



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

**EVALUACIÓN DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN EN  
FUNCIÓN AL DESARROLLO DE PLANTAS DE FRIJOL DE  
SUELOS ALEDAÑOS A LA FOSA DE LA UNIVERSIDAD DE  
ORIENTE**

**REALIZADO POR:  
JUNIOR JAVIER PINO VÁSQUEZ  
YOLIBEL DEL JESÚS URBINA MARCANO**

**Trabajo Especial de Grado Presentado como Requisito Parcial para Optar al**

**Título de:  
INGENIERO DE PETRÓLEO**

**MATURÍN, NOVIEMBRE DE 2022**



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

**EVALUACIÓN DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN EN  
FUNCIÓN AL DESARROLLO DE PLANTAS DE FRIJOL DE  
SUELOS ALEDAÑOS A LA FOSA DE LA UNIVERSIDAD DE  
ORIENTE**

**REALIZADO POR:  
JUNIOR JAVIER PINO VÁSQUEZ  
C.I.: 19.782.154  
YOLIBEL DEL JESÚS URBINA MARCANO  
C.I.: 19.876.977**

**REVISADO POR:**

  
\_\_\_\_\_  
**ING. NATALI RAMOS**  
Asesor Académico

**MATURÍN, JUNIO DE 2023**



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

**EVALUACIÓN DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN EN  
FUNCIÓN AL DESARROLLO DE PLANTAS DE FRIJOL DE  
SUELOS ALEDAÑOS A LA FOSA DE LA UNIVERSIDAD DE  
ORIENTE**

**REALIZADO POR:  
JUNIOR JAVIER PINO VÁSQUEZ  
C.I.: 19.782.154  
YOLIBEL DEL JESÚS URBINA MARCANO  
C.I.: 19.876.977**

**APROBADO POR:**

  
**ING. NATALI RAMOS**  
Asesor Académico

  
**ING. NORIS BELLO**  
Jurado Principal

  
**MSC. CARLOS DE LA CRUZ**  
Jurado Principal

**MATURÍN, JUNIO DE 2023**



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-2023

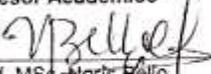
MODALIDAD: TESIS DE GRADO

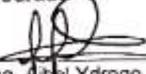
ACTA N° 000003048-00184-01-2023

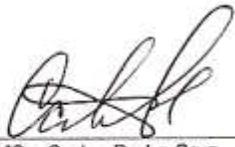
En Maturín, siendo las 10:00 am del día 30 de junio del 2023 reunidos en la Sala "A1 Postgrado", Campus: Juanico del Núcleo de Monagas de la Universidad de Oriente, los miembros del jurado profesores: Ing. Natali Ramos (Asesor Académico), MSc. Noris Bello (Jurado), MSc. Carlos De La Cruz (Jurado). A 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: **EVALUACION DEL GRADO DE CONTAMINACION EN FUNCION AL DESARROLLO DE PLANTAS DE FRIJOL DE SUELOS ALEDAÑOS A LA FOSADE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE**. Por el Bachiller: **JUNIOR JAVIER PINO VASQUEZ, C.I. 19 782 154**. El jurado, luego de la discusión del mismo acuerdan calificarlo como: Aprobado por unanimidad

  
\_\_\_\_\_  
Br. Junior Javier Pino Vásquez  
C.I. 19 782 154

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Ing. Natali Ramos  
C.I.:14 145 134  
Asesor Académico

  
\_\_\_\_\_  
Prof. MSc. Noris Bello  
C.I.: 4 714 349  
Jurado

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Ing. Abel Ydrogo  
C.I.: 18 820 522  
Sub-Comisión de Trabajo de Grado

  
\_\_\_\_\_  
Prof. MSc. Carlos De La Cruz  
C.I.: 12 664 336  
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°- 302 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.



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-2023

MODALIDAD: TESIS DE GRADO

ACTA N° 000003047-00183-01-2023

En Maturín, siendo las 10:00 am del día 30 de junio del 2023 reunidos en la Sala "A1 Postgrado", Campus: Juanico del Núcleo de Monagas de la Universidad de Oriente, los miembros del jurado profesores: Ing. Natali Ramos (Asesor Académico), MSc. Noris Bello (Jurado), MSc. Carlos De La Cruz (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: **EVALUACION DEL GRADO DE CONTAMINACION EN FUNCION AL DESARROLLO DE PLANTAS DE FRIJOL DE SUELOS ALEDAÑOS A LA FOSA DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE**. Por la Bachiller: **YOLIBEL DEL JESÚS URBINA MARCANO**, C.I. 19 876 977. El jurado, luego de la discusión del mismo acuerdan calificarlo como: Aprobado por unanimidad

Br. Yolibel del Jesús Urbina Marciano  
C.I. 19 876 977

Prof. Ing. Natali Ramos  
C.I.: 14 145 134  
Asesor Académico

Prof. MSc. Noris Bello  
C.I.: 4 714 349  
Jurado

Prof. Ing. Abel Ydrogo  
C.I.: 18 820 522  
Sub-Comisión de Trabajo de Grado

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

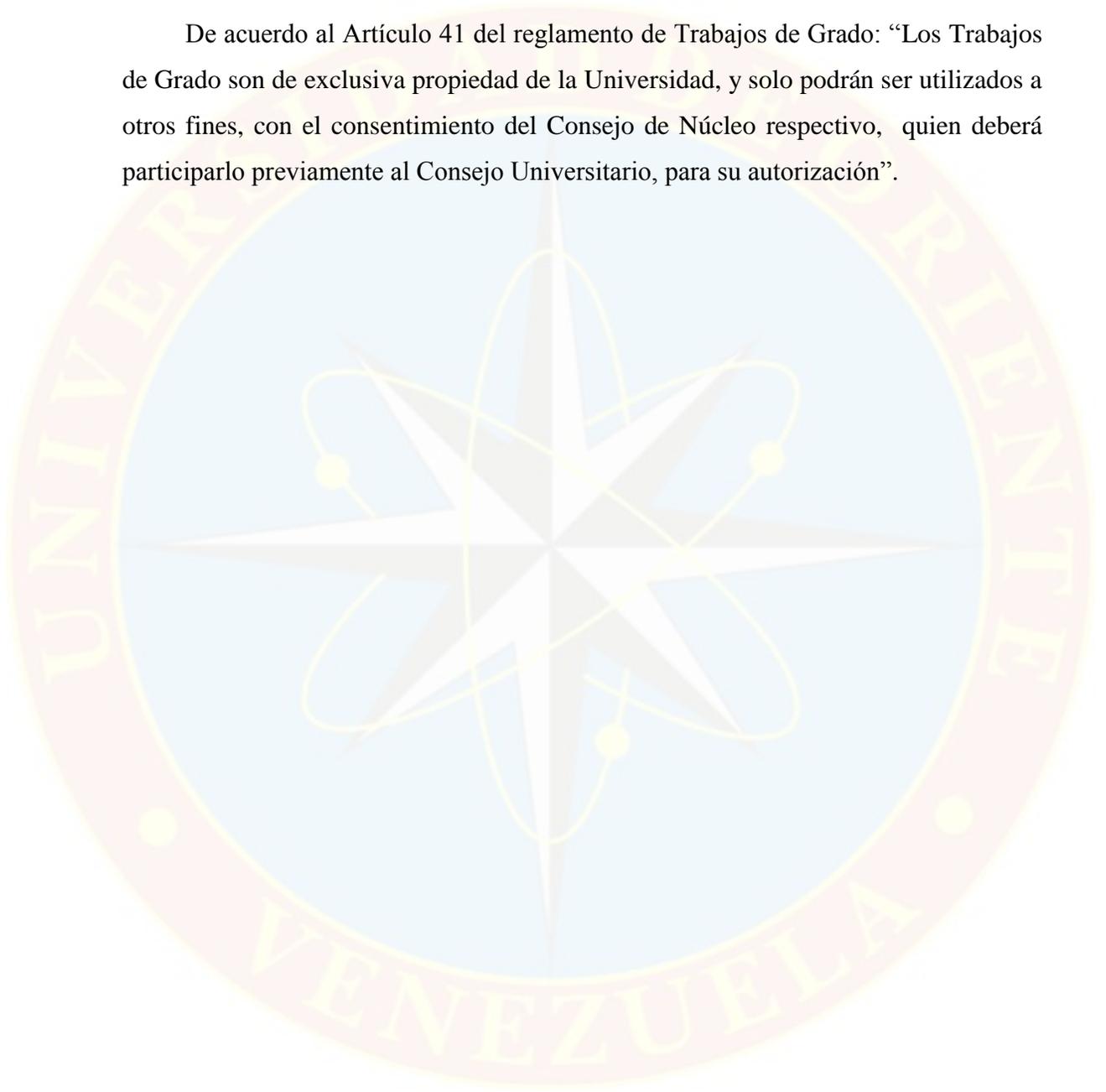
Prof. Ing. Jesús Otañola  
C.I.: 14 940 176  
Jefe de Departamento



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°- 301 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.

## **RESOLUCIÓN**

De acuerdo al Artículo 41 del reglamento de Trabajos de Grado: “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”.

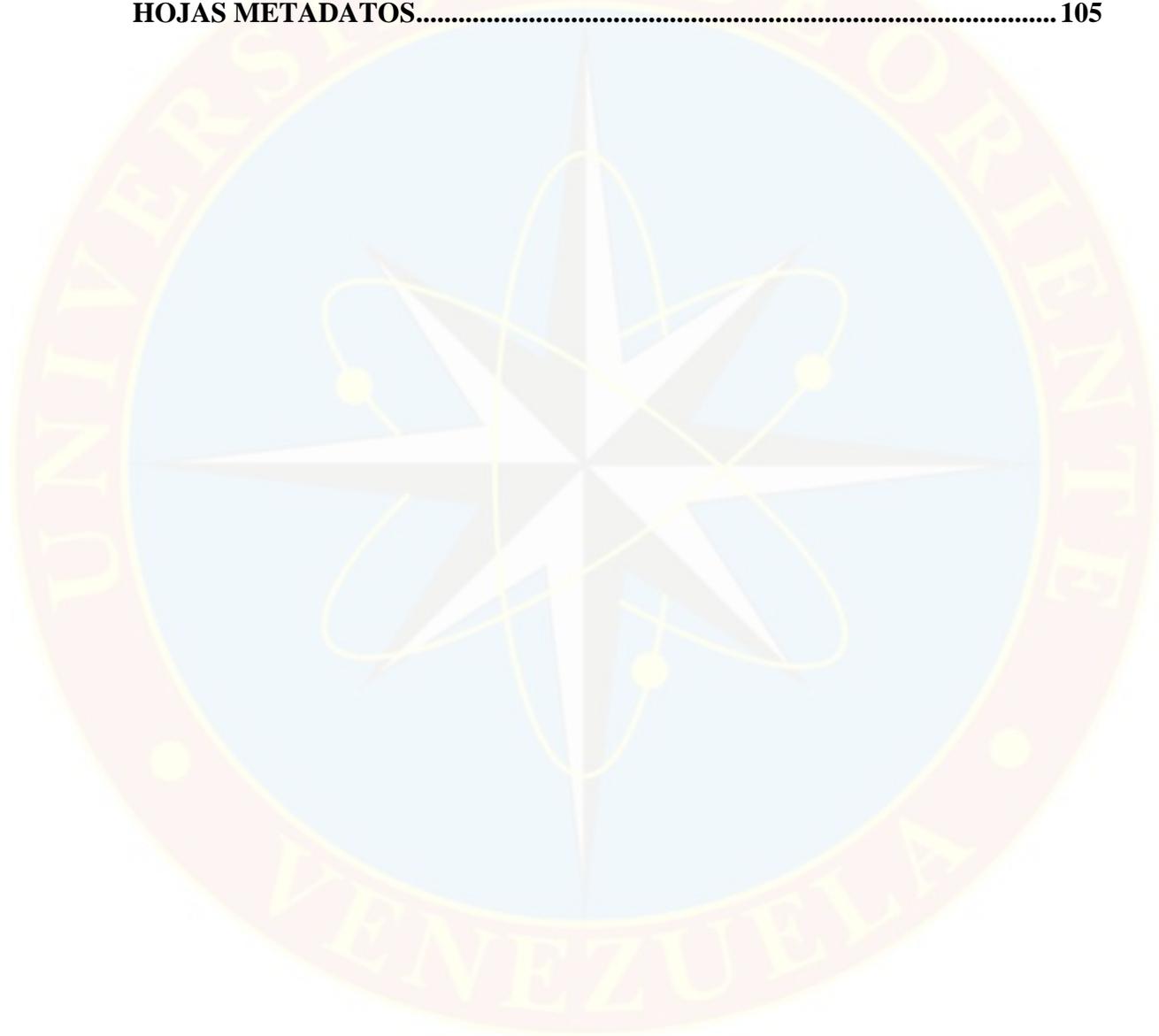


# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>RESOLUCIÓN</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>x</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS</b> .....	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xiii</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>3</b>
<b>EL PROBLEMA Y SUS GENERALIDADES</b> .....	<b>3</b>
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	5
1.2.1 Objetivo general.....	5
1.2.2 Objetivos específicos .....	5
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	5
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>7</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>7</b>
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	7
2.2 BASES TEÓRICAS .....	9
2.2.1 Suelo .....	9
2.2.2 Tipos de suelo .....	10
2.2.3 Funciones del suelo.....	11
2.2.4 Composición del suelo.....	12
2.2.5 Propiedades del suelo .....	13
2.2.5.1 Propiedades físicas del suelo .....	13
2.2.5.2 Propiedades químicas del suelo .....	16
2.2.6 Suelo contaminado.....	19
2.2.7 Causas y consecuencias de los suelos contaminados .....	19
2.2.7.1 Causas .....	19
2.2.7.2 Consecuencias.....	22
2.2.8 Contaminación por hidrocarburos .....	24
2.2.8.1 Fuentes de contaminación por hidrocarburos .....	27
2.2.8.2 Comportamiento del hidrocarburo y su movimiento en el subsuelo .....	28
2.2.9 Criterios empleados para el manejo de desechos .....	31
2.2.9.1 Manejo de desechos petrolíferos.....	32
2.2.10 Bioindicadores .....	32
2.2.10.1 Tipos de bioindicadores .....	34
2.2.10.2 Ventajas y desventajas de los bioindicadores .....	35
2.2.11 Frijol ( <i>Vigna unguiculata</i> ) .....	35

2.3 BASES LEGALES.....	36
2.3.1 Constitución de la República Bolivariana de Venezuela.....	36
2.3.2 Ley Orgánica del Ambiente (1976) .....	37
2.3.3 Ley Penal del Ambiente (2012).....	37
2.3.4 Ley N° 55 sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos (2001) .....	40
2.4 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	40
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>43</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>43</b>
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	43
3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	43
3.3 SISTEMA DE HIPÓTESIS.....	44
3.4 DEFINICIÓN DE VARIABLES .....	44
<b>3.5 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO .....</b>	<b>45</b>
3.5.1 Caracterización de las muestras de suelo que presentan influencia directa con los desechos vertidos en la fosa.....	45
3.5.2 Determinación del grado de afectación del suelo sobre la germinación de las semillas de frijol.....	48
3.5.3 Estudio el desarrollo de las plantas en cuanto a sus características morfológicas de las plantas de frijol (altura de la planta, diámetro a nivel de la base, número de hojas y longitud de las raíces) sembradas en muestras de suelos aledaños a la fosa.....	50
3.6 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	51
3.6.1 Técnicas .....	51
3.6.2 Instrumentos .....	52
3.7 RECURSOS .....	52
3.7.1 Recursos humanos .....	52
3.7.2 Recursos materiales .....	53
3.7.3 Recursos financieros.....	53
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>54</b>
<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>54</b>
4.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS DE SUELO QUE PRESENTAN INFLUENCIA DIRECTA CON LOS DESECHOS VERTIDOS EN LA FOSA.....	54
4.1.1 Caracterización de las distintas muestras de suelo extraídas.....	55
4.1.2 Contenido de aceites y grasas de las muestras de suelo extraídas.....	63
4.2 DETERMINACIÓN DEL GRADO DE AFECTACIÓN DEL SUELO SOBRE LA GERMINACIÓN DE LAS SEMILLAS DE FRIJOL.....	64
4.3 ESTUDIO EL DESARROLLO DE LAS PLANTAS EN CUANTO A SUS CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LAS PLANTAS DE FRIJOL (ALTURA DE LA PLANTA, DIÁMETRO A NIVEL DE LA BASE, NÚMERO DE HOJAS Y LONGITUD DE LAS RAÍCES) SEMBRADAS EN MUESTRAS DE SUELOS ALEDAÑOS A LA FOSA .....	70

<b>CAPÍTULO V</b> .....	<b>80</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>80</b>
5.1 CONCLUSIONES.....	80
5.2 RECOMENDACIONES .....	81
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>82</b>
<b>APÉNDICES</b> .....	<b>89</b>
<b>HOJAS METADATOS</b> .....	<b>105</b>



## INDICE DE FIGURAS

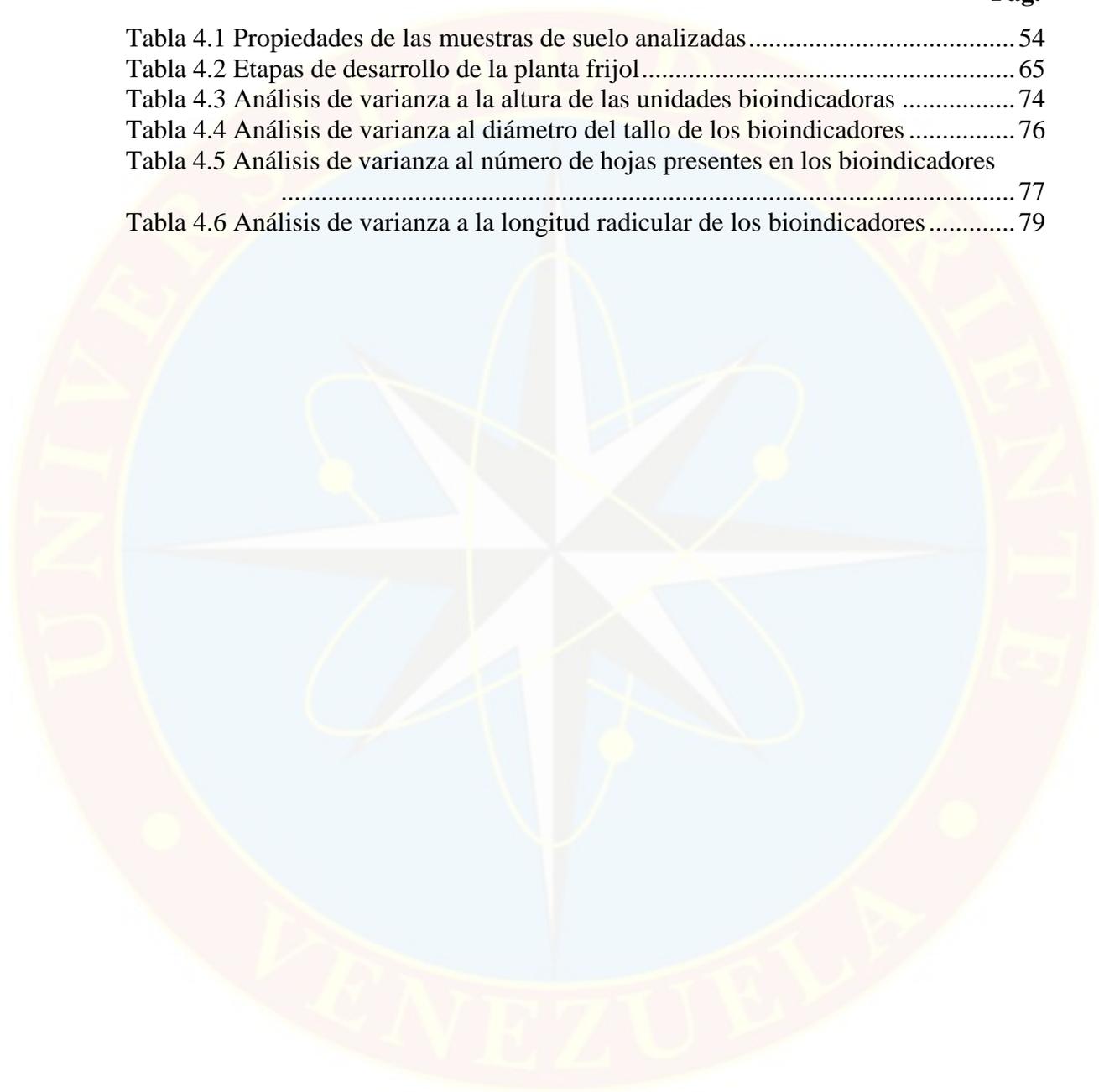
	<b>Pág.</b>
Figura 2.1 Disposición en el espacio de los constituyentes del suelo.....	9
Figura 2.2 Triángulo de textura del sistema de clasificación de la USDA .....	11
Figura 2.3 Estructuras químicas de componentes mayoritarios en el petróleo .....	25
Figura 3.1 Diagrama del equipo de recirculación continua por Soxhlet.....	48
Figura 4.1 Esquema del desarrollo del cultivo de frijol ( <i>Vigna unguiculata</i> ).....	71
Figura 4.2 Cultivo de frijol ( <i>Vigna unguiculata</i> ) en la segunda semana .....	72
Figura 4.3 Incidencias de plagas y enfermedades en el desarrollo del frijol .....	72
Figura 4.4 Cultivo de frijol ( <i>Vigna unguiculata</i> ) en la quinta semana.....	75

## INDICE DE GRÁFICOS

	<b>Pág.</b>
Gráfica 4.1 pH de las muestras de suelo analizadas.....	55
Gráfica 4.2 Conductividad eléctrica de las muestras de suelo analizadas .....	56
Gráfica 4.3 Materia orgánica de las muestras de suelo analizadas .....	57
Gráfica 4.4 Carbono orgánico de las muestras de suelo analizadas.....	58
Gráfica 4.5 Nitrógeno de las muestras de suelo analizadas .....	59
Gráfica 4.6 Densidad aparente de las muestras de suelo analizadas.....	60
Gráfica 4.7 Porcentaje de aceites y grasas de las muestras de suelo analizadas .....	64
Gráfica 4.8 Germinación porcentual de la zona virgen.....	67
Gráfica 4.9 Germinación porcentual de la zona contaminada .....	68
Gráfica 4.10 Germinación porcentual de la zona estimulada .....	69
Gráfica 4.11 Germinación total de las unidades bioindicadoras sembradas .....	70
Gráfica 4.12 Alturas alcanzadas por las unidades bioindicadoras sembradas .....	73
Gráfica 4.13 Diámetros del tallo de las unidades bioindicadoras sembradas .....	75
Gráfica 4.14 Número de hojas de las unidades bioindicadoras sembradas.....	77
Gráfica 4.15 Longitud de las radículas de las unidades bioindicadoras .....	78

## INDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 4.1 Propiedades de las muestras de suelo analizadas.....	54
Tabla 4.2 Etapas de desarrollo de la planta frijol.....	65
Tabla 4.3 Análisis de varianza a la altura de las unidades bioindicadoras .....	74
Tabla 4.4 Análisis de varianza al diámetro del tallo de los bioindicadores .....	76
Tabla 4.5 Análisis de varianza al número de hojas presentes en los bioindicadores .....	77
Tabla 4.6 Análisis de varianza a la longitud radicular de los bioindicadores .....	79





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

**EVALUACIÓN DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN EN FUNCIÓN AL  
DESARROLLO DE PLANTAS DE FRIJOL DE SUELOS ALEDAÑOS A LA  
FOSA DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE**

**Autores:**

Junior Javier Pino Vásquez  
C.I. 19.782.154  
Yolibel Del Jesús Urbina Marcano  
C.I. 19.876.977  
Noviembre de 2022.

**Asesor:**

Ing. Natalí Ramos  
Asesor Académico

**RESUMEN**

La presente investigación tuvo como objetivo principal el estudio del grado de contaminación de la zona adyacente a la fosa de desechos científicos de los laboratorios de petróleo de la Universidad de Oriente, Núcleo Monagas, empleándose para ello bioindicadores vegetales. En primer lugar se discriminaron las muestras en tres zonas: virgen, contaminada y estimulada, se realizó la caracterización de las mismas con el fin de estimar las propiedades físicas y químicas, luego se realizó la determinación de los porcentajes de aceite y grasas. De forma seguida se diseminaron las vainas de frijol (*Vigna unguiculata*) en las matrices, monitoreándose por un plazo próximo a ocho semanas, en ese periodo de tiempo se evaluaron las fracciones morfométricas de cada unidad muestral, tanto en su fase vegetativa como en la reproductiva. Se aplicó a posteriori un análisis de varianza junto con un contraste de múltiple rangos basado en la mínima diferencia significativa de Fisher para determinar si existían discrepancias estadísticas entre las tres zonas. Las pruebas evidenciaron un suelo de textura franco-arenoso, con un contenido de materia orgánica y mineral aceptable, así como una capacidad de intercambio catiónico prospectiva para la adopción de distintas especies vegetales. Morfológicamente las radículas, así como las plántulas evolucionaron de manera uniforme, exponiendo un crecimiento, grosor, florecencia y longitud radicular saludable, descartando así alguna afectación o incidencia negativa de la actividad académica y científica sobre las aptitudes edáficas de la zona circundante a la mencionada fosa.

**Palabras Claves:** bioindicadores, frijol, fosa, plántula, radícula.

## INTRODUCCIÓN

En los procesos de refinación del petróleo generalmente se liberan cantidades considerables de crudo y derivados de distintas características y comportamientos, los volúmenes de estos algunas veces son complejos de manejar, es por ellos que se disponen de fosas superficiales para su deposición y posterior tratamiento, no obstante, la percolación de los eflujos en las bases de las fosas alcanzan las matrices subyacentes acarreado una polución continua en la flora, fauna y vida bacteriana, este factor daño posee un tiempo de afectación prolongado, por lo cual se implementan bosques compensatorios, así como sistemas de control y remediación edafológica a gran escala planteando de esta manera la subsanación parcial del suelo a lo largo del horizonte operativo de la locación.

En situaciones controladas como las de los laboratorios petrolíferos de la Universidad de Oriente ocurre el mismo fenómeno, el vertido continuo en depósitos subterráneos dispuestos en las periferias de los centros de investigación afecta la capacidad reproductiva del suelo en los alrededores inmediatos, distintas evaluaciones a lo largo de los años se ejecutan continuamente con el propósito de documentar la evolución de esta matriz edafológica, confirmando su polución gradual y el nivel de alcance de éste.

Uno de los focos con mayor índice de contaminación en el campus Los Guaritos es el laboratorio de procesamiento de hidrocarburos, en donde se desarrollan pruebas bajo lineamientos sistemáticos, en el momento que una muestra representativa de petróleo u otro derivado es caracterizada y evaluada es depuesta temporalmente hacia contenedores internos y luego hacia la fosa contigua en las afueras de las instalaciones. La exposición asidua y prolongada del paisaje a tales efectos podría acarrear condiciones irreversibles de deterioro ambiental, siendo esto contrario a los principios académicos promovidos por la institución.

Diversas metodologías verdes (de bases orgánicas), se han desarrollado en los últimos años como agentes experimentales y evaluativos *in situ*, destacando entre ellas la técnica de fitoindicación, relativamente rápida de instalar y considerablemente accesible desde una perspectiva económica, la misma dota a los investigadores de una herramienta simple y efectiva. Los bioindicadores son especies que señalan la condición del ambiente en el que viven, estos se comportan como detectores o centinelas de su entorno; al observar la presencia o ausencia de las especies escogidas como testigos reaccionan de tal manera que es posible entender la clase de perturbación ha sufrido el ambiente o incluso la intensidad de la misma. (ILBICA, 2012).

La práctica controlada de la bioindicación en el alma mater genera beneficios académicos, operativos, laborales y ambientales, los cuales son concurrentes y extrapolables. El monitoreo de las condiciones edafológicas advierte el alcance de las practicas investigativas y su repercusión sobre el campus Los Guaritos, sensibiliza e instruye al colectivo convergente sobre las consecuencias de las mismas, aplica como una metodología laboral preventiva en el estado venezolano y puede postularse como una a gran escala como medida legal para delimitar el impacto de la industria energética sobre la economía primaria desarrollada en la zona.

En armonía con lo previo, el presente estudio se enfocó en la realización de un análisis a las condiciones del suelo aledaño a la fosa de deposición de crudos de los laboratorios del departamento de ingeniería de petróleo a través del empleo de la planta de frijol (*Vigna unguiculata*) como indicador polutivo. Además se buscó establecer a que elementos contaminantes incidían en tal conducta, así como también en la determinación de las medidas regenerativas aplicables para el caso.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA Y SUS GENERALIDADES**

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En los derrames de petróleo o en cualquier contacto de fluidos oleaginosos con suelos, mares y ríos la acción más relevante para las unidades seguridad ambiental y laboral es la contención inmediata de los mismos, así como también la consecuente recuperación de las masas de suelo o agua perjudicadas, esto con el fin de que los niveles de polución puedan ser manejables en un tiempo operativo prudencial y la degradación ecológica generada devengue un alcance no colateral en los seres vivos expuestos a sus efectos; de no ser así, dicha situación generaría un escenario depresivo e irreversible en la estructura y conducta de las biosferas alcanzadas por los hidrocarburos.

De acuerdo al informe de gestión social y ambiental de Petróleos de Venezuela (PDVSA), en el año 2015 las organizaciones de la estatal petrolera reportaron la ocurrencia y atención de 8796 derrames, de los cuales 8603 fueron de hidrocarburos, lo que representa 98% del total; mientras que los 193 eventos restantes involucraron otro tipo de sustancias contaminantes. Del total de los derrames de hidrocarburos ocurridos, 7242 derrames (equivalentes a 84%) ocurrieron en cuerpos de agua y los 1361 restantes ocurrieron en suelos. Con relación al volumen de hidrocarburo derramado, el informe menciona un total de 123846 Barriles (Bls), de los cuales 103199 Bls (83%) corresponden a los derrames ocurridos en suelo, mientras que los 20647 barriles restantes (17%) corresponden a los ocurridos en el agua.

La Universidad de Oriente en su continuo rol de formadora de profesionales en el área, cuenta con una fosa de desechos no degradables de los laboratorios de docencia e investigación pertenecientes al Departamento de Ingeniería de Petróleo, en la cual se

vierte esencialmente muestras de petróleo y fluidos de perforación base aceite derivados de las prácticas impartidas en clases diariamente y de las investigaciones desarrolladas por los investigadores de trabajos de grado, por lo cual continuamente en el proceso de vertido de estos fluidos se suscitan derrames en los suelos aledaños de la misma, acarreado contaminaciones directas; además de las generadas indirectamente por posibles percolaciones del material de contención y los desbordamiento por la falta de mantenimiento de las unidades de higiene y logística.

A lo largo de la última década se han impulsado en el campus diversos estudios edafológicos para determinar el porcentaje de aceites y grasas contenido en los suelos aledaños a la fosa tanto a nivel superficial como distintas profundidades, resultando en un gradiente de penetración descendente conforme se incrementa la profundidad: Rodríguez & Aranguren (2017) reportaron rangos comprendidos entre 6,21% y 8,2% a nivel superficial y Sánchez & Velásquez (2010) registraron rangos entre 0,12% y 0,57% a nivel profundo, develando que para ese entonces no existía una penetración considerable en el subsuelo aledaño a la fosa y que los registros de polución derivan de la migración parcial de los derrames de crudos acarreados en la superficie por la actividad académica o por el desbordamiento de la misma.

Dado al conocimiento tácito y comprobable de la presencia de hidrocarburos en la matriz interna y superficial del suelo, así como sus posibles efectos, es importante entonces explicar si los actuales niveles de penetración podrían considerarse tóxicos e influyentes en los seres vivos que penden de la actividad orgánica de éste, pudiéndose de esta manera determinar el nivel de los tratamientos contentivos y/o regenerativos que demande la matriz en cuestión y consiguientemente gerenciar de manera pertinente las medidas que permitan la recuperación expedita de la misma. Por tanto, la presente investigación promueve el uso de la conducta de los germinados de frijol en los suelos aledaños a la fosa de los laboratorios del Departamento de Ingeniería de Petróleo como tasa cuantitativa y referencial de sus niveles de polución.

## **1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.2.1 Objetivo general**

Evaluar el grado de contaminación en función al desarrollo de plantas de frijol de suelos aledaños a la fosa de los laboratorios del departamento de ingeniería de petróleo.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- ❖ Caracterizar las muestras de suelos aledaños a la fosa que se ven influenciadas por los derrames o filtraciones de los desechos.
- ❖ Determinar el grado de afectación del suelo sobre la germinación de las semillas de frijol.
- ❖ Estudiar el desarrollo de las plantas en cuanto a sus características morfométricas de las plantas de frijol (altura de la planta, diámetro a nivel de la base, número de hojas y longitud de las raíces) sembradas en muestras de suelos aledaños a la fosa.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Para garantizar los efectos auto-depurativos del suelo (neutralización, degradación biótica, adsorción, complejización e insolubilización), se necesitan de una serie de condiciones ambientales que garanticen la existencia y proliferación de los microorganismos que llevan a cabo dichos procesos tales como: temperatura, humedad, nutrientes, oxígeno, pH, entre otros. En la mayoría de los casos uno o varios de estos factores no se cumplen, ralentizando el proceso de biodegradación y condicionándolo a un proceder exiguo, si se le aúna la complejidad de los residuos, resultará en un detrimento continuo de la capacidad amortiguadora. (Gutiérrez, 1990). Por esto, algunos ecosistemas tardan varias décadas en recuperarse naturalmente de un derrame, o simplemente no se recuperan. (Briceño y Méndez, 2006).

Dado la compleja situación adoptada por Venezuela respecto a la invasiva actividad energética, a partir de 1990 se abre una línea de investigación que luego de varios años de trabajo, permitió al colectivo científico conocer y entender la técnica de fitoindicación y las prácticas biorremediantes, enfocándose en la determinación del alcance perpetrado por la fracción petrolera en los suelos, así como la estimulación y aplicación del proceso de biodegradación para disminuir o suprimir dicha desviación ambiental (Infante, 2005) utilizando la capacidad de los organismos para tasar y evaluar el fenómeno polutivo, como también para modificar las cadenas constituyentes de los hidrocarburos. (Briceño y Méndez, 2006).

En fiel seguimiento de las premisas promovidas por la cátedra y el alma mater local, el desarrollo de la presente investigación se fundamentó en el monitoreo de los porcentajes de aceites y grasas de los suelos aledaños a la fosa de desechos de los laboratorios del Departamento de Ingeniería de Petróleo de la Universidad de Oriente Núcleo de Monagas, asumiendo las lecturas referenciales de Aranguren & Rodríguez (2017) -6,21% a 8,2%- como fracción contaminante que puede alterar el balance orgánico, nutricional y fitológico de la zona.. Es de importancia resaltar, que cercano a la zona de estudio existen plantaciones de morichales que fungen como pulmón vegetal de la institución, las cuales serían el ecosistema más vulnerable al impacto en el hipotético de que el volumen de agentes deletéreos supere el nivel de control propiciado por la universidad.

Los resultados observados en las plantas germinadas en la periferia de la fosa servirán como lectura de ajuste y cotejo para determinar el nivel de riesgo ambiental propiciado por la actividad científica y sus posibles consecuencias en la vida animal, vegetal e incluso humana; además de establecer si existe la necesidad de aplicaciones remediantes como lavados químicos o bioestimulación, promoviendo el compromiso ecológico como base del proceder profesional y académicos de los estudiantes y el personal que hace vida en la institución.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Como fundamento referencial para la presente investigación se emplearon los siguientes recursos académicos, los cuales se encuentran periféricamente asociados al tópico central.

**Aranguren & Rodríguez (2017).** “Estudio del grado de contaminación a nivel superficial del área circundante a la fosa de desechos de los laboratorios de petróleo de la U.D.O Monagas, año 2016”. La citada investigación tuvo como objetivo principal el estudio del grado de contaminación a nivel superficial de la fosa de desechos de los laboratorios de petróleo de la Universidad de Oriente, Núcleo Monagas. En primer lugar se realizó la caracterización del suelo con el fin de determinar las propiedades físicas y químicas del suelo en estudio, luego se realizó la determinación de los porcentajes de aceite y grasas obtenidos a través del método de la retorta, a cada muestra en estudio se procedió a efectuar 3 repeticiones. Seguidamente, se aplicó un contraste de múltiples rangos basado en la mínima diferencia significativa de Fisher para determinar las diferencias existentes.

Se comprobó que el contenido de aceites y grasas presente en el suelo estudiado fue casi el doble al obtenido en la muestra de suelo patrón ubicada en los alrededores de la Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, la muestra patrón presentó un porcentaje de aceites y grasas de 3,68, resultando menor a las distintas lecturas en el suelo circundante al foco de contaminación académico, los cuales presentaron un promedio de aceites y grasas de 7,06%, las cantidades de aceites y grasas determinadas en las muestras de suelo alrededor de la fosa se proyectaron como gradientes patrón del efecto polutivo de la actividad investigativa en la zona.

La presente investigación empleó los resultados de aceites y grasas citados como valores de apoyo en los cotejos analíticos y sus conclusiones se asumieron como matriz explicativa de la conducta de los germinados de frijol por el influjo de los agentes polutivos provenientes de la fosa.

**Sánchez & Velásquez (2010).** “Estudio del grado de contaminación, del área circundante a la fosa de desechos de los laboratorios, ubicada en la UDO - Monagas, Campus Los Guaritos (nivel profundo)”. Al igual que la investigación citada previamente, esta investigación consistió en determinar el grado de contaminación, del área circundante a la fosa de desechos de los laboratorios petrolíferos de la U.D.O. - Monagas, con la notoria novedad de que el análisis esta vez fue ejecutado a nivel profundo.

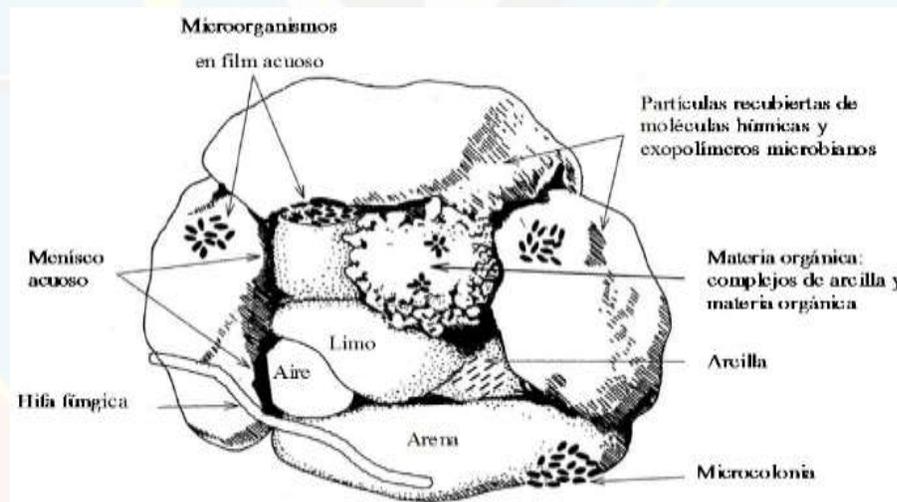
El desarrollo de este precedente se fundamentó en la determinación del contenido de aceite en las muestras recolectadas, se tomó como base las normas ambientales vigentes de acuerdo a lo establecido en el decreto 2635 contentivo en las normas para el control de la recuperación de materiales peligrosos y el manejo de los desechos peligrosos, a las lecturas resultantes se le aplicó un análisis estadístico en torno a los parámetros de varianza, desviación estándar, la media aritmética, entre otros; para comprobar la veracidad del muestreo. Se llegó a la conclusión de que para los niveles considerados no existe contaminación por aceites y grasas, por lo cual se recomendó el mantenimiento de las lecturas percibidas, proponiendo medidas para mejorar la contención de la fosa mediante una composición absorbente de fibras y la creación de una barrera geológica.

Esta investigación suministró al estudio de lecturas y análisis respecto a las condiciones profundas de las matrices edafológicas periféricas a la fosa, estableció el precedente de no contaminación, la metodología para la evaluación y las medidas para su preservación.

## 2.2 BASES TEÓRICAS

### 2.2.1 Suelo

En la actualidad existen dos tendencias predominantes de ver el suelo, la pedológica y la edafológica. La pedología considera al suelo como un producto natural, proveniente de la meteorización de las rocas por acción de distintos agentes como el clima y los microorganismos, enfatiza al suelo como un fenómeno natural: apariencia, modo de formación, composición química, física y biológica, y su clasificación y distribución. La edafología, por su parte, considera el suelo en relación a su uso como un medio para el crecimiento de las plantas, considera las diversas propiedades de los suelos en cuanto a su relación con su productividad vegetal.



**Figura 2.1 Disposición en el espacio de los constituyentes del suelo**  
**Fuente: Lladó (2012)**

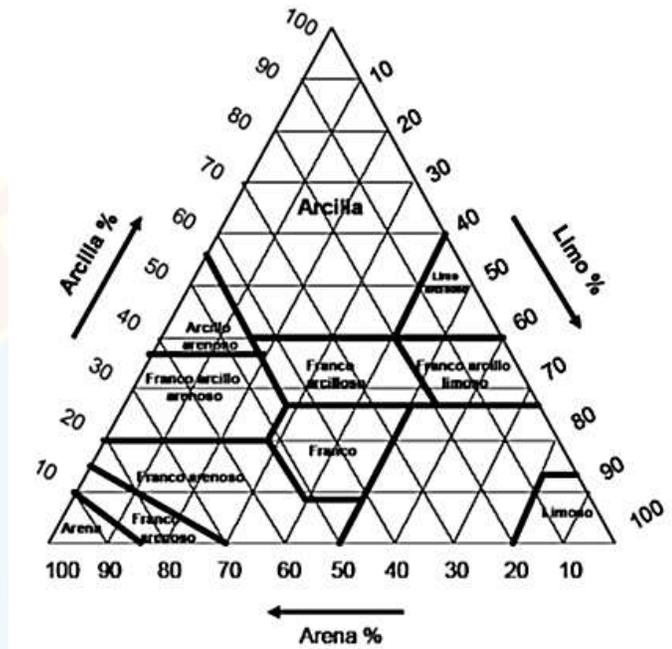
Como parte de su praxis investigativa de la cátedra ecológica, *Word Reference Base for Soil Resources* (2006), define al suelo como cualquier objeto que forme parte de la epidermis de la tierra, es decir, lo asume como cualquier material dentro de dos metros de la superficie de la tierra, que esté en contacto con la atmósfera, excluyendo

organismos vivos, áreas de hielo continuo no cubierto por otro material, y cuerpos de agua de más de dos metros de profundidad. Esta definición abarca entonces, roca continua, suelos urbanos pavimentados, suelos de áreas industriales, suelos de cuevas y suelos bajo agua. Este enfoque posee varias ventajas, entre ellas, que permite enfrentar problemas ambientales de una manera sistemática y holística, y que evita discusiones estériles sobre una definición universalmente aceptada de suelo y sus requerimientos de espesor y estabilidad.

### **2.2.2 Tipos de suelo**

El suelo está compuesto por tres fases: fase sólida, fase líquida y fase gaseosa. Una de las características importantes del suelo se refiere al tamaño de las partículas constituyentes de la fase sólida del mismo, la cual está constituida por diferentes partículas minerales de tamaño variable, conocidas como arenas, limos y arcillas, en función del diámetro de las mismas, donde las arenas tienen un diámetro entre 2 y 0,05 mm, los limos entre 0,05 y 0,002 mm, y las arcillas poseen diámetros inferiores a 0,002 mm. Los contenidos de estas tres fracciones minerales del suelo permiten clasificarlos texturalmente usando el denominado triángulo textural (figura 2.2). De esta manera, pueden representarse cuatro grupos de suelos según la proporción granulométrica dominante:

- ❖ Suelo arenoso: la arena representa más del 70% de la fracción sólida del suelo.
- ❖ Suelo arcilloso: la arcilla representa un mínimo de 35% en la fracción sólida del suelo, y en la mayoría de los casos más del 40% de la misma
- ❖ Suelo limoso: los limos representan más del 80% de la fracción sólida del suelo.
- ❖ Suelo franco: un suelo franco ideal podría ser definido como una mezcla de arena, limo y arcilla; pero las propiedades que estas fracciones ofrecen al suelo son aproximadamente iguales. La mayoría de los suelos de importancia agrícola, normalmente pertenecen a este grupo textural.



**Figura 2.2 Triángulo de textura del sistema de clasificación de la USDA**  
**Fuente: García (2008)**

### 2.2.3 Funciones del suelo

De acuerdo con Alexander (1991): el suelo cumple con tres funciones distintas aunque relacionadas.

- ❖ **Recurso natural:** es el sustento natural de una amplia gama de variedades de plantas, animales y microorganismos, resulta básico para la producción primaria de los ecosistemas terrestres, siendo el factor de productividad primario por excelencia. Se considera al suelo como un recurso no renovable y social, su uso depende de sus características que lo hacen más o menos atractivo para realizar distintas actividades agrarias, forestales y como en su proyección para proporcionar biodiversidad y diferencia paisajística.

- ❖ **Soporte de vida:** es un sistema complejo donde interaccionan materiales orgánicos e inorgánicos: agua, vegetales, animales superiores y una multitud de microorganismos en evolución, cambio y regulación continua.
- ❖ **Receptor de efluentes:** ejerce un papel de tapón, se comporta como filtro y elemento transformador entre la atmosfera y la capa freática, permite retener y procesar los contaminantes que llegan a él, evitando su paso directo al agua, a los ecosistemas o al hombre.

#### 2.2.4 Composición del suelo

Según lo establecido por Alexander, (1991), la matriz del suelo está compuesta primariamente por:

- ❖ **Minerales:** son el principal componente estructural del suelo, representan el 45% del volumen total, el mineral predominante es el dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), además están presentes en menor cantidad el Aluminio (Al), y el Hierro (Fe), también se encuentran en menor cuantía el Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Potasio (K), Titanio (Ti), Manganeso (Mn), Nitrógeno (N), Azufre (S), Sodio (Na) y Fósforo (P).
- ❖ **Aire y agua:** estos componentes constituyen el volumen poroso, ocupando 25% el agua y 5% el aire, del volumen total del suelo. La proporción aire-agua varía considerablemente con la humedad del suelo.
- ❖ **Materia orgánica:** representa el 5% del volumen del suelo, proviene de los residuos vegetales y animales, células microbianas, y producto del metabolismo microbiano (humus), siendo este último la fracción más estable de la materia orgánica. En el humus existen gran cantidad de microorganismos que ayudan a descomponer ciertos elementos (ciclo natural de degradación), según esto se puede emplear microorganismos para transformar compuestos específicos presentes en un suelo contaminado.

### 2.2.5 Propiedades del suelo

De acuerdo al portal de suelos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), las propiedades físicas y químicas del suelo son las que se listan a continuación:

#### 2.2.5.1 Propiedades físicas del suelo

- ❖ **Estructura del suelo:** las bases texturales del suelo (arena, limo y arcilla) se asocian para formar agregados de mayor tamaño. La estructura del suelo afecta a la aireación, el movimiento del agua en el suelo, la conducción térmica, el crecimiento radicular y la resistencia a la erosión. El agua es el componente que más afecta la estructura del suelo debido a su solución y precipitación de minerales y sus efectos en el crecimiento de las plantas. (FAO, 2015).
- ❖ **Profundidad del suelo:** entre las características del suelo existe una común entre todos, la aparición de una serie de capas (horizontes) desde la superficie hacia abajo, el conjunto de los horizontes se llama perfil del suelo. (Alexander, 1991). En la mayoría de los suelos se distinguen tres horizontes principales, los mismos que desde arriba hacia abajo son:
  - **Horizonte A:** conocido también como zona de lavado vertical, es la capa más superficial en donde la actividad de las plantas y animales es mayor, su color es oscuro debido a la abundancia de materia orgánica (humus), razón por la cual está sujeta a lixiviación.
  - **Horizonte B:** conocido como zona de precipitado, en este horizonte se encuentran las raíces más profundas de los árboles y arbustos, carece de humus, su color es más claro, y en él se depositan materiales arrastrados desde arriba entre los cuales están, materiales arcillosos, óxidos e hidróxidos metálicos.

- **Horizonte C:** o subsuelo, formado por rocas más o menos alteradas, que sirven de soporte a los dos horizontes anteriores, es la zona de contacto entre el suelo y la roca madre.
- ❖ **Disponibilidad de agua en el suelo:** denominada también Capacidad de Campo (CC), es la cantidad de agua que el suelo es capaz de retener luego de ser saturado y dejado drenar libremente evitando evapotranspiración y hasta que el potencial hídrico se estabilice (tras 24 a 48 horas de la lluvia o riego). El agua ocupando el espacio de los poros más grandes (macroporos) drena hacia capas inferiores bajo la fuerza de gravedad. Los poros más pequeños (microporos) se llenan de agua y los más grandes de aire y agua. El punto de capacidad de campo corresponde a una succión de  $\frac{1}{3}$  bar. Las plantas deben producir una succión hasta 15 bares como máximo. A los 15 bares de succión la cantidad de agua en el suelo se denomina por el Punto de Marchitez Permanente (PMP). A ese punto las plantas pierden la capacidad de succión y siguen perdiendo agua mediante la transpiración. Se pierde la turgencia de la planta resultando en su marchitez. (FAO, 2015).
- ❖ **Textura del suelo:** la textura del suelo se refiere a la proporción de componentes inorgánicos de diferentes formas y tamaños como arena, limo y arcilla; es una propiedad importante ya que influye como factor de fertilidad y en la habilidad de retener agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otras propiedades. Partículas del suelo que superan tamaño de 2,0 mm se definen como piedra y grava y también se incluyen en la clase de textura. Por ejemplo, un suelo arenoso con 20% de grava se clasifica como franco arenoso con presencia de gravas. Cuando predominan componentes orgánicos se forman suelos orgánicos en vez de minerales. (FAO, 2015).
- ❖ **Color del suelo:** depende de sus componentes y varía con el contenido de humedad, materia orgánica presente y grado de oxidación de minerales presentes. Se puede evaluar como una medida indirecta ciertas propiedades del suelo. Se usa para distinguir las secuencias en un perfil del suelo, determinar el origen de

materia parental, presencia de materia orgánica, estado de drenaje y la presencia de sales y carbonato. (FAO, 2015).

- ❖ **Consistencia del suelo:** es la propiedad que define la resistencia del suelo a la deformación o ruptura que pueden aplicar sobre él. Según su contenido de humedad la consistencia del suelo puede ser dura, muy dura y suave. Se mide mediante tres niveles de humedad; aire seco, húmedo y mojado. (FAO, 2015).
- ❖ **Porosidad del suelo:** se refiere al porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos. En general el volumen del suelo está constituido por 50% materiales sólidos (45% minerales y 5% materia orgánica) y 50% de espacio poroso. Dentro del espacio poroso se pueden distinguir macro poros y microporos donde agua, nutrientes, aire y gases pueden circular o retenerse. Los macroporos no retienen agua contra la fuerza de la gravedad, son responsables del drenaje, aireación del suelo y constituyen el espacio donde se forman las raíces. Los microporos retienen agua y parte de la cual es disponible para las plantas. (FAO, 2015).
- ❖ **Densidad del suelo:** mediante la determinación de la densidad se puede obtener la porosidad total del suelo. Se refiere al peso por volumen del suelo. Existen dos tipos de densidad, real y aparente. La densidad real, de las partículas densas del suelo, varía con la proporción de elementos constituyendo el suelo y en general está alrededor de  $2,65 \text{ g/cm}^3$ . Una densidad aparente alta indica un suelo compacto o tenor elevado de partículas granulares como la arena. (FAO, 2015).
- ❖ **Movimiento del agua en el suelo:** el agua fluye en el suelo debido a varios tipos de fuerzas como de gravedad, ascenso capilar y osmosis. Entre fuerzas de succión 0 y  $1/3$  bar el agua fluye en el suelo por las fuerzas de gravedad, este fenómeno se nombra por flujo saturado, fuerzas de succión más elevadas se nombran flujos no saturados. Los flujos de agua se pueden medir en campo mediante la conductividad hidráulica. Se puede obtener información esencial en la circulación del agua en el suelo mediante la descripción de suelos de las clases de drenaje y sus características asociadas (propiedades gléyicas y estágnicas). (FAO, 2015).

### 2.2.5.2 Propiedades químicas del suelo

- ❖ **Capacidad de intercambio catiónico (CIC):** es una medida de cantidad de cargas negativas presentes en las superficies de los minerales y componentes orgánicos del suelo (arcilla, materia orgánica o sustancias húmicas) y representa la cantidad de cationes que las superficies pueden retener (Ca, Mg, Na, K,  $\text{NH}_4$ , entre otros.). Estos serán intercambiados por otros cationes o iones de hidrogeno presentes en la solución del suelo y liberados por las raíces. El nivel de CIC indica la habilidad del suelo para retener cationes, disponibilidad y cantidad de nutrientes a la planta, su pH potencial entre otras. Un suelo con bajo CIC indica baja habilidad para retener nutrientes, arenoso o pobre en materia orgánica. La unidad de medición de CIC es en centimoles de carga por kg de suelo (cmolc/kg). (FAO, 2015).
- ❖ **pH:** es el grado de adsorción de iones ( $\text{H}^+$ ) por las partículas del suelo e indica si un suelo está ácido o alcalino. Es el indicador principal en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, influyendo en la solubilidad, movilidad, disponibilidad y de otros constituyentes y contaminantes inorgánicos presentes en el suelo. El valor del pH en el suelo oscila entre 3,5 (muy ácido) a 9,5 (muy alcalino). Los suelos muy ácidos (<5,5) tienden a presentar cantidades elevadas y tóxicas de aluminio y manganeso. Los suelos muy alcalinos (>8,5) tienden a dispersarse. La actividad de los organismos del suelo es inhibida en suelos muy ácidos y para los cultivos agrícolas el valor del pH ideal se encuentra en 6,5. (FAO, 2015).
- ❖ **Porcentaje de saturación de bases:** en el suelo se encuentran los cationes ácidos (hidrógeno y aluminio) y los cationes básicos (calcio, magnesio, potasio y sodio). La fracción de los cationes básicos que ocupan posiciones en los coloides del suelo se refiere al porcentaje de saturación de bases. Cuando el pH del suelo indica 7 (estado neutral) su saturación de bases llega a un 100 por ciento y significa que no se encuentran iones de hidrógeno en los coloides. La saturación

de bases se relaciona con el pH del suelo. Se utiliza únicamente para calcular la cantidad de limo requerida en un suelo ácido para neutralizarlo. (FAO, 2015).

- ❖ **Nutrientes:** representa su potencial para alimentar organismos vivos. Los 16 nutrientes esenciales para el desarrollo y crecimiento de las plantas se suelen clasificar entre macro y micro nutrientes dependiendo de su requerimiento para el desarrollo de las plantas. Los macronutrientes se requieren en grandes cantidades e incluyen carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno(N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S). Los micronutrientes por otro lado se requieren en pequeñas, su insuficiencia puede dar lugar a carencia y su exceso a toxicidad, se refieren a hierro (Fe), zinc (Zn), manganeso (Mn), boro (B), cobre (Cu), molibdeno (Mo), cloro (Cl). (FAO, 2015).
- ❖ **Carbono orgánico:** la vegetación fija el carbono de la atmósfera por fotosíntesis transportándolo a materia viva y muerta de las plantas. Los organismos del suelo descomponen esta materia transformándola a Materia Orgánica del Suelo (MOS). El carbono se libera de la biomasa para la MOS, en organismos vivos por un cierto tiempo o se vuelve a emitir para la atmósfera por respiración de los organismos (organismos del suelo y raíces) en forma de dióxido de carbono,  $\text{CO}_2$ , o metano  $\text{CH}_4$ , en condiciones de encharcamiento en el suelo. La MOS se encuentra en diferentes grados de descomposición y se distingue en distintas fracciones como lábiles (compuestas de hidratos de carbono, ligninas, proteínas, taninos, ácidos grasos) o fracciones húmicas (ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas).
- ❖ **Nitrógeno:** es uno de los elementos de mayor importancia para la nutrición de las plantas y más ampliamente distribuido en la naturaleza. Se asimila por las plantas en forma catiónica de amonio  $\text{NH}_4^+$  o aniónica de nitrato  $\text{NO}_3^-$ . A pesar de su amplia distribución en la naturaleza se encuentra en forma inorgánica por lo que no se pueden asimilar directamente. Además existen las formas gaseosas del N pero son muy pequeñas y difíciles de detectar como óxido nítrico ( $\text{N}_2\text{O}$ ),

óxido nítrico (NO), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), amoníaco (NH<sub>3</sub>) y nitrógeno molecular presente en la atmósfera del suelo (N<sub>2</sub>). (FAO, 2015).

- ❖ **Salinización:** se refiere a la acumulación de sales solubles en el suelo, estas se pueden encontrar en un nivel freático salino y se transportan con el agua a la superficie mediante ascenso capilar y una vez que el agua se evapora, se acumulan en la superficie del suelo. La salinización elevada en el suelo lleva a la degradación de los suelos y la vegetación. Las sales más comunes se encuentran en combinaciones de los cationes de sodio, calcio, de magnesio y de potasio con los aniones de cloro, sulfato y carbonatos. (FAO, 2015).
- ❖ **Alcalinización:** se define como el exceso de sodio intercambiable en el suelo. A medida que su concentración incrementa en el suelo empieza a reemplazar otros cationes. Los suelos sódicos se frecuentan en regiones áridas y semiáridas y se encuentran muchas veces inestables con propiedades físicas y químicas muy pobres. Debido a ello el suelo se encuentra impermeable disminuyendo la infiltración, percolación, infiltración del agua por el suelo y por último el crecimiento de las plantas. (FAO, 2015).
- ❖ **Contenido de carbonato de calcio:** el carbonato de calcio es una sal poco soluble que se encuentra naturalmente en varias formas y en varios grados de concentración en el suelo, su presencia juega un papel fundamental en la estructura de éste si se encuentra en concentraciones moderadas. Se utiliza como enmienda para neutralizar el pH de suelos ácidos y para suministrar el nivel de calcio (Ca) necesario para la nutrición de las plantas. Sin embargo, puede resultar problemático si su concentración llega a exceder la capacidad de adsorción en el suelo formando complejos insolubles con otros elementos. Estos componentes son difíciles de asimilar por las plantas llevando a su acumulación. Cantidades excesivas de calcio pueden restringir la disponibilidad de fósforo, boro y hierro para las plantas. (FAO, 2015).
- ❖ **Contenido de carbonato de sodio:** en los suelos puede ocurrir la presencia de la acumulación secundaria de yeso (CaSO<sub>4</sub> + 2 H<sub>2</sub>O) extendiéndose

principalmente en regiones muy áridas o donde el lavado del suelo esté restringido a causa de baja permeabilidad. Los suelos afectados por concentraciones elevadas de yeso se han desarrollado en gran mayoría en depósitos no consolidados aluviales, coluviales y eólicos de material meteorizado con alto contenido de bases. Existe una vaga vegetación natural que cubre los suelos con alto contenido de yeso, de hecho se encuentran apenas arbustos y árboles xerófilos y/o hierbas efímeras. (FAO, 2015).

### **2.2.6 Suelo contaminado**

Según el noveno decreto real español establecido en el año 2005, se puede definir lo siguiente como suelo contaminado:

“Es aquel cuyas características han sido alteradas negativamente por la presencia de compuestos químicos de carácter peligroso de origen antropogénico, en concentraciones que superan los Niveles Genéricos de Referencia y que conllevan a un riesgo inaceptable para la salud humana o el medio ambiente, de acuerdo con los criterios y estándares definidos por dicho decreto y que ha sido declarado como tal por la administración competente mediante resolución explícita. Se entienden como Niveles Genéricos de Referencia la concentración de una sustancia contaminante en el suelo que no conlleva un riesgo superior al máximo aceptable para la salud humana o los ecosistemas”.

### **2.2.7 Causas y consecuencias de los suelos contaminados**

#### **2.2.7.1 Causas**

La Agencia de Residuos Española establece algunas de las causas-efectos para la contaminación de suelos. Como causas se citan:

- ❖ **Almacenamiento incorrecto de productos y/o residuos en actividades industriales:** es una de las fuentes de contaminación más usuales. Como ejemplo significativo de este tipo de problema se puede mencionar las fugas en tanques de almacenamiento o los vertidos accidentales en superficies sin impermeabilizar.
- ❖ **Vertidos incontrolados de residuos:** a parte del impacto visual que generan, éstos a partir de los lixiviados de determinados residuos pueden provocar la contaminación del suelo, aguas subterráneas y aguas superficiales. Es por ello que hace falta impedir el abandono de los residuos de cualquier tipo utilizando las instalaciones controladas para su deposición.
- ❖ **Escombros industrial:** a causa del abandono de antiguas actividades industriales se generan restos de edificaciones. Muy frecuentemente estos restos de edificaciones están contaminados como consecuencia de los anteriores procesos industriales y pueden provocar la aportación adicional de contaminación al entorno y suponer un riesgo para las personas que puedan estar en contacto. La gestión del escombros industrial se debe de llevar a cabo con un control adecuado. El desmantelamiento de estos escombros incluye actividades como el vaciado y limpieza de cañerías, tanques y depósitos, la gestión de los posibles residuos almacenados en el emplazamiento, la identificación y retirada controlada de estructuras o instalaciones que contengan material tóxico o peligroso, la demolición y gestión adecuada de los derribos, entre otros.
- ❖ **Bidones enterrados:** el entierro ilegal de bidones con residuos y su deterioro a lo largo del tiempo pueden ocasionar una contaminación del suelo y de las aguas subterráneas debido al trasvase en estos medios del material que contienen.
- ❖ **Almacenamiento incorrecto de productos o residuos:** debido al abandono de antiguas actividades industriales es posible que se hayan abandonado determinados productos y residuos en malas condiciones de almacenaje con el consecuente riesgo de contaminación del suelo y de las aguas, así como la evaporación de compuestos volátiles.

- ❖ **Accidentes en el transporte de mercancías:** de forma accidental pueden producirse vertidos en el transporte de mercancías peligrosas se deben identificar y solucionar con rapidez y eficacia para evitar secuelas de compleja resolución tales como: la contaminación del suelo o de las aguas.
- ❖ **Fugas en tanques u operaciones deficientes:** las pequeñas fugas en tanques enterrados, si se producen en un largo periodo de tiempo, pueden llegar a provocar la pérdida de una gran cantidad de producto con el consecuente riesgo de contaminación del subsuelo y de las aguas subterráneas. Para evitar las fugas y pérdidas, los tanques de almacenamiento deben de mantenerse y controlar con una periodicidad adecuada.
- ❖ **Vertidos incontrolados de aguas residuales:** a partir de los vertidos incontrolados de aguas residuales no tratadas procedentes de industrias, municipios o instalaciones ganaderas, que pueden contener sustancias químicas contaminantes, se puede producir una contaminación del suelo, de las aguas superficiales y de las aguas subterráneas. Es por ello que hace falta utilizar depuradoras y realizar vertidos controlados.
- ❖ **Uso incorrecto de pesticidas y/o abonos:** el uso incontrolado y abusivo de pesticidas y abonos puede provocar una contaminación directa del suelo o de las aguas superficiales debido a la escorrentía superficial o de las aguas subterráneas a partir de la migración de estos productos a través de la zona no saturada.
- ❖ **Alcantarillado antiguo en mal estado:** en un alcantarillado antiguo en mal estado, se pueden dar fugas que pueden provocar la contaminación del subsuelo y de las aguas subterráneas. Múltiples causas pueden acelerar el deterioro de un alcantarillado, por ejemplo, con el continuado vertido de sustancias corrosivas.
- ❖ **Antiguos entierros de residuos:** los antiguos entierros ilegales de residuos ocasionaron en ciertos casos, una contaminación del suelo y de las aguas subterráneas debido a la aportación de determinados compuestos a estos medios. Como por ejemplo antiguas extracciones de áridos envueltos con residuos de

diferentes tipos que con el tiempo y debido a las oscilaciones de los niveles de agua han provocado la contaminación de aguas subterráneas.

- ❖ **Deposición de contaminantes atmosféricos:** las emisiones no controladas de las industrias pueden suponer la aportación a la atmósfera de determinados compuestos que posteriormente por deposición pueden quedar acumulados en el suelo. Se trata de contaminaciones difusas que a menudo abarcan áreas extensas y son de resolución compleja.

#### 2.2.7.2 Consecuencias

- ❖ **Contaminación de las aguas superficiales:** la contaminación de las aguas superficiales (ríos, lagos, embalses o zonas costeras) puede producirse debido al desplazamiento de acuíferos intoxicados hacia ellas o por la aportación de fuentes externas que provienen de emplazamientos contaminados.
- ❖ **Contaminación de las aguas subterráneas:** se produce debido a la migración de contaminantes de la zona no saturada de agua hacia la zona saturada de agua y una vez la contaminación llega a las aguas subterráneas se puede desplazar y provocar sus efectos en puntos alejados de donde se ha suscitado el problema.
- ❖ **Sedimentos del río:** puede producirse debido a la precipitación de los contaminantes de las aguas hacia los mismos. Estas partículas contaminadas a su vez pueden provocar la contaminación de las aguas subterráneas y así alcanzar otros especímenes. Así mismo, la mala gestión de drenaje de estos sedimentos puede provocar la contaminación del suelo allí donde se depositen.
- ❖ **Evaporación de compuestos volátiles:** la evaporación de compuestos volátiles que se encuentran en el suelo y/o aguas subterráneas puede suponer un riesgo de inhalación de contaminantes para las personas y tener diferentes efectos en función de la toxicidad de los compuestos.
- ❖ **Contaminación del aire en el interior de edificios:** la evaporación de compuestos volátiles del suelo y/o de las aguas subterráneas puede provocar su

movilización e introducción en el interior de edificios a través de paredes o conductos, y de esta manera exponer a las personas al riesgo de inhalación de contaminantes. La acumulación de compuestos volátiles suele encontrarse en sótanos de edificios y puede detectarse fácilmente mediante la obertura de un grifo de agua a través del cual se liberan los gases acumulados en la cañería.

- ❖ **Abastecimientos:** la contaminación de las aguas subterráneas puede suponer la contaminación de pozos de abastecimiento para el uso agrícola, industrial o residencial y provocar un riesgo para las personas asociado a la ingestión de agua o a la ingestión de hortalizas regadas con agua contaminada. La complejidad de este efecto radica en que el punto de abastecimiento donde se detectan los efectos de la contaminación puede estar muy lejos del origen de esta contaminación.
- ❖ **Ingestión de tierra contaminada:** la presencia de suelos contaminados en zonas recreativas públicas o jardines particulares domésticos puede provocar un riesgo de contacto con el suelo contaminado y la posibilidad de ingestión accidental de este suelo por parte de niños cuando juegan.
- ❖ **Uso recreativo de aguas superficiales contaminadas:** las aguas superficiales contaminadas en lugares destinados a un uso recreativo pueden suponer un riesgo para las personas asociado al contacto dérmico con el agua, a la ingestión accidental del agua o a la inhalación de vapores.
- ❖ **Peligros en excavaciones:** la realización de excavaciones en terrenos contaminados y con la posibilidad de existencias de bolsas de residuos puede suponer un riesgo para vecinos y operarios, asociado a emanaciones tóxicas, inhalación de compuestos volátiles y/o explosiones de gases.
- ❖ **Contaminación de hortalizas y animales de granja por aguas subterráneas:** la utilización de aguas subterráneas contaminadas para el riego o bien para el consumo en granjas puede tener efectos como el consumo de vegetales regados con agua contaminada, ingestión de agua contaminada, consumo humano de productos contaminados y consumo humano de productos hortícolas contaminados.

### 2.2.8 Contaminación por hidrocarburos

Los procesos de combustión dan lugar a un tipo de contaminación difusa que afecta mayoritariamente a la atmósfera, pero que a causa de procesos de precipitación y lixiviado se puede acumular en suelos y sedimentos (Casellas, Fernández, Bayona, & Solanas, 1995). En cambio, las actividades de producción, transporte y utilización de derivados fósiles dan lugar a emplazamientos definidos, con la posibilidad de la existencia de un alto grado de contaminación. Los hidrocarburos se encuentran en el suelo en forma de mezclas complejas que suelen constituir fases líquidas no acuosas.

Los crudos de petróleo son mezclas formadas por diversos miles de compuestos, mayoritariamente hidrocarburos, formado a partir de la fosilización o diagénesis sufrida por restos orgánicos sometidos a condiciones de elevada presión y temperatura durante miles de años, (Rosini, 1960). Así mismo, contienen derivados hetero-atómicos sulfurados, nitrogenados y oxigenados, en menor medida, y también metales como hierro, vanadio, níquel, en forma de complejos organometálicos. La composición química de crudos procedentes de diversas regiones puede presentar gran variabilidad, aunque siempre son las mismas familias de hidrocarburos, en mayor o menor medida, las presentes en la mezcla de compuestos:

- Hidrocarburos saturados: básicamente n-alcanos e isoprenoides pero también cicloalcanos. Contienen el número máximo de hidrógenos posibles.
- Hidrocarburos aromáticos: mono (con un anillo bencénico) o policíclicos (con más de uno) y/o con sustituyentes alquilados, representan entre un 1 y un 20% de los hidrocarburos totales en la mayoría de crudos.
- Compuestos polares: (resinas y asfaltenos) más pesantes, con azufre, nitrógeno y/o oxígeno y pueden contener también metales.

A partir de la destilación del crudo de petróleo, se producen diferentes fracciones, como se puede observar en la figura 2.3. Conocer las diferencias entre los hidrocarburos que forman estas fracciones es imprescindible para entender su destino ambiental y para prever la dificultad que implicaría en un proceso de biorremediación. Estas diferencias, a nivel estructural, conducen a diferentes comportamientos en relación a la adsorción a las partículas del suelo y solubilidad en el agua, entre otros procesos que harán de la descontaminación, un proceso relativamente complicado y/o costoso. El crudo se destila a temperaturas crecientes y cuanto más elevada es la temperatura, más carbonos tienen los hidrocarburos que se obtienen y diferentes sus usos así como su peligrosidad y recalcitrancia como contaminantes.



**Figura 2.3 Estructuras químicas de componentes mayoritarios en el petróleo**  
Fuente: Lladó (2012)

#### ❖ Suelos contaminados por gasolina

La gasolina forma parte de la fracción ligera del crudo de petróleo, ya que se obtiene a entre 20 y 180 °C, aunque su producción es menos directa que la del diésel y los fueles. Este hecho implica que los suelos contaminados por gasolina son ricos en hidrocarburos de cadena corta ( $C_6-C_{11}$ ) y no en otros de cadena más larga, como en el caso de suelos contaminados por otros derivados del petróleo.

Los componentes más importantes de la gasolina y, por lo tanto, los contaminantes más abundantes en suelos con presencia de esta sustancia son: n-butano, iso-pentano, pentano, mono y dimetil-pentanos, hexano, BTEX, mono y dimetil-hexanos, trimetil-benzenos, metiletil-benzenos, naftalenos y heptano, estos dos últimos en menor grado. Entre ellos, los BTEX generan una gran preocupación medioambiental debido a su toxicidad y relativamente elevada solubilidad en agua.

#### ❖ Suelos contaminados por diésel

El diésel forma parte de la fracción mediana del crudo de petróleo, esto implica un rango de puntos de ebullición entre 200 y 350 °C. Dentro del diésel se encuentran compuestos de entre 10 y 25 átomos de carbono, aunque los más abundantes son los que en tienen entre 15 y 17. En el caso de suelos contaminados por diésel, se encuentran compuestos más pesados que en los suelos contaminados por gasolina. Estos compuestos son: n-alcanos e iso-prenoides (parafinas), ciclo-alcanos (naftenos) y aromáticos. Los más abundantes son los ciclo-alcanos, representando un 45% del total de hidrocarburos del diésel. En general, los alcanos no se considera tóxicos, sin embargo, los compuestos de menor peso molecular pueden causar daños por inhalación o por su acción como disolventes.

#### ❖ Suelos contaminados por aceites minerales

Los aceites minerales son productos muy utilizados en motores, luces e, incluso, como disolventes. Proviene del crudo de petróleo y se obtienen gracias al proceso de refinado. Su composición es una mezcla de hidrocarburos alifáticos y aromáticos. Los aceites minerales se diferencian entre ellos por los rangos de ebullición de los compuestos presentes en su estructura. Los más pesados son ricos en compuestos de entre 25 y 40 carbonos y, por lo tanto, tienen unos rangos de temperatura de ebullición más elevados que los aceites minerales ligeros, más ricos en compuestos de entre 15 y

25 carbonos. Por otro lado, los suelos contaminados con aceites minerales presentan un alto contenido de alcanos alifáticos y cicloalcanos, que son los hidrocarburos que tienen un papel principal en la composición de los aceites minerales, ya que forman parte en un 80-90%, mientras que los compuestos aromáticos solo representan entre un 10 y un 20% del total de hidrocarburos presentes en estos suelos.

#### ❖ **Suelos contaminados por creosota**

La creosota es un producto líquido y viscoso que se utiliza para la conservación de la madera. El producto final, se obtiene por procesos de destilación a entre 200 y 400 °C de alquitranes procedentes de la combustión de carbones minerales grasos, como la hulla. Está formada por, entre, 150 y 200 compuestos diferentes, aunque un 85% de estos compuestos son hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), un 10% son compuestos fenólicos y el 5% restante son compuestos heterocíclicos (Nestler, 1974). El 50% de los PAHs de la creosota son de entre 2 y 3 anillos, es decir, de bajo peso molecular (Mueller, Chapman. & Pritchard, 1989).

##### **2.2.8.1 Fuentes de contaminación por hidrocarburos**

La polución por hidrocarburos se produce de forma frecuente y los orígenes de aparición de sus derivados en el suelo-subsuelo por orden de importancia son:

1. Fuga de depósitos.
2. Vertidos accidentales.
3. Enterramiento de residuos que contienen hidrocarburos.
4. Lavado de aglutinantes de caminos asfaltados.
5. Riegos de caminos de tierra con aceites residuales para evitar el polvo.

Las principales actividades consideradas como fuentes de contaminación de hidrocarburos son:

- Saneamiento in situ (nitratos, bacterias fecales, hidrocarburos sintéticos).
- Gasolineras y talleres automotrices (benceno, otros hidrocarburos aromáticos, fenoles e hidrocarburos halogenados).
- Depósito de residuos sólidos (amonio, salinidad, hidrocarburos halogenados y metales pesados).
- Industrias metalúrgicas (tricloroetileno, tetracloroetileno, otros hidrocarburos halogenados, metales pesados, fenoles y cianuro).
- Talleres de pinturas y esmaltes (tetracloroetileno, alcalobenceno y otros hidrocarburos halogenados).
- Industria de la madera (pentaclorofenol y algunos hidrocarburos aromáticos).
- Tintorerías (tricloroetileno y tetracloroetileno).
- Manufactura de pesticidas (fenoles, arsenico y metales pesados).
- Depósito final de lodos (nitratos, hidrocarburos halogenados, plomo y zinc).
- Curtidurías (cromo, salinidad, hidrocarburos halogenados y fenoles).
- Explotación y extracción de salinidad (hidrocarburos aromáticos).

### **2.2.8.2 Comportamiento del hidrocarburo y su movimiento en el subsuelo**

Un derrame de hidrocarburo, de forma generalizada, lleva consigo una serie de cambios progresivos de sus propiedades físico-químicas. Estos cambios se atribuyen al proceso de intemperización o meteorización el cual se inicia una vez ocurre el derrame y continúa indefinidamente e incluye: evaporación, disolución, dispersión, oxidación, emulsión, sedimentación y biodegradación. La tasa de intemperización varía en función de las características del producto derramado y de las condiciones climáticas existentes en el lugar del derrame. Generalmente va referida a vertidos al aire libre no en el subsuelo, pero en algunos casos el derrame se produce a ras de suelo y de ahí percola hasta los acuíferos, de modo que parte del hidrocarburo percolado puede haber sufrido o sufrir, durante su movilización, este proceso. A continuación se describen brevemente estos cambios:

- ❖ **Evaporación:** al ocurrir, crece la densidad y viscosidad mermando la solubilidad en el agua, reduciendo de esta manera el nivel de toxicidad del producto. A medida que los compuestos más volátiles se evaporan, el producto se hace más pesado y puede llegar a hundirse. A las 24 horas casi el 40% del hidrocarburo se ha evaporado. Estos porcentajes varían de acuerdo al valor de la viscosidad del hidrocarburo, por lo que este proceso de evaporación es muy trascendental en los derrames, en especial si se trata de gasolinas. La evaporación es uno de los factores que determinan el destino del derrame. En las primeras 24 horas ella será la responsable de la pérdida de hidrocarburos de tamaños  $C_6$  a  $C_{13}$ .
- ❖ **Disolución:** este proceso empieza inmediatamente, es de largo plazo y continúa durante todo el proceso de degradación del hidrocarburo. Los compuestos más ligeros son los más solubles en el agua y por lo tanto se convierten en los más tóxicos, por lo que es importante calcular su concentración para estimar los posibles efectos tóxicos.
- ❖ **Oxidación:** La combinación de hidrocarburos con el oxígeno molecular contribuye a la descomposición de éste. Cuanto más aérea expuesta exista, mayor será la oxidación y mayor la velocidad de degradación. La radiación ultravioleta solar produce la oxidación fotoquímica que puede implicar una degradación diaria del 1% del derrame (dependiendo de la intensidad de la radiación solar).
- ❖ **Emulsificación:** es el procedimiento por el cual un líquido se dispersa en otro líquido en forma de pequeñas gotitas, es decir que queda como partículas en suspensión. Es un proceso lento y solo puede ser acelerada por la presencia de cierto tipo de bacterias dentro de la emulsión.
- ❖ **Sedimentación:** este proceso se da cuando el hidrocarburo se intemperiza, provocando un incremento de su densidad respecto al agua circundante y por consiguiente se hunde.
- ❖ **Biodegradación:** mediante este proceso el hidrocarburo desaparece del medio ambiente. Ciertas especies de hongos y otros organismos, especialmente

bacterias, utilizan los hidrocarburos como nutrientes. Como proceso natural es muy lento.

Estos cambios en las propiedades son importantes ya que en términos generales determinarán la toxicidad de los hidrocarburos; y el comportamiento de éstos estará en función de las características físico-químicas, en las que se incluyen: densidad, solubilidad, viscosidad, además de las características del medio que los rodea como son el tipo de suelo, adsorción, permeabilidad, tamaño de las partículas, contenido de humedad y de materia orgánica, profundidad del nivel del agua entre otros.

Es la densidad la característica que determina de forma mayoritaria los procesos de transporte en los acuíferos. Los hidrocarburos presentan una variable degradabilidad como también lo es su comportamiento y la extensión alcanzada una vez en el medio. De forma general, cuando el hidrocarburo es vertido en la superficie, éste se propaga verticalmente hacia el nivel freático y cuando lo alcanza, se va diluyendo, desplazándose según el flujo del agua. Pero la mayor parte de los hidrocarburos se acumulan directamente en el agua y bajo la zona de fuga, extendiendo una pequeña cuña hacