador de un suelo impactado con crudo pesado.

1.4 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

El alcance de esta investigación estuvo dado en evaluar cuál fue la concentración más adecuada del surfactante que permitió la mayor restauración posible del suelo contaminado y a la vez determinar a cuantas revoluciones por minuto se debe trabajar el proceso de lavado para que el mismo sea lo más eficiente posible.

1.5 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Existen una serie de factores que limitan el desempeño de la investigación, entre los cuales se pueden mencionar los siguientes:

- No se realizó análisis económico.
- La experimentación se realizó con pruebas de laboratorio.
- Los resultados de la investigación son válidos para el sitio de estudio.
- Se empleó el suelo de un solo sitio de muestreo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Figuera, H. (2016), “Evaluación de técnicas de biorremediación en un suelo arenoso contaminado con crudo liviano a nivel invernadero en la Universidad de Oriente”. En esta investigación se compararon diversos tratamientos de biorremediación usando fertilizante orgánico e inorgánico, el experimento fue constituido por un diseño estadístico de bloques al azar con 4 repeticiones y 5 tratamientos. Para lograr los objetivos propuestos se determinaron las características del crudo utilizando, el contenido de aceites y grasas mediante el sistema soxhlet y se compararon la eficiencia de los tratamientos aplicados en función del porcentaje de aceites y grasas y el tiempo de biorremediación. Los mejores resultados fueron donde se utilizaron fertilizantes orgánicos e inorgánicos más cultivos, aportando nutrientes al suelo que contribuyeron a la degradación de los contaminantes en 60 días.

Esta investigación aportó la metodología que fue utilizada para la caracterización del crudo que se utilizó como contaminante en el suelo.

Befkadu, A. y Chen, Q. (2018). “Lavado de suelos mejorado con tensioactivos para la eliminación de hidrocarburos de petróleo de suelos contaminados: una revisión”. En dicho trabajo se hizo una revisión de la investigación realizada en varios tensioactivos aniónicos, no iónicos, catiónicos, biológicos y mixtos para la remediación de suelos contaminados

con hidrocarburos de petróleo. Se resumen los próximos tensioactivos como los géminis y los tensioactivos conmutables. Se evaluaron los desafíos y oportunidades de in-situ y lavado de suelo ex situ, los mecanismos del lavado de suelo mejorado con surfactante y los criterios a seguir para la selección del surfactante. Además, se discuten brevemente los factores operativos y ambientales que afectan la eficiencia del lavado del suelo y las propiedades del suelo y del surfactante que afectan la adsorción del surfactante. También describen las ventajas de combinar el lavado del suelo con el tratamiento de efluentes y los desafíos y oportunidades de reutilización de tensioactivos. Finalmente, se proponen desafíos y posibles nuevas direcciones para futuras investigaciones sobre el lavado de suelos mejorado con surfactante.

Esta investigación fue utilizada como base en los procedimientos metodológicos y se tomaron parcialmente fragmentos teóricos para sustentar la planificación del experimento.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Los surfactantes

Los surfactantes son moléculas que tienen una fracción de cabeza polar hidrofílica y una cola hidrofóbica de fracción no polar (Deshpande *et al.*, 1999).

Si el surfactante está dentro de la fase acuosa, su grupo polar puede estar rodeado de moléculas de agua (solvatación). Si el surfactante está disuelto en una fase oleica, su grupo apolar posee interacciones con el solvente (Celik y Aslim, 2008).

2.2.2 Ventajas y desventajas de los surfactantes

Ventajas:

- Aumento de solubilidad y biodisponibilidad de los hidrocarburos.
- De fácil comercialización, distribución y de bajo costo.
- Mejora la degradación del hidrocarburo.
- Algunos son biodegradables.
- Pueden ser utilizados como sustrato primario cuando el contaminante se degrada cometabólicamente (Robles y col., 2008)

Desventajas:

- Su toxicidad y los efectos de los residuos intermedios debido a que suelen ser más tóxicos que los compuestos originales.
- La degradación preferencial del surfactante puede disminuir la degradación del contaminante y por lo tanto no se reducirá la biodisponibilidad de los mismos.

2.2.3 El petróleo

El termino petróleo proviene del latín petra, piedra y oleum, aceite. Es un líquido viscoso, de color pardo oscuro, de olor desagradable, tóxico, irritante e inflamable. Se encuentra en yacimientos a diferentes profundidades en el interior de la tierra. Su origen es la descomposición de animales de origen marino principalmente, pero también de plantas que habitaron en los periodos Triásico, Jurásico y Cretácico de la era Mesozoica, hace 225 o 136 millones de años. De acuerdo con la estructura

predominante en la mezcla de hidrocarburos, el petróleo se puede clasificar en base parafínica, nafténica o aromática (Pemex, 1999).

2.2.4 Problemas de la industria petrolera: contaminación y eficiencia de extracción

Dos de los problemas más importantes que históricamente afectan a la industria petrolera son la alta contaminación ambiental que genera y la baja eficiencia de extracción del crudo de sus reservorios naturales.

En el caso de la contaminación ambiental, la misma ocurre cuando se producen pérdidas en los tanques, oleoductos y diversas instalaciones industriales o a partir de fallas o accidentes en los sistemas de almacenaje o de transporte. En esos casos, los hidrocarburos alcanzan aguas abiertas y suelos, pudiendo llegar a contaminar napas subterráneas y/o cursos de agua superficial.

Por otro lado, la extracción de hidrocarburos de sus reservorios naturales no es un proceso eficiente. Tanto es así que según la base de datos de Yacimientos del Departamento de Energía de los Estados Unidos existen más de 600 Yacimientos que contienen más de 12000 millones de barriles de petróleo irrecuperables.

Si por algún mecanismo se pudiera extraer solo el 10% de ese petróleo residual, se estaría hablando de un incremento en 300 millones de barriles (McInerney et al., 2007).

2.2.5 Contaminación de suelos

Un suelo se puede degradar al acumularse en las sustancias a unos niveles tales que repercuten negativamente en el comportamiento de los suelos las sustancias, a esos niveles de concentración, se vuelven tóxicas para los organismos del suelo. Se trata pues de una degradación química que provoca la pérdida parcial o total de la productividad del suelo.

Las causas más frecuentes de contaminación son debidas a la actuación antrópicas, que al desarrollarse sin la necesaria planificación producen un cambio negativo de las propiedades del suelo. En los estudios de contaminación, no basta con detectar la presencia de contaminantes, sino que se deben definir los máximos niveles admisibles y además se deben analizar posibles factores que puedan influir en la respuesta del suelo a los agentes contaminantes, como son: Vulnerabilidad, poder de amortiguación, movilidad, biodisponibilidad, persistencia y carga crítica, que puedan modificar lo denominado “umbrales general de la toxicidad” para la estimación de los impactos potenciales y la planificación de las actividades permitidas y prohibidas en cada tipo de medio. (Dorronsoro, 2004).

2.2.6 Estrategias de remediación de suelos

Según López (2004) son tres las estrategias básicas que pueden usarse separadas o en conjunto, para remediar la mayoría de los sitios contaminados

- **Destrucción o Modificación:** este tipo de tecnologías busca alterar la estructura del contaminante. Son técnicas que se realizan con el suelo

excavado pero que son muy caras y solo se utilizan cuando los contaminantes son muy tóxicos y es necesario eliminarlos del suelo. Se utilizan para suelos contaminados con aceites y productos clorados como los poli-cloro-bifenilos.

- **Extracción o separación:** consiste en añadir al suelo agua para obtener un fango que se mezcla con disolvente a bajas temperaturas. El disolvente extrae los contaminantes orgánicos adsorbidos en las partículas de suelo.
- **Aislamiento o inmovilización:** consiste en reducir la movilidad de los contaminantes mediante su incorporación a materiales sólidos con baja permeabilidad. El mecanismo de fijación puede ser físico o químico, y los materiales variados como cemento, silicatos, termoplásticos y polímeros orgánicos.

2.2.7 Técnicas de remediación de acuerdo al lugar

Con base en el lugar en donde se lleva a cabo el tratamiento de un suelo, las tecnologías se pueden clasificar en tecnologías in situ, on site y fuera del sitio.

- **In Situ:** se llama así al realizado en el propio espacio contaminado, sin extraer el suelo, mediante técnicas que están en desarrollo. Se aplica cada vez con más frecuencia por ser la más barata.
- **On Site:** es el que se realiza en el mismo lugar, pero extrayendo el suelo contaminado del terreno. Se utilizan unidades móviles de tratamiento que están diseñadas para limpiar el suelo o el agua contaminada. Es más cara que la anterior.

- **Fuera del sitio:** se llama así al que se realiza fuera del emplazamiento, en instalaciones autorizadas para la recuperación de suelos contaminados o el tratamiento de residuos industriales especiales. Tienen que ser instalaciones cercanas al suelo contaminado porque el transporte es un problema que encarece mucho el tratamiento.

2.2.8 Técnicas de remediación de acuerdo al tipo de tratamiento

Esta clasificación se basa en el principio de la tecnología de remediación y se divide en tres tipos:

- **Tratamientos térmicos.** Utilizan calor para incrementar la volatilización, quemar, descomponer o fundir los contaminantes.
- **Tratamientos biológicos (biorremediación).** Utilizan las actividades metabólicas de ciertos organismos (bacterias, hongos, levaduras, plantas) para degradar, transformar o remover los contaminantes a productos metabólicos inocuos.
- **Tratamientos fisicoquímicos.** Este tipo de tratamientos, utiliza las propiedades físicas y/o químicas de los contaminantes o del medio contaminado para eliminar, separar o contener la contaminación.

En la Tabla 2.1 se muestran algunas de las técnicas de remediación de suelos de tipo biológico, fisicoquímico y térmico más comúnmente utilizadas en el mundo.

Tabla 2.1 Técnicas de remediación de suelos

Tipo biológico	Tipo fisicoquímico	Tipo térmico
Atenuación natural ¹	Lavado de suelo ^{1, 2}	Desorción térmica ^{1, 2}
Bioestimulación ^{1, 2}	Oxidación química ^{1, 2}	Pirólisis ²
Bioaumentación ^{1, 2}	Extracción de vapores ¹	Incineración ^{1, 2}
Bioventeo ¹	Solidificación estabilización ^{1, 2}	Vitrificación ^{1, 2}
Biolabranza ²	Electrocinética ¹	
Composteo ²		
Biorreactores ²		
Fitorremediación ^{1, 2}		

1: In situ

2: fuera del sitio

2.2.9 Lavado de suelo

El lavado de suelos es una técnica de remediación de tipo fisicoquímico y se puede realizar in situ o fuera del sitio. Se emplea principalmente para el tratamiento de contaminantes como solventes halogenados, preservadores de madera, solventes orgánicos, metales pesados, compuesto volátiles y semivolátiles, hidrocarburos y solventes aromáticos (Madrigal, 1998). Consiste en el uso de soluciones de lavado que contienen aditivos como tensoactivos (surfactantes), ácidos, bases oxidantes, disolventes o simplemente agua y sirven para incrementar la solubilidad y/o movilidad de los contaminantes.

Los aditivos se eligen en función de los contaminantes que se desean remover del suelo en el caso de compuestos orgánicos hidrofóbicos como los hidrocarburos del petróleo se utilizan tensoactivos. Estos tienen el objetivo de movilizar o solubilizar los contaminantes adsorbidos al suelo o que se

encuentran en fase no acuosa. Las moléculas del tensoactivo tienen una parte hidrofóbica y una hidrofílica y son clasificados como aniónicos, catiónicos, anfóteros y no iónicos.

2.2.10 Materia orgánica del suelo

La procedencia de la materia orgánica en el suelo es conocida: Los restos de planta, restos de animales y en general, cualquier resto que se incorpora en el suelo. Con frecuencia, lombrices e insectos empiezan la descomposición digiriendo parte del material y desmenuzando el resto en fragmento. La descomposición no solo se debe al mundo animal o vegetal, sino que a menudo las condiciones químicas oxidantes y reductoras del suelo hacen parte del trabajo. (Lorente, 2001)

2.2.10 Hidrocarburos totales del petróleo (HTP)

Debido a que la sociedad moderna utiliza productos del petróleo, la contaminación en el medio esta potencialmente distribuida por todo el ambiente. Como son tantos los compuestos en forma del petróleo, generalmente no es practico medirlo a cada uno individualmente; resulta útil medir la cantidad total de hidrocarburos que se encuentran en una muestra particular de suelo, agua o aire. A este grupo de compuesto que forman el petróleo se le denomina hidrocarburos totales del petróleo.

La definición del HTP depende del método analítico usado para su determinación, ya que la medida de HTP es la concentración total de los hidrocarburos extraídos y medidos por un método particular. (Mc Millen, *et al*, 2001).

2.2.11 pH del suelo

Es la medida de la relación que existe entre los iones de hidrógeno en la solución del suelo y las bases de cambio que contrarrestan el efecto ácido que tienen los protones.

Así, en un suelo ácido los protones predominan sobre las bases del suelo. Por el contrario, en un suelo básico las bases predominan sobre los protones. En un suelo neutro la relación de bases y protones está equilibrada.

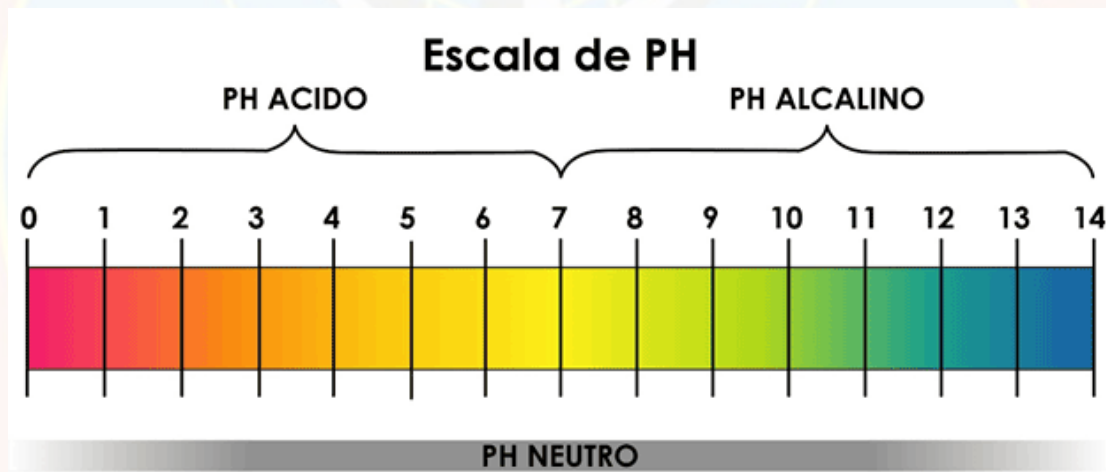


Figura 2.1 Escala de pH
Fuente: Villalta (2022)

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Contaminación: cualquier modificación indeseable del aire, agua, suelo o alimentos, por sustancias tóxicas o potencialmente adversas para la salud o que son ofensivas, aunque no necesariamente dañinas. (Consuelo, M. 2011, p. 48)

Suelo y aguas contaminadas: en esta categoría se encuentran los suelos y agua que deben ser saneado debido a que han sido contaminados con hidrocarburos u otros contaminantes provenientes de las actividades, proceso y operaciones petroleras y petroquímicas. Esta contaminación se encuentra asociada a la generación de los pasivos **de macro fosas**, fosas y muros quemadores. (PDVSA, 2004, p. 10)

Ambiente: es el entorno o suma total de aquello que nos rodea, que afecta y condiciona especialmente las circunstancias de vida de las personas o la sociedad en su conjunto. (Economipedia, 2018, p. 44).

Calidad del ambiente: se refiere al estado del ambiente tal como se percibe objetivamente en términos de medición de sus componentes, o subjetivamente en términos de atributos tales como belleza y valor. (Adams, 1999, p.63).

Gestión ambiental: Es el conjunto de actuaciones necesaria para llevar a cabo la política medio- ambiental o dicho de otra manera para lograr el mantenimiento de un capital ambiental suficiente para que la calidad de vida de las personas y el patrimonio natural sean lo más elevado posible. (Adams, 1999, p.65).

Solvente: una sustancia solvente es aquella que puede disolver, es la que aparece en mayor cantidad y permite que el soluto se disuelva. En otras palabras, el solvente permite la dispersión del soluto en su seno. Lo más usual es que el solvente sea la sustancia que establece el estado físico de la solución. (Vadequímica, 2019, p. 27).

Extracción: La extracción es la técnica empleada para separar un producto orgánico de una mezcla de reacción o para aislarlo de sus fuentes naturales. Puede definirse como la separación de un componente de una mezcla por medio de un disolvente (Fernández, G. 2012, p. 21)

Volátil: Es una medida de la tendencia de una sustancia a pasar a vapor. Se ha definido también como una medida de la facilidad con que una sustancia se evapora. A una temperatura dada, las sustancias con mayor presión de vapor se evaporan más fácilmente que las sustancias con una menor presión de vapor (Real Academia de Ingeniería, 2018, p. 71).

Organometálico: Puede definirse generalmente como aquel que contiene un enlace entre un metal y el carbono. Esta interacción del enlace, debe ser iónica o covalente, localizada o deslocalizada entre uno o más átomos de carbono de un grupo orgánico o molécula y un átomo metálico de transición, lantánido, actínido, o de algún grupo principal. (Real Academia de Ingeniería, 2018, p. 61).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación fue de tipo explicativa debido a que se evaluó la capacidad que tiene el surfactante de biorremediar un suelo previamente contaminado, con la intención o finalidad de conseguir la concentración más eficiente en cuanto a la remoción del crudo del suelo contaminado y las revoluciones por minutos más adecuadas para el proceso. Para determinar el tipo de investigación se tomó como referencia a, Arias (2006) que plantea:

Según Arias (2012):

La investigación explicativa se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. En este sentido, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas (investigación post facto), como de los efectos (investigación experimental), mediante la prueba de hipótesis. Sus resultados y conclusiones constituyen el nivel más profundo de conocimientos (p.26).

3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

En la investigación se empleó un diseño experimental debido a que se manipularon y controlaron distintos tipos de variables que fueron apareciendo a lo largo de la realización de las pruebas, las variables independientes fueron la concentración de surfactante y las revoluciones por minutos del motor de agitación, y las variables dependientes las determinaron las propiedades físicas y químicas de las muestras de suelos antes y después del tratamiento. Referente a esto Arias (2006) establece: La investigación experimental es un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de

individuos a determinadas condiciones, estímulos o tratamientos (variable independiente) para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente) (p. 33).

3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

Esta investigación estuvo basada en un diseño estadístico factorial de 2 factores que son la concentración del surfactante (3 y 20 %) y las revoluciones por minuto del impulsor de mezclado (500, 1000 y 1700 rpm).

En cuanto a la población de este trabajo estuvo representada por una muestra de cinco kilogramos de suelo, el cual fue contaminado con crudo pesado a una concentración aproximada de $76408 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Según Arias (2012):

La población, o en términos más precisos población objetivo, es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio (p.81)

La muestra es un pequeño conjunto de la población, en este caso se tuvieron 18 muestras de 200 g de suelo contaminado (HTP= 76408 mg/kg), las cuales se trabajaron de la siguiente manera: 6 muestras trabajaron con 500 rpm y concentración de surfactante de 3 y 20% (3 por cada concentración), 6 muestras para 1000 rpm y las últimas 6 fueron evaluadas en 1700 rpm (2 concentraciones*3 rpm* 3 repeticiones= 18 muestras).

Según Arias (2012), la muestra puede ser definida como: “un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible.” (p. 83).

3.4 SISTEMA DE HIPÓTESIS

En este trabajo de investigación, la hipótesis a comprobar estuvo dada por el siguiente planteamiento: el surfactante utilizado es eficiente para extraer los hidrocarburos presentes en el suelo contaminado. Según Arias. (2012), en su libro de proyecto de la investigación, define la hipótesis de la siguiente manera: “es una suposición que expresa la posible relación entre dos o más variables, la cual se formula para responder tentativamente a un problema o pregunta de investigación”. (p. 47)

3.5 SISTEMA DE VARIABLES

Las variables independientes de este trabajo de investigación estuvieron representadas por las concentraciones de surfactante y las rpm del impulsor que se utilizaron. Por lo tanto, las variables dependientes fueron constituidas por las propiedades físicas y químicas del suelo antes y después de los tratamientos. Según Arias. (2012), define variable de la siguiente manera: “es una característica o cualidad; magnitud o cantidad, que puede sufrir cambios, y que es objeto de análisis, medición, manipulación o control en una investigación”. (p.57)

3.6 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

3.6.1 Identificación del tipo de crudo en base a sus propiedades.

Para lograr este objetivo se procedió a caracterizar una muestra de crudo pesado a la cual se le midieron la gravedad API, la densidad, la viscosidad y el porcentaje de agua y sedimentos, para lograr así la verificación de que cumple con los estándares de clasificación de un crudo pesado.

3.6.1.1 Determinación de la gravedad API

Para la determinación de la gravedad API del crudo a estudiar se utilizó el método del Hidrómetro (Norma ASTM D 287), este método está basado en la utilización de un hidrómetro en el cual se observará de manera directa la gravedad API.

3.6.1.2 Determinación de la densidad

Para determinar la densidad se utilizó el método del picnómetro (Norma ASTM D 891); que se basa en la utilización de un picnómetro, el cual posee un sello de vidrio que dispone a su vez de un tapón previsto de un finísimo capilar.

3.6.1.3 Determinación de viscosidad cinemática

La determinación de la viscosidad se basó en la norma ASTM D 2196-10, la cual se refiere a la utilización del viscosímetro Brookfield que consiste en una operación rotacional a una velocidad y temperatura deseada,

obteniendo el valor de la viscosidad dinámica. Para la determinación de la viscosidad cinemática se utilizó la siguiente ecuación:

$$\nu = \mu / \rho \quad (3.1)$$

Donde:

ν = viscosidad cinemática (cSt)

μ = viscosidad dinámica (cP)

ρ = densidad (g/mL)

3.6.1.4 Determinación de % AyS

La determinación de este parámetro se realizó bajo la norma COVENIN 2683-90 a través de la centrífuga, la cual consiste en colocaren un tubo de centrífuga volúmenes iguales de tolueno saturado con agua y crudo, posteriormente son llevados a baño térmico durante 30 min y luego se procede a la centrifugación, pasado el tiempo de centrifugación se procede a leer el volumen de agua y capa de sedimentos en el fondo del tubo.

3.6.2 Caracterización de las muestras de suelo contaminado antes y después del lavado

Este objetivo fue desarrollado en el laboratorio de suelos del postgrado en agricultura tropical donde se midieron las propiedades físicas y químicas del suelo antes y después del lavado.

Inicialmente se pesaron 5 kilogramos de suelo los cuales fueron contaminados con crudo pesado hasta obtener una concentración inicial aproximada de 76408 mg/kg de suelo. Esta concentración debido a que el

método gravimétrico para determinar los hidrocarburos totales en suelos, exige que exista una contaminación de hidrocarburo considerable.

Para el lavado del suelo se utilizó un Mezclador Lightnin Lab Master L1U08F. El equipo incluye una flecha de acero de 60 cm provista de un impulsor A100 con 3 paletas inclinadas 45 grados. Se usó un tanque de 10 cm de ancho y 25 cm de alto. Para el experimento se colocó la flecha centrada en el tanque de agitación lo más recto posible y a 5 cm del fondo. Se trabajó cada experimento con una relación suelo/surfactante de 1:3 (200 g suelo/600 mL de Surfactante). Una vez montado el experimento se trabajó el mezclado por 60 min, luego se dejó en reposo por 24 horas para que decantara el material sólido y se retiró la fase acuosa y el suelo lavado fue caracterizado.

3.6.2.1 pH

Para cuantificar este parámetro se usó el método US EPA 9045C (1995). Primeramente, se pesaron 10 g de suelo, luego se le agregaron 20 ml de agua destilada KCl (0,1 N), CaCl_2 (0,01 M), se agitó durante un minuto, dejando reposar durante 10 minutos. Para finalizar se midió el pH mediante un pHmetro marca Orion previamente calibrado.

3.6.2.2 Conductividad eléctrica

La determinación de este parámetro se realizó bajo el método US EPA 9045C (1995). Primeramente, se tomaron 20 g de suelo y se le agregaron 40 ml de agua destilada, se agitó por 1 minuto, se dejó reposar por 15 minutos, se agitó por 1 minuto, luego se dejó reposar por 15 minutos para tomar las lecturas de la suspensión en el conductímetro.

3.6.2.3 Textura

Se determinó por el método del hidrómetro descrito por Bouyucos (1962). El método del hidrómetro implica dispersar las partículas de suelo con una sustancia tal como metafosfato de sodio y después agitar la solución. La cantidad de arena, limo y arcilla en la muestra de suelo está determinada, después de la dispersión, por un hidrómetro, que mide las partículas en suspensión. La cantidad de cada tipo de partícula es determinada utilizando la ley de Stokes, que determina la cantidad de cada tipo de partícula presente por la velocidad a la que cada tipo de ellas cae fuera de suspensión, en base a su tamaño.

3.6.2.4 Materia Orgánica

Para determinar la materia orgánica del suelo (MOS) se utilizó el método de calcinación o método de pérdida por ignición (LOI). Las muestras se secaron al horno a 105 °C durante 3h, se enfriaron en una desecadora y se pesaron antes de ser calcinadas a 550 °C durante 2h en un horno de mufla. Después de la combustión, las muestras se enfriaron en un desecador y se volvieron a pesar. Con estos valores, se calculó el porcentaje de MOS mediante la siguiente ecuación propuesta por Schulte y Hopkins (1996). Todo el procedimiento se repitió por triplicado y fue realizado en el laboratorio de suelos del postgrado en agricultura tropical.

$$\%MO = \left(\frac{PCS-PCSC}{PCS-PC} \right) * 100 \quad \text{Ec. 3.2}$$

Donde:

PCS: peso del crisol con el suelo seco (g)

PCSC: peso del crisol con el suelo después de la combustión (g)

PC: peso del crisol (g)

3.6.2.5 Hidrocarburos totales del petróleo (HTP)

Para extraer los hidrocarburos del suelo contaminado se utilizó el método de reflujo con equipo Soxhlet, tomando como referencia los métodos D5369-93 de la ASTM (2003) y 3540C y 3541 de la US EPA (1996, 1994). La determinación de este parámetro es importante para cuantificar la cantidad extraída de hidrocarburo.

El procedimiento para determinar los HTP se basa en la cuantificación de los hidrocarburos que son extraídos mediante un disolvente orgánico, en este caso se utilizó hexano. El disolvente se evapora y el extracto orgánico es pesado.

3.6.3 Evaluación del biosurfactante Nonil Fenol Etoxilado 10 Moles como agente remediador del suelo.

Para la evaluación del surfactante primeramente se aplicó un análisis estadístico multifactorial con 2 factores. Los modelos de análisis de varianza multifactorial sirven para estudiar el efecto de uno o más factores cuando al menos uno de ellos es un factor intra-sujetos. En los factores inter-sujeto o completamente aleatorizados, a cada nivel del factor se le asigna o le corresponde un grupo diferente de sujetos. Por el contrario, un factor intra-sujeto se caracteriza porque todos los niveles del factor se aplican a los mismos sujetos. (Morrison 1976).

El propósito de este experimento fue averiguar si existen diferencias significativas entre las muestras dependiendo de la concentración del surfactante y las rpm del impulsor, este procedimiento se realizó utilizando el programa Statgraphics Centurion XVI. Se trata, por lo tanto, de un diseño con dos factores: concentración del surfactante con dos (2) niveles y los rpm con tres (3) niveles y una variable dependiente el contenido de hidrocarburos totales en el suelo luego del proceso de lavado.

En un diseño de estas características existen tres factores de interés: el efecto individual del primer factor, el efecto individual del segundo factor y el efecto conjunto de la interacción entre los dos factores. Para este estudio también se evaluó el efecto del surfactante bajo los tratamientos aplicados, determinando el porcentaje de eficiencia, por lo cual, el que obtenga el mayor resultado será el más eficiente. Se utilizó la fórmula de Fernández (2006) que se presenta a continuación:

$$\%Ef = \left| \frac{va-ve}{va} \right| \times 100 \quad (3.3)$$

Donde:

Va = volumen agregado de hidrocarburo.

Ve= volumen extraído de hidrocarburo.

3.7 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Arias (2012) define las técnicas de la siguiente manera: “Se entenderá por técnica de investigación, el procedimiento o forma particular de obtener datos o información.” (p.67)

Arias (2012) acerca de instrumentos de recolección de datos “Un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información.” (p.68)

Las técnicas que se usaron, para la recolección de datos son las siguientes: revisión bibliográfica y la observación directa.

La revisión bibliográfica comprendió todas aquellas actividades relacionadas con la búsqueda de información escrita y relacionada con el tema previamente establecido, para el cual se analizó y discutió la información recolectada.

La técnica de recolección de datos fue la observación directa, en la cual el investigador puede observar y recoger los datos mediante su propia observación para su posterior análisis. Como hace lo establece Arias (2012) “La observación es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos.” (p.69).

Arias (2012) acerca de instrumentos de recolección de datos “Un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información” (p.68). Los instrumentos utilizados para llevar a cabo las técnicas de investigación para este trabajo de investigación fueron: libretas para anotaciones, hojas de cálculo en Excel y el paquete estadístico staghraphics para realizar el análisis de varianza y comparaciones.

3.8 RECURSOS

3.8.1 Humanos

Se contó con la asesoría académica del cuerpo docente de la Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas de la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas y los docentes adscritos al postgrado en Edafología de la Universidad de Oriente.

3.8.2 Materiales

Se necesitaron materiales de oficina como papel, bolígrafos, calculadora. Además, equipos electrónicos como computadora personal, impresora. También, instrumentos de laboratorio como; cilindros graduados, balanza analítica, pHmetro, termómetro, retorta, centrifuga, entre otros.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se muestran y analizan todos los resultados provenientes de la investigación referentes a la clasificación del tipo de crudo, la caracterización de la muestra de suelo estudiada y el lavado de suelo realizado aplicando el método con tanque agitado.

4.1 IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE CRUDO EN BASE A SUS PROPIEDADES.

Para comenzar el desarrollo de la investigación inicialmente se realizó la caracterización del crudo para identificar como se clasifica el mismo como se muestra en la tabla 4.1.

Tabla 4.1 Propiedades de la muestra de crudo utilizada
TEMPERATURA 30 °C

Densidad (kg/m ³)	Gravedad API	Viscosidad dinámica (cP)	Viscosidad cinemática (cSt)	%AyS
985	16,6	2049	2080	19

En la tabla 4.1 se muestra el valor obtenido de la densidad, siendo esta una propiedad básica de los líquidos definidos por su masa por unidad de volumen, la cual se realizó por medio del método del picnómetro Gay Lussac (Norma ASTM D369). Según el Instituto Americano del Petróleo el resultado obtenido (985 Kg/m³) se refiere a la clasificación de un crudo pesado, ya que está comprendido en un rango entre 920 a 1000 kg/m³, tomando en cuenta el

valor de la densidad del agua 1000 Kg/m^3 a 4°C (Secretaría De Energía, 2014). A su vez Barbieri (1989) ratifica que se trabajó con un crudo pesado ya que la densidad está en el intervalo de 920 a 1000 kg/m^3 .

La gravedad $^\circ\text{API}$ también conocida como una medida de densidad, precisa cuan pesado o liviano puede ser el crudo. Durante este proceso se determinó dicha propiedad por medio del método del Hidrómetro (Norma ASTM D 287). Como se puede observar en la tabla 4.1 el valor de la gravedad API del crudo usado para la contaminación del suelo fue de 16,6, lo que hace que este crudo se encuentre en la clasificación de un crudo pesado ya que está dentro del rango de los 10°API – $21,99^\circ\text{API}$ y a su vez corresponde a la clasificación determinada por la densidad del mismo (Pirson, 1965).

La viscosidad es definida como la medida de resistencia al flujo. Se pudo apreciar que sus resultados fueron generados mediante el viscosímetro de Brookfield, obteniendo de este modo una viscosidad dinámica y una viscosidad cinemática (ASTM D2196) como se muestra en la tabla 4.1. Según el reporte de producción de petróleo por clasificación de grados API. (2020), el crudo se puede clasificar a los siguientes rangos: de 10 a 100 cPs como un crudo liviano, de 100 a 100000 cPs como crudo pesado y de 10000 a 100000 cPs como un crudo extrapesado; lo que permitió corroborar que por medio de la viscosidad el crudo se clasificó como pesado.

Para el porcentaje de agua y sedimentos, este procedimiento se efectuó por medio de la norma COVENIN 2683 arrojando el resultado que se muestra en la tabla 4.1. En el caso de la industria, es favorable que este parámetro no supere el 1%, para este experimento es aceptable la cantidad obtenida ya que lo principal fue remover el hidrocarburo y no medir la calidad

En este apartado se muestran los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos realizados a la muestra de suelo antes y después del tratamiento con el tensoactivo.



La figura 4.1 muestra en el círculo amarillo la ubicación del punto donde se tomó la muestra, el cual está ubicado en la trocal 10 de la vía nacional en el sector Banco Colonial, antes de llegar al caserío las Piedritas, en las siguientes coordenadas geográficas: N8 43.729 W62 46.427. Se escogió esta área debido a que representa una extensión considerable de suelos de sabana con características similares a las de la faja petrolífera del Orinoco.

4.2.1 Caracterización de la muestra de suelo antes del proceso de lavado

Se caracterizó la muestra de suelo antes de contaminar y realizar el proceso del lavado de suelo y se midió el pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y la clase textural.

En la tabla 4.2 se muestran los resultados de los análisis físico químicos realizados a la muestra de suelo sin contaminar y antes del lavado. El pH resultante fue 5,08 a 28 °C. Este valor es característico en suelos de sabana tal como lo reporta López *et al.* (2008) en suelos al sur del Estado Monagas. Otros autores como Martínez y Rivero (2021) reportaron valores de pH similares (pH=5,45; San Joaquín del Tigre) y Berroteran y Souki (2023) reportaron también valores cercanos (pH=5,13; Cerro Negro) al obtenido en este trabajo.

Tabla 4.2 Valores de pH, conductividad eléctrica, clase textural y materia orgánica del suelo utilizado

MUESTRA	pH	CE (dS/m)	MO (%)	Textura
1	5,08	0,0842	1,8354	Franco-Arenosa

La conductividad eléctrica resultante fue de 0,0842 dS/m a 28 °C. Según la clasificación de Boulding (1994) el suelo es considerado no salino por presentar valores de conductividad eléctrica menores a 1,2 dS/m. Este valor coincide con lo reportado por Martínez y Rivero (2021) y Berroteran y Souki (2023) quienes en zonas aledañas a la muestreada en este trabajo clasificaron el suelo como no salino.

En cuanto a la materia orgánica se obtuvo un valor de 1,8354%. Según Rojas (2005) el contenido de materia orgánica es bajo (1,0 – 1,9 %) y se aproxima de lo obtenido por Chicco y Godoy (1987) quienes reportaron un valor promedio de 1,33% para sabanas bien drenadas. Este resultado difiere de lo reportado por Martínez y Rivero (2021) quienes encontraron un suelo rico en materia orgánica (MO mayor a 3%).

La textura del suelo resulto Franco Arenoso (%Arena = 84, %arcilla = 8,5 y %L = 7.5). Según O'Shaughnessy y Blanc (2000) esta estructura del suelo beneficia la aplicación del lavado de suelo ya que al tener partículas relativamente grandes favorecen la aireación del mismo. Esta clasificación textural coincide con lo reportado por otros autores como Martínez y Rivero (2021) y Berroteran y Souki (2023).

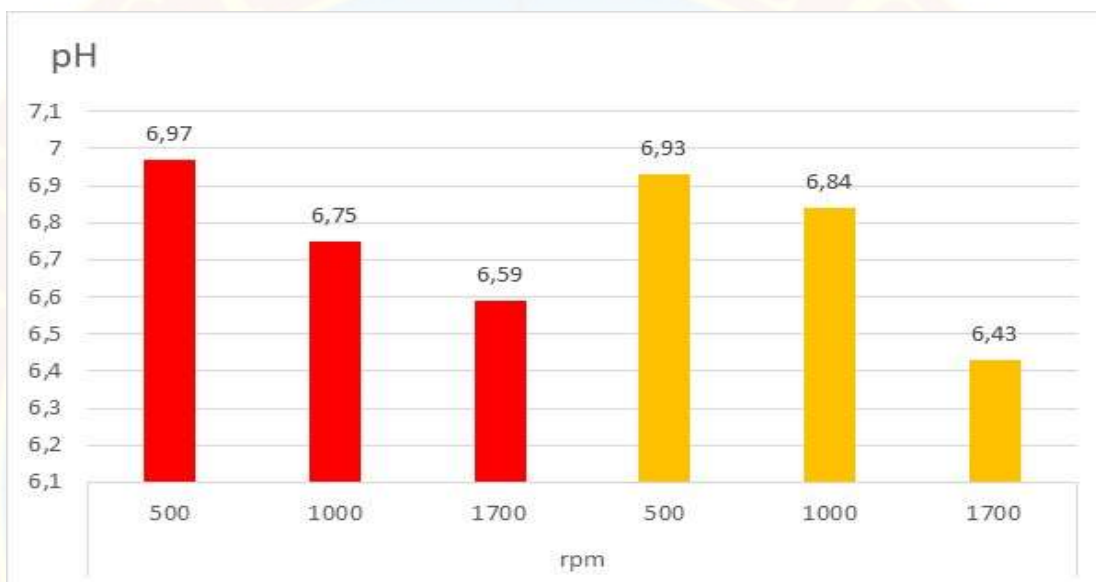
4.2.2 Caracterización de la muestra de suelo después del proceso de lavado.

Una vez contaminada la muestra de suelo con crudo pesado a una concentración de 76408 mg/kg se procedió a realizar el lavado del mismo con una solución del tensoactivo a una concentración de 3 y 20%; además de trabajar el proceso de lavado a 500, 1000 y 1700 rpm. A la muestra lavada se le determinó: pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (%MO) e hidrocarburos totales del petróleo (HTP).

4.2.2.1 pH del suelo lavado

El suelo está constituido por las fases sólida, gaseosa y líquida. En esta última se mide el pH del suelo, ya que es el sitio donde los productos químicos disueltos hacen que el suelo esté en condiciones de acidez o

alcalinidad. Entonces, el pH del suelo es un indicador de la acidez o alcalinidad del suelo. La gráfica 4.1 muestra los tenores de pH obtenidos luego del lavado de suelo donde las barras de color rojo pertenecen a la solución de lavado de 3% de surfactante y las barras amarillas a la de 20%.



Gráfica 4.1 Tenores de pH del suelo lavado

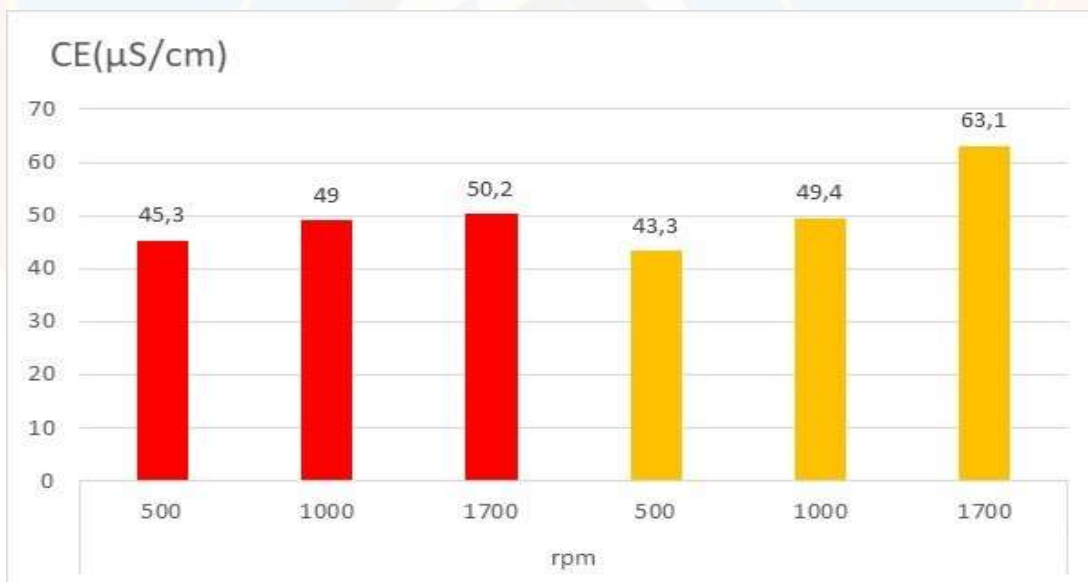
Tomando como referencia el valor de pH inicial del suelo sin contaminar (5,08) se puede decir que el proceso de lavado favoreció el pH del suelo tendiendo este a aumentar y manteniéndose en el rango de 6 – 8 el cual indica Martínez y López (2001) es el pH óptimo para aplicar el proceso de biorremediación.

Caravaca y Roldán (2003) demostraron que el pH al estar en contacto con el hidrocarburo disminuye, efecto que no se presentó en este proceso de lavado de suelo; entonces el mismo es atribuido al pH del surfactante, ya que este en el laboratorio arrojó un valor de pH de 7,3 a 28 °C. Esta tendencia de pH a aumentar coincide en lo reportado por Martínez y Rivero (2021) y

Berroteran y Souki (2023), quienes atribuyeron este comportamiento al pH del surfactante. Según el decreto 2635 de Normas para el control de la recuperación de materiales peligrosos y el manejo de los desechos peligrosos, luego del proceso de lavado este suelo cumple con lo establecido para ser dispuesto en confinamiento (pH 6 - 9) o esparcimiento (pH 5 – 8).

4.2.2.2 Conductividad eléctrica (CE) del suelo lavado

La conductividad eléctrica (CE) es una propiedad de los suelos, muy fácil de medir, que expresa su contenido de sales solubles. Para la utilización de un suelo en agricultura es conveniente conocer su CE, ya que el contenido de sales puede ser limitante para una determinada especie que se desea cultivar en esas condiciones, lo que puede conducir al fracaso de la actividad. Así mismo, cuando se va a utilizar agua para riego se debe conocer su CE, ya que puede ser una fuente indeseable de sales.



Gráfica 4.2 Tenores de CE del suelo lavado

Como se muestra en la gráfica 4.2 todos los tenores de conductividad eléctrica disminuyeron luego del proceso de lavado en comparación con el valor de conductividad eléctrica inicial de la muestra de suelo 84,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estos resultados coinciden con los mostrados por Alvares *et al* (2019) quienes reportaron disminución de la conductividad en presencia de crudo pesado y solubilización de las sales en el proceso de lavado. Otros autores como Martínez y Rivero (2021) y Berroteran y Souki (2023) reportaron incremento de la conductividad luego del proceso de lavado y lo atribuyen al surfactante utilizado quienes resultaron ricos en sales, lo cual no es este caso ya que la conductividad eléctrica del surfactante usado es de 4,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

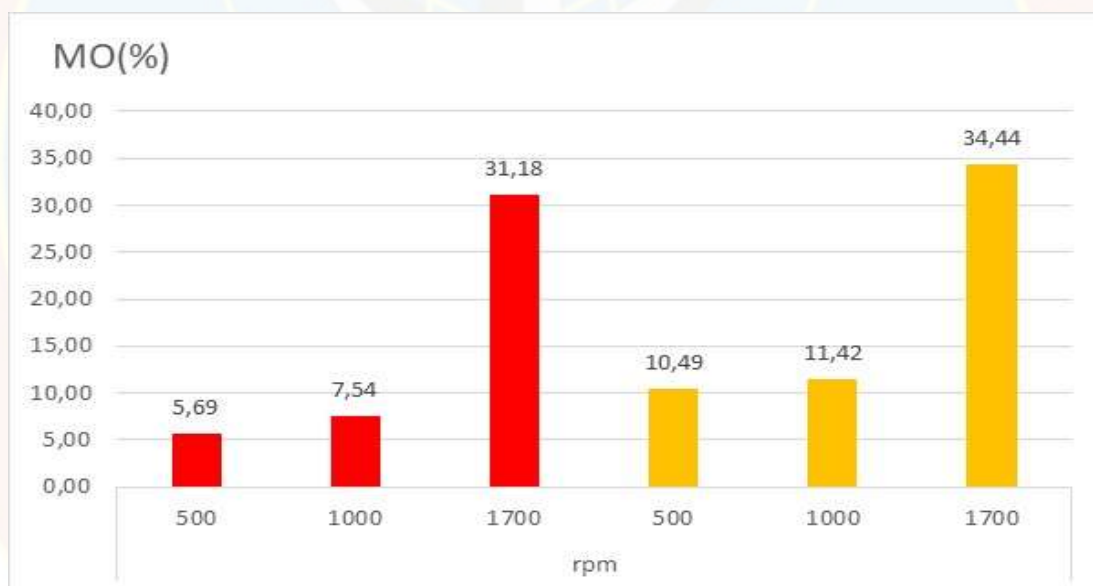
Según Rojas (2005) el suelo según la conductividad eléctrica se clasifica como tipo normal con salinidad muy ligera y según lo emanado por el decreto 2635 luego del proceso de lavado este suelo cumple para ser usado en fines de confinamiento o esparcimiento ($\text{CE} < 3,5 \text{ dS}/\text{cm}$)

4.2.2.3 Materia orgánica (MO) del suelo lavado

Según Mustin (1987), la materia orgánica representa del 95 al 99% del total del peso seco de los seres vivos, pero su presencia en los suelos suele ser escasa y son contadas las excepciones en las que supera el 2%. El nivel deseable de materia orgánica en los suelos arcillosos medios es del 2%, pudiendo descender a 1,65% en suelos pesados y llegar a un 2,5% en los arenosos.

La gráfica 4.3 muestra los tenores de materia orgánica determinados en las muestras luego del proceso de lavado. Tanto para la concentración de surfactante de 3% (barras rojas) como para la de 20% (barras amarillas) la

tendencia es la misma y es que a medida que el rpm se incrementan la materia orgánica aumenta, atribuido esto a que el proceso de lavado se vuelve más ineficiente como se mostrará más adelante. En este caso la materia orgánica obtenida es la suma de la materia orgánica biogénica y la materia orgánica petrogénica incorporada; pero no significa que este incremento sea beneficioso ya que esta materia orgánica es material petrogénico y no biogénico y al realizar el lavado se reportó un incremento máximo de 34,44% para el tratamiento del 20% de solución de lavado a 1700 rpm. Este 34,44% representa un incremento de 1880% respecto al valor inicial de 1,83%.

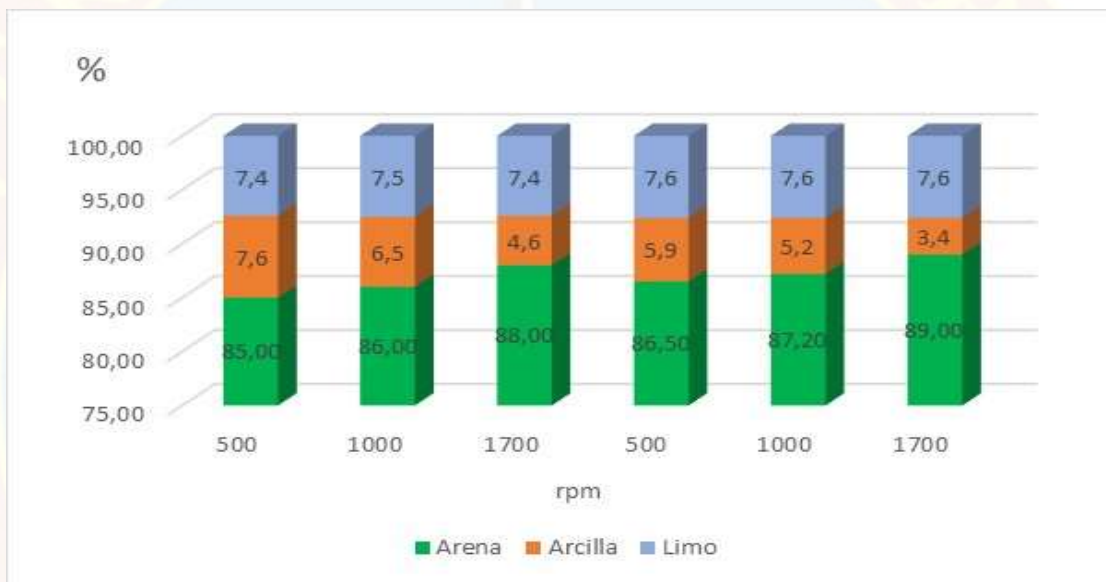


Gráfica 4.3 Tenores de materia orgánica del suelo lavado

Estos resultados coinciden con los presentados por Martínez y Rivero (2021) y Berroteran y Souki (2023), quienes luego del proceso de lavado reportaron incrementos de la materia orgánica de origen petrogénico. Según Rojas (2005) el contenido de materia orgánica es considerado muy alto.

4.2.2.4 Textura del suelo lavado

La textura indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como la arena, el limo y la arcilla, en el suelo. La textura tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa.



Gráfica 4.4 Tenores de textura de las muestras lavadas

En la gráfica 4.4 se observa que luego del proceso de lavado hay pérdida del material arcilloso y un aumento en el contenido de arenas, mientras que el contenido de limo no ha presentado variación. Según Adams *et al.* (1999), un hidrocarburo actúa como un aglomerante que pega las partículas finas en un suelo (arcillas) a las partículas más gruesas (tamaño de arena). Estos autores en las pruebas que realizaron, observaron que había una relación en la cantidad de arcillas del suelo que estudiaba que era directamente proporcional al incremento en la cantidad de arena. Con esto

pudo determinar que al parecer el hidrocarburo aglomeraba las partículas finas de arcillas en partículas más gruesas (arena).

Los datos obtenidos en cada muestra lavada de suelo coinciden con los de Martínez *et al.* (2001), ya que estos autores mencionan que a medida que aumenta la concentración del hidrocarburo, la fracción de arena aumentará. Resultados similares encontraron Berroteran y Souki (2023).

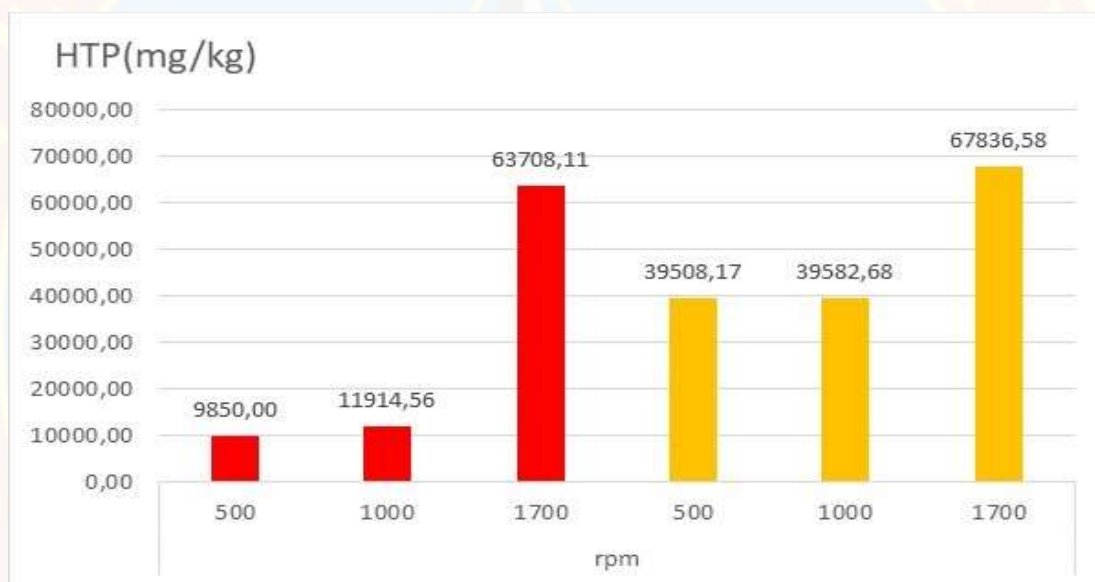
Por otra parte, en el Decreto 2635 (República de Venezuela, 1998) se indica en su artículo 53 que una de las condiciones para aplicar la biorremediación (señalada como biotratamiento en el Decreto) es que los suelos posean una textura franca o sus variantes, por lo que las muestras de suelo luego del biotratamiento mantienen su textura y podría ser sometida a otros ciclos de lavado, tomando en cuenta que en este trabajo se sometió la muestra a un solo lavado.

4.2.2.5 Hidrocarburos totales del suelo lavado

Los HTP son una mezcla de productos químicos compuestos principalmente de hidrógeno y carbono, llamados hidrocarburos. Los científicos han dividido a los HTP en grupos de hidrocarburos de petróleo que se comportan en forma similar en el suelo o el agua. Estos grupos se llaman fracciones de hidrocarburos de petróleo. Cada fracción contiene muchos productos químicos individuales.

La gráfica 4.5 presenta los tenores de HTP de las muestras luego del proceso de lavado. Las columnas rojas corresponden a la solución de lavado al 3% y la amarilla a la solución de lavado al 20%. Partiendo de una concentración inicial de HTP de 76408 mg/kg y tomando como criterio que el

tratamiento que obtenga menor concentración de HTP luego del lavado es el mas exitoso, se puede observar (gráfica 4.5) que la muestra lavada al 3% a 500 rpm fue la que mejor resultado obtuvo indicando una concentración final de HTP de 9850 mg/kg, seguida de la de 3% a 1000 rpm. Comparando los resultados en base a las soluciones de lavado se puede decir que al 3% resultó con mejores resultados y según las rpm la tendencia es que a menor rpm el proceso de lavado arroja mejores resultados.



Gráfica 4.5 Tenores de hidrocarburos totales del petróleo de las muestras lavadas

La normativa venezolana para el control de HTP en suelos basada en el decreto 2635 en su Artículo 50, establece que el HTP debe ser menor o igual al 1% (10000 mg/Kg) en mezclas de suelo o desechos. Basado en lo anterior solamente la muestra de 3% a 500 rpm cumplió con este estándar de la norma.

4.3 EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL BIOSURFACTANTE NONIL FENOL ETOXILADO 10 MOLES COMO AGENTE REMEDIADOR DEL SUELO.

La técnica de análisis de varianza (ANOVA) también conocida como análisis factorial y desarrollada por Fisher en 1930, constituye la herramienta básica para el estudio del efecto de uno o más factores (cada uno con dos o más niveles) sobre la media de una variable continua. Es por lo tanto el test estadístico a emplear cuando se desea comparar las medias de dos o más grupos. Esta técnica puede generalizarse también para estudiar los posibles efectos de los factores sobre la varianza de una variable.

La tabla 4.3 presenta el análisis de varianza multifactorial aplicado la variable hidrocarburos totales del petróleo ya que es con esta que se puede medir si fue eficiente o no el uso de surfactante para el proceso de remediación estudiado. Se tiene entonces que ambos factores estudiados (rpm y concentración de la solución de lavado) presentan valores de P menores a 0,05 por lo que se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias y se puede indicar que ambos ejercen un efecto significativo en el proceso de remediación del suelo.

Tabla 4.3 Análisis de varianza para HTP

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: rpm	6,58342E9	2	3,29171E9	75,17	0,0000
B: CONCENTRACION	1,88836E9	1	1,88836E9	43,12	0,0000
RESIDUOS	6,13035E8	14	4,37882E7		
TOTAL (CORREGIDO)	9,08483E9	17			

Una vez determinada la existencia de diferencias significativas entre los diferentes factores se realizó el procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

La tabla 4.4 presenta las comparaciones múltiples para el caso de los rpm evaluados y en total se realizaron 3 comparaciones como se muestra en la columna de grupos homogéneos. Valores de X que se observan alineados son evidencias de igualdad de medias y el caso contrario indica desigualdad. Existen entonces diferencias significativas en las asociaciones 500 – 1700 rpm, 1000 – 1700 rpm y existe igualdad de medias entre 500 y 1000 rpm

Tabla 4.4 Prueba de múltiples rangos para rpm

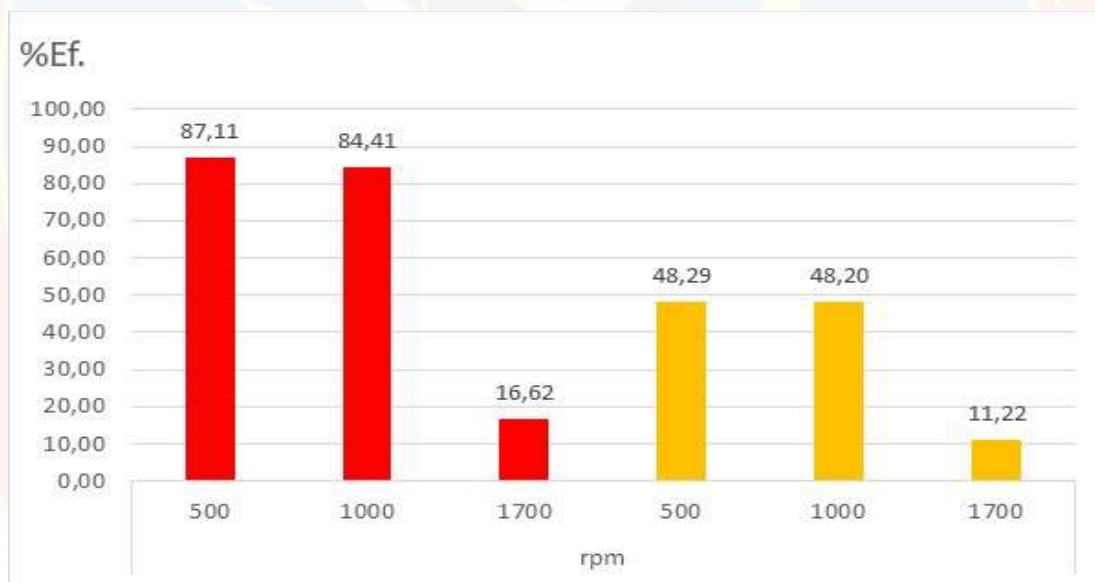
rpm	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
500	6	24678,9	2701,49	X
1000	6	25748,6	2701,49	X
1700	6	65772,3	2701,49	X

Para el caso de la concentración de la solución de lavado se aplicó igualmente la prueba de múltiples rangos (tabla 4.5) determinándose que existen diferencias significativas entre ambas concentraciones de la solución de lavado utilizada.

Tabla 4.5 Prueba de múltiples rangos para concentración de la solución de lavado

CONCENTRACION	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3	9	28490,8	2205,76	X
20	9	48975,8	2205,76	X

Una vez realizada la parte estadística y detectar diferencias significativas se procedió a determinar qué tan eficiente fueron los tratamientos aplicados en el proceso de remediación y los resultados se presentan en la gráfica 4.6.



Gráfica 4.6 Eficiencia del proceso de lavado

Se observa en la gráfica 4.6 que el tratamiento más eficiente fue el de 3% a 500 rpm. Siguiendo el orden de eficiencia sigue el tratamiento de 3% a 1000 rpm, 20% a 500 rpm, 20% a 1000 rpm, 3% a 1700 rpm y el menos eficiente fue el de 20% a 1700 rpm. Según los resultados obtenidos a menor

concentración del surfactante en la solución de lavado y menor rpm el proceso es más eficiente.



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- ✓ El crudo utilizado fue clasificado como crudo pesado con una °API de 16,6, densidad de 985 kg/m³ y una viscosidad cinemática de 2080 cSt.
- ✓ El suelo estudiado es característico de suelos de sabana con un pH fuertemente ácido (5,08), una baja conductividad eléctrica (84,2 µS/cm) y bajo en materia orgánica (1,8354%).
- ✓ Según la textura determinada (franco arenoso) el suelo es apto para ser sometido a un proceso de biorremediación o de remediación química.
- ✓ Luego del lavado, todas las muestras de suelo cumplieron con el estándar del decreto 2635 para ser sometidas a proceso de confinamiento o esparcimiento (pH 6-9).
- ✓ Luego del proceso de lavado, las muestras resultaron clasificadas no salinas, cumpliendo así con los artículos 49 y 50 (CE < 3500 µS/cm) del decreto 2635.
- ✓ El aumento de la materia orgánica fue de 1880% luego del proceso de lavado resultó de origen petrogénico.
- ✓ Los factores concentración y rpm resultaron estadísticamente significativos (P<0,05).
- ✓ No existen diferencias significativas en los tratamientos con 500 y 100 rpm.
- ✓ El tratamiento más eficiente resultó ser el de concentración del tensoactivo al 3% y 500 rpm, con un porcentaje de 87,11%.

5.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Utilizar otras concentraciones y otros tipos de suelos para estudiar el comportamiento del surfactante.
- ✓ Continuar llevando a cabo investigaciones en el ámbito de contaminación de suelos, debido a que hoy en día los derrames petroleros son más frecuentes y estos pueden ser tratados con tecnologías compatibles con el ambiente, como la biorremediación.
- ✓ Comparar el uso de surfactantes versus otro método de remediación de suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adams, S. (1999). Proceso de separación. McGraw-Hill. New York.

Adams R., Domínguez R. V., García H. L. (1999). Potencial de la biorremediación de suelo y agua impactados por petróleo en el trópico mexicano. *Terra*, 17(2):159-174.

Anandaraj, B; Thivakaran, P. (2010). Isolation and Production of biosurfactant producing organism from oil spilled soil. *J. Biosci. Tech* 1:120-126

Alvarez-Campana Gallo, J.Manuel, (2001). Curso Sobre Contaminación de Suelos y Aguas Subterráneas: Contaminación del Suelo Debida a Procesos Industriales. Valencia, España. Universidad Politécnica de Valencia, 12P.

Álvarez, M., Alor, M., Morales, C., Méndez, C. y Lobato, C. (2019). Evaluación del suelo contaminado con hidrocarburo e intemperizado en Cárdenas, Tabasco. *Journal of Basic Sciences*, Vol. 5 (15), pp. 27-38

Arias, F. (2012). El proyecto de investigación (6ta ed). Editorial Episteme. Caracas. República bolivariana de Venezuela.

ASTDR, (1998). Reseña Toxicológica de los Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH). Atlanta, EE.UU., Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de Salud Pública.

ASTM D2196-10. (2000). Standard test method for rheological properties of non-Newtonian materials (rotational viscometer). Annual book of ASTM standardas. Vol. 05.01.2002.

ASTM D 287-92. (2000). Standard test method for API gravity of crude petroleum and petroleum products (hydrometer method). Annual book of ASTM standardas. Vol. 05.01.2002.

- ASTM D369. (2000). Standard test method for specific gravity of crude petroleum and petroleum products (pycnometer method). Annual book of ASTM standardas. Vol. 05.01.2002.
- ASTM D5369-93 (2003). Standard practice for extraction of solid waste simples for chemical analysis using soxhlet extraction. Environmental Assessment, Book of Standards, Vol. 11. 04, September 2004.
- Befkadu, A. y Chen, Q. (2018). Lavado de suelos mejorado con tensioactivos para la eliminación de hidrocarburos de petróleo de suelos contaminados: una revisión. Revista Pedosphere, volumen 28, número 3, pp. 383-410.
- Berroteran, M. y Souki, A. (2023). Evaluación del surfactante jm-92 en la biorremediación y lavado de suelos contaminados por hidrocarburos. Trabajo de grado. Universidad de Oriente, Venezuela.
- Billingsley KA, Backus SM, Wilson S, Singh A Y Ward OP. (2002). Remediation of PCBs in soil by surfactant washing and biodegradation in the wash by *Pseudomonas* sp. LB400. Biotechnology Letters 24: 1827–1832.
- Boulding, R. (1994). Description and sampling of contaminated soils. Lewis Publishers (2)
- Bouyoucos, G. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils ,Agron. J., vol. 54: 464-465.
- Bouwer EJ, Zhang W, Wilson LP Y Durant ND. (1997). Biotreatment of PAHcontaminated soils/sediments. Ann NY Acad Sci. 829:103–17.
- Burgess, L.C. (2013) Organic pollutants in soil, en: Brevik, E.C. (Eds.), Soils and human health, pp. 83-106. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Chicco, C.; Godoy, S. (1987). Suplementación mineral de bovinos de carne a pastoreo. En: III Cursillo Sobre Bovinos de Carne. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Central de Venezuela.

Consuelo, M. (2011) Fundación para el conocimiento sobre contaminación. Madrid.

COVENIN 2683-90. (1990). Norma Venezolana de Crudos, determinación del contenido de agua y sedimentos y método de centrifugación.

Decreto 2.635. (1998). Normas para el control de la Recuperación de Materiales peligrosos y el Manejo de los desechos Peligrosos. Contentivo de la reforma parcial del decreto N°2.289 (Gaceta Oficial N° 5.245 Ext. Del 03 de agosto de 1998).

Desai, J.D; Banat, I.M. (1997). Microbial production of surfactants and their commercial potential. Microbiol Mol Biol Rev 61: 47-64.

Dettmer, J. (2002). Educación y desastres: reflexiones sobre el caso de México. Red Revista Latinoamericana de Estudios Educativos. Vol. 32, No. 2, Abril-Mayo-Junio 2002.

Dorronso, C Y García, I. (2004) Contaminación del suelo. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Unidad docente e investigación de la facultad de ciencia. Universidad de granada. España.

Dorronsoro, F. (2004). Introducción a la Edafología. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Unidad docente e investigación de la Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. España.

Economipedia. (2018). Ambiente. Obtenido de Economipedia <https://economipedia.com/definiciones/contaminacion.html>

EPA (1994) Method 3541. Automated Soxhlet extraction. United States Environmental Protection Agency, SW-846 Manual. Washington, DC: Government Printing Office. 1-8 pp.

EPA. (1995) Method, 9045C. Soil and wasted pH. United States Environmental Protection Agency, SW-846 Manual. Washington, DC: Government Printing Office. 1-8 pp.

- EPA (1996) Method 3540C. Soxhlet extraction. United States Environmental Protection Agency, SW-846 Manual. Washington, DC: Government Printing Office. 1-8 pp.
- Farías, J. y Solano R. (2013). Evaluación de la eficiencia de los surfactantes bioterra plus y biodeclean, para la recuperación de suelos contaminados con hidrocarburos pesados. Universidad de Oriente.
- Fernández, C. (2006). Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados. Instituto Nacional de Ecología, México.
- Fernández, G. (2012) Química orgánica, separación mediante extracción (www.quimicaorganica.net/extraccion.html) (Consulta mayo 15, 2020)
- Figuera, H. (2016). Evaluación de técnica de biorremediación en un suelo arenoso contaminado con crudo liviano a nivel invernadero en la Universidad De Oriente. Tesis de Grado. Universidad de Oriente. Escuela de Ingeniería Agronómica. Monagas, Venezuela.
- Izquierdo, A. (2013). Biodegradación de HAPs durante la biorremediación aeróbica de suelos contaminados con hidrocarburos del petróleo. Análisis de poblaciones bacterianas y genes funcionales. Universidad de Barcelona.
- Head, I.; Jones, D. y Larter, S. (2003). Biological Activity in the Deep Subsurface and the Origin of Heavy Oil, *Nature* 426, no. 6964. 344–352.
- Jaramillo, J. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia. 1era Edición. Pp: 415- 450.
- López, M., Godoy, S., Alfaro, C. Y Chicco, C. (2008). Evaluación de la nutrición mineral en sabanas bien drenadas al sur del estado Monagas, Venezuela.. *Revista Científica*, 18(2), 197-206. Recuperado en 27 de octubre de 2022, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S079822592008000200012&lng=es&tlng=es

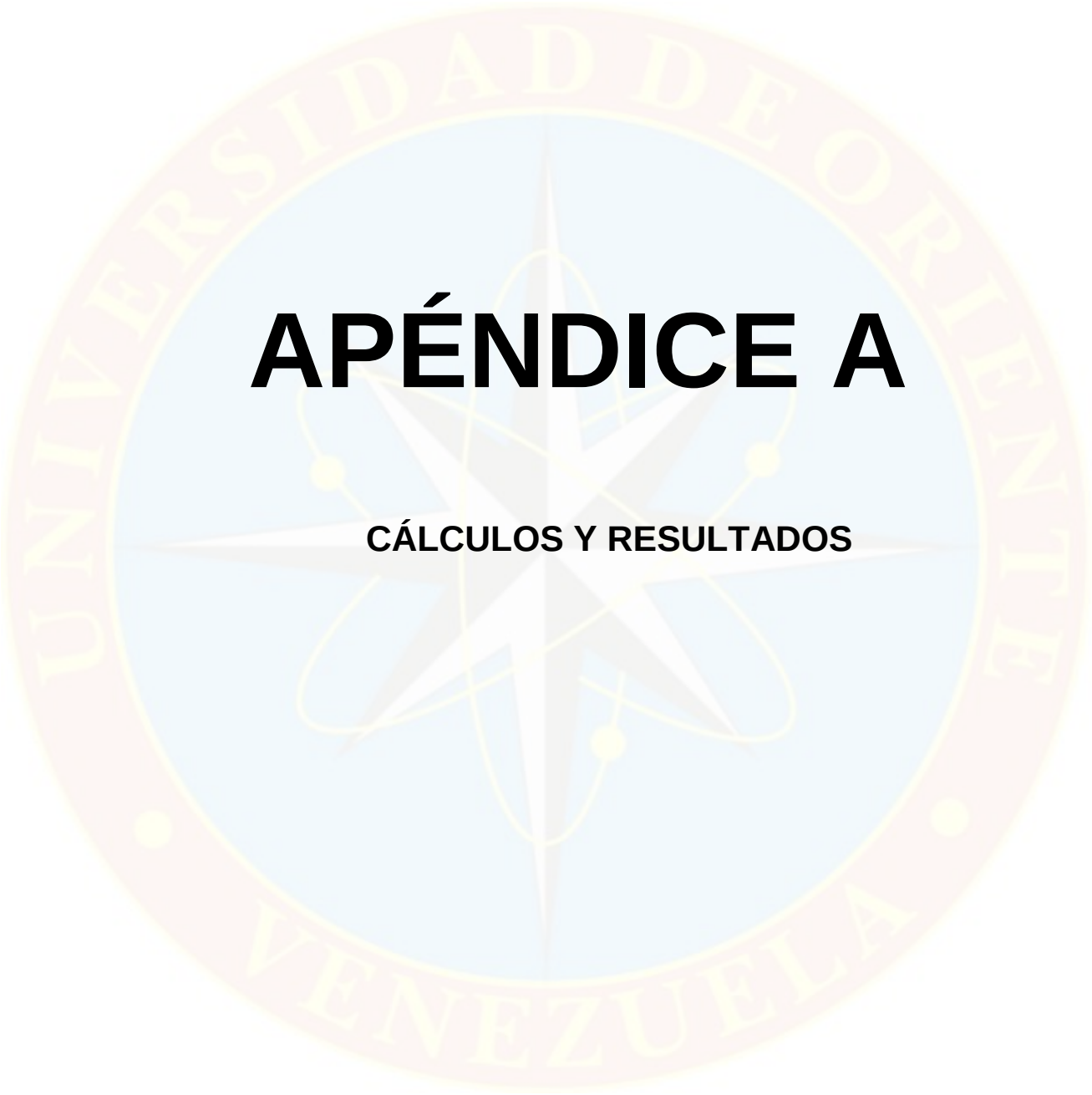
- Madrigal, I. (1998). Alternativas de tratamiento para la rehabilitación de sitios contaminados con hidrocarburos en México. Tesis de maestría en ingeniería Ambiental, división de estudios de postgrado de la facultad de ingeniería, UNAM.
- Martínez M., V. E., y López S. F. (2001). Efecto de hidrocarburos en las propiedades físicas y químicas de suelo arcilloso. *Terra*, 19, 9-17.
- Martínez, A. y Rivero, A. (2022). Evaluación del surfactante axsr 0808 en la recuperación de un suelo impactado por hidrocarburos. Trabajo de Grado. Universidad de Oriente, Venezuela.
- Mihelcic JR, Lueking DR, Mitzell RJ and Stapleton JM. (1993). Bioavailability of sorbed and separate-phase chemicals. *Biodegradation* 4: 141–153.
- Morrison, D.F. (1976). Multivariate statistical methods. New York: Mc Graw-Hill.
- Mustin, M. (1987). Le compost. Ed. François Dubusc. París, 954 p.
- O'Shaughnessy J. C y Blanc F. C. (2000). Aqueous solvent removal of contaminants from soils. En: Wise D. L., Trantolo D. J., Cichan E. J., Inyang H. I. y Stottmeister U. (Eds.). *Remediation engineering of contaminated soils*, pp. 617- 637. Marcel Decker, Inc. USA, 996 p.
- PDVSA (2004). Plan de saneamiento integral de fosas y muros quemadores. Anzoátegui–Venezuela.
- PDVSA. (2016). Balance de la gestión ambiental y social. Disponible en: http://www.pdvsa.com/images/pdf/Balance_Social_Ambiental/BGSA_2016.pdf
- PEMEX. (1999). Diccionario de Términos de Pemex Refinación. 1ra Ed., México, Petróleos Mexicanos, 36,70,110,138,172, 184P

- Pinto, J., y Moore, M. (2000). Release of polycyclic aro-matic hydrocarbons from contaminated soils by surfactant and remediation of this element by penicillium spp. *Environmental Toxicology Chemistry*. 19:1741-1748.
- Piñeiro, Diego, E. (2001). Población y trabajadores en el contexto de transformaciones agrarias. *In*: Giarraca, N. (comp) ¿Una nueva ruralidad en América Latina? Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales, Buenos Aires, Argentina. 200 p
- Plohl, K. y Leskvsek, H. (2002). Biological degradation of motor oil in water. *Acta Chim. Slov.*, 49, 279-289.
- Real Academia de Ingeniería. (2018). Analito. Obtenido de Real Academia de ingeniería <http://diccionario.raing.es/es/lema/analito>
- Reporte de producción de petróleo por clasificación de grados API. (2020). Estadísticas de petróleo y gas, Centro Nacional de Información de Hidrocarburos, Comisión Nacional de Hidrocarburos. Disponible en <https://portal.cnih.cnh.gob.mx/estadisticas.php>
- Rojas, J. (2005). “Guía de apoyo sobre las prácticas de las propiedades físicas y químicas del suelo”. Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas.
- Sanz. (1991). Evaluación de impacto ambiental en obra viales. *Revista Científica Electrónica de Ciencias Generales*. Zulia, Venezuela. Documento en línea Disponible en: www.Google.com
- Secretaría de Energía. (2014). Plan Quinquenal de Desarrollo del Sector Energético 2014-2018. Ciudad de México: Secretaría de Energía.
- Schulte, E. y Hopkins, BG. (1996). Estimation of soil organic matter by weight loss-on-ignition. In F. R. Magdoff, M. A. Tabatabai, & E. A. Hanlon (Eds.), *Soil organic matter: Analysis and interpretation* (pp. 21–30). SSSA.

- Thibault SL, A., M and Frankenberger, WT. (1996). Influence of surfactants on pyrene desorption and degradation in soils. *Appl. Environ. Microbiol.* 62: 283–287.
- Tissot, B. y Mahro, B. (1984). *Petroleum formation and occurrence*. New York USA: Springer-Verlang.
- Urum K., and T. Pekdemir. (2004). Evaluation of biosurfactants for crude oil contaminated soil washing. *Chemosphere*. 57: 1139-1150
- Vadequímica. (2019). Quimipedia. [Artículo en línea]. Consultado el 12 de marzo de 2019 en: <https://www.vadequimica.com/quimipedia/s/solubilidad-borrador>.
- Villalta, J. (2022). Consejos condiciones del pH en el suelo de la zona de occidente de honduras. Grupo Cadelga. Recuperado de <https://grupocadelga.com/vive-tu-tierra/condiciones-del-ph-en-suelo-de-la-zona-de-occidente-de-honduras>.
- Volkering F, Breure AM, Rulkens WH. (1998) Microbiological aspects of surfactant use for biological soil remediation. *Biodegradations* 8, 401-417.
- Zehner, R. (2001). Programa de remediación de actividades hidrocarbúrfica.



APENDICES



APÉNDICE A

CÁLCULOS Y RESULTADOS

Tabla A.1 Valores del pH de las muestras lavadas

concentración	rpm	pH
3	500	6,97
	1000	6,75
	1700	6,59
20	500	6,93
	1000	6,84
	1700	6,43

Tabla A.2 Valores de CE de las muestras lavadas

concentración	rpm	CE ($\mu\text{S/cm}$)
3	500	45,3
	1000	49
	1700	50,2
20	500	43,3
	1000	49,4
	1700	63,1

Tabla A.3 Valores de materia orgánica de las muestras lavadas

concentración	rpm	MO (%)
3	500	5,69
	1000	7,54
	1700	31,18
20	500	10,49
	1000	11,42
	1700	34,44

Tabla A.4 Valores de textura de las muestras lavadas

Conc.	rpm	Arena	Arcilla	Limo	Textura
3	500	85,00	7,6	7,4	franco arenoso
	1000	86,00	6,5	7,5	franco arenoso
	1700	88,00	4,6	7,4	franco arenoso
20	500	86,50	5,9	7,6	franco arenoso
	1000	87,20	5,2	7,6	franco arenoso
	1700	89,00	3,4	7,6	arenoso

Tabla A.5 Valores de HTP de las muestras lavadas al 3%

Repetición	Concentración (%)	rpm	HTP (mg/kg)	Promedio HTP (mg/kg)
1	3	500	9980	9850
2		500	9701	
3		500	9868	
1	3	1000	12142	11914,56
2		1000	11661,53	
3		1000	11940,15	
1	3	1700	64841,12	63708,11
2		1700	63031	
3		1700	63252,2	

Tabla A.6 Valores de HTP de las muestras lavadas al 20%

Repetición	Concentración (%)	rpm	HTP (mg/kg)	Promedio HTP (mg/kg)
1	20	500	38950,23	39508,17
2		500	41019,15	
3		500	38555,13	
1	20	1000	39545,45	39582,68
2		1000	40151,75	
3		1000	39050,85	
1	20	1700	67614,25	67836,58
2		1700	68900,45	
3		1700	66995,05	

Tabla A.7 Clasificación del suelo según su acidez.

Valor del pH	Evaluación
< 4.5	Extremadamente ácido
4.5 - 5.0	Muy fuertemente ácido
5.1 - 5.5	Fuertemente ácido
5.6 - 6.0	Medianamente ácido
6.1 - 6.5	Ligeramente ácido
6.6 - 7.3	Neutro
7.4 - 7.8	Medianamente básico
7.9 - 8.4	Moderadamente básico
8.5 - 9.0	Ligeramente alcalino
9.1 - 10.0	Alcalino
> 10.0	Fuertemente alcalino

Fuente: Rojas, 2005

Tabla A.8 Clasificación de la salinidad de los suelos.

TIPOS DE SUELO	Salinidad	C.E. (dS/m)
NORMAL	Muy ligera	0 - 2
	Ligera	2 - 4
SALINOS	Media	4 - 8
	Fuerte	8 - 16
	Muy fuerte	> 16

Fuente: Rojas, 2005

Tabla A.9 Valores de interpretación de la materia orgánica.

Materia Orgánica (%)
< 0,9 Muy bajo
1,0 – 1,9 Bajo
2,0 – 2,5 Normal
2,6 – 3,5 Alto
> 3,6 Muy alto

Fuente: Rojas, 2005

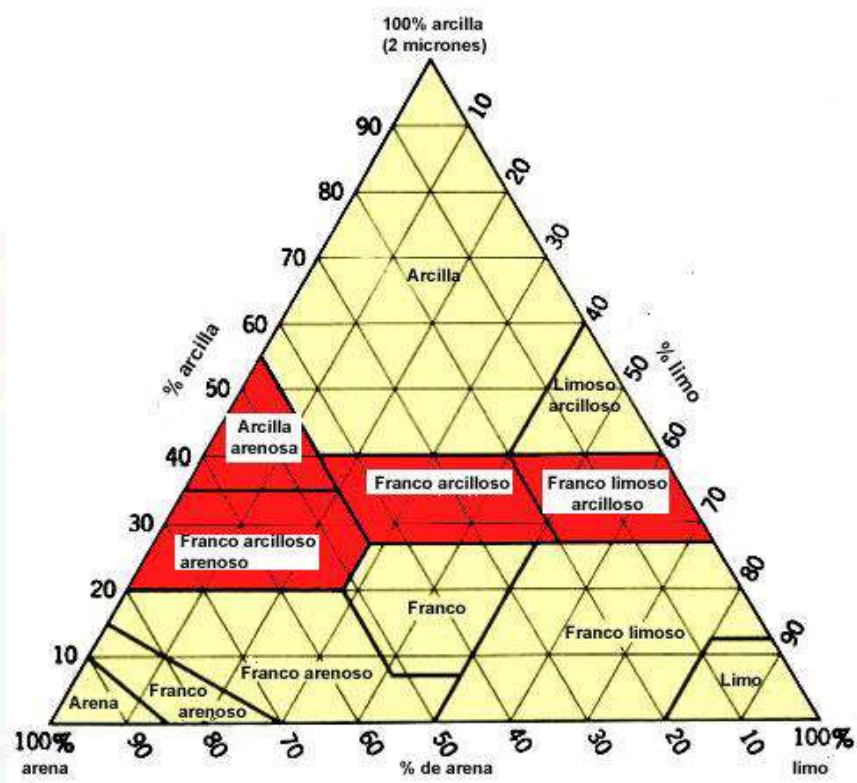


Figura A. 1 Triángulo de textura del suelo

Fuente: USDA, 1977



APÉNDICE B

REGISTRO DE IMÁGENES



Figura B.1 Pesando las muestras de suelo limpio



Figura B.2 Contaminando las muestras de suelo



Figura B.3 Muestra de suelo contaminada



Figura B.4 Preparando la solución de tensoactivo



Figura B.5 Lavado de suelos a 500 rpm



Figura B.6 Lavado de suelo



Figura B.7 Lavado de suelo luego de 24 hr de reposo



Figura B.8 Muestras de suelo lavadas



Figura B.9 Colocando a secar las muestras lavadas



Figura B.10 Proceso de extracción soxhlet



Figura B.11 Muestras en proceso de extracción soxhlet



Figura B.12 Capsulas secas con contenido de HTP luego del lavado



Figura B.13 Pesaje de las capsulas para cuantificar HTP



Figura B.14 Medición de pH de las muestras de suelo



Figura B.15 Medición de conductividad eléctrica de las muestras



Figura B.16 Colocación de muestras para calcinación



Figura B.17 Muestras luego del proceso de calcinación

HOJAS METADATOS

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 1/6

Título	EVALUACIÓN DEL BIOSURFACTANTE NONIL FENOL ETOXILADO 10 MOLES COMO AGENTE REMEDIADOR DE UN SUELO IMPACTADO CON CRUDO PESADO
---------------	---

El Título es requerido. El subtítulo o título alternativo es opcional.

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Gabriela Del Valle Moreno Mistage	CVLAC	C.I. 18582828
	e-mail	nelymistage@gmail.com
	CVLAC	
	e-mail	

Se requiere por lo menos los apellidos y nombres de un autor. El formato para escribir los apellidos y nombres es: "Apellido1 InicialApellido2., Nombre1 InicialNombre2". Si el autor está registrado en el sistema CVLAC, se anota el código respectivo (para ciudadanos venezolanos dicho código coincide con el número de la Cedula de Identidad). El campo e-mail es completamente opcional y depende de la voluntad de los autores.

Palabras o frases claves:

Suelo
Lavado
Surfactante

El representante de la subcomisión de tesis solicitará a los miembros del jurado la lista de las palabras claves. Deben indicarse por lo menos cuatro (4) palabras clave.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Sub-área
Tecnología y Ciencias Aplicadas	Ingeniería de Petróleo

Debe indicarse por lo menos una línea o área de investigación y por cada área por lo menos un subárea. El representante de la subcomisión solicitará esta información a los miembros del jurado.

Resumen (Abstract):

La presente investigación tuvo como objetivo principal evaluar el biosurfactante nonil fenol etoxilado 10 moles como agente remediador de un suelo impactado con crudo pesado. En primer lugar, se realizó una caracterización del crudo a utilizar y luego se hizo el muestreo del suelo al cual se le midió el pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, hidrocarburos totales del petróleo y textura antes y después del proceso de lavado. Se pesaron 5 kg de suelo y se contaminó con el hidrocarburo hasta obtener una concentración inicial de 76408 mg/kg. Seguidamente se tomaron 18 muestras (200 g) del suelo contaminado a las cuales se les aplicó la dilución del surfactante a 2 concentraciones (3 y 20%) tomando en cuenta una relación de 1:3 de suelo: surfactante y realizando el lavado a 3 tipos de rpm (500, 1000 y 1700 rpm). Se aplicó un análisis de varianza unifactorial para medir el efecto de las concentraciones y rpm en los HTP y se determinó el porcentaje de eficiencia. Los resultados arrojaron que el suelo cumplía con los requisitos (Decreto 2635) para ser sometido al proceso de lavado y que la concentración y los rpm ejercen un efecto significativo en la recuperación del suelo contaminado. Se detectaron diferencias significativas entre ambas concentraciones y en las rpm resultaron similares los tratamientos de 500 y 1000 rpm; determinándose que el tratamiento que mejor resultó fue el de concentración 3% a 500 rpm con una eficiencia de 87,11%.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Msc. Carlos De La Cruz	ROL	CA ☐ AS ☒ TU ☐ JU ☐
	CVLAC	C.I.: 12664336
	e-mail	cjdlco@gmail.com
MSc. Noris Bello	ROL	CA ☐ AS ☐ TU ☐ JU ☒
	CVLAC	C.I.: 4714349
	e-mail	nbello.udomonagas@gmail.com
MSc. Luis Castillo	ROL	CA ☐ AS ☐ TU ☐ JU ☒
	CVLAC	C.I.: 13773520
	e-mail	lcastillocampos@hotmail.com

Se requiere por lo menos los apellidos y nombres del tutor y los otros dos (2) jurados. El formato para escribir los apellidos y nombres es: "Apellido1 InicialApellido2., Nombre1 InicialNombre2". Si el autor está registrado en el sistema CVLAC, se anota el código respectivo (para ciudadanos venezolanos dicho código coincide con el número de la Cedula de Identidad).. La codificación del Rol es: CA = Coautor, AS = Asesor, TU = Tutor, JU = Jurado.

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2024	02	09

Fecha en formato ISO (AAAA-MM-DD). Ej: 2005-03-18. El dato fecha es requerido.

Lenguaje: spa

Requerido. Lenguaje del texto discutido y aprobado, codificado usando ISO 639-2. El código para español o castellano es spa. El código para inglés es en. Si el lenguaje se especifica, se asume que es el inglés (en).

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo
Gabriela.Moreno.docx

Caracteres permitidos en los nombres de los archivos: **A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 _ - .**

Alcance:

Espacial: _____ (opcional)

Temporal: _____ (opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo:

Ingeniero de Petróleo

Dato requerido. Ejemplo: Licenciado en Matemáticas, Magister Scientiarum en Biología Pesquera, Profesor Asociado, Administrativo III, etc

Nivel Asociado con el trabajo: Ingeniería

Dato requerido. Ejs: Licenciatura, Magister, Doctorado, Post-doctorado, etc.

Área de Estudio:

Tecnología y Ciencias Aplicadas

Usualmente es el nombre del programa o departamento.

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

Universidad de Oriente Núcleo Monagas

Si como producto de convenciones, otras instituciones además de la Universidad de Oriente, avalan el título o grado obtenido, el nombre de estas instituciones debe incluirse aquí.

Hoja de metadatos para tesis y trabajos de Ascenso- 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN°0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI - 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.



Cordialmente,

JUAN A. BOLANOS CURELO
Secretario



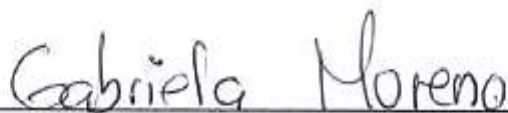
C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YOC/manja

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 6/6

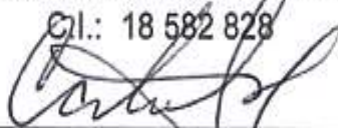
Derechos:

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicado CU-034-2009): "Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad, y solo podrán ser utilizados a otros fines, con el consentimiento del Consejo de Núcleo Respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización."



Br. Gabriela del Valle Moreno Mistage

C.I.: 18 582 828



Prof. MSc. Carlos De La Cruz

C.I.: 12 664 336

Asesor Académico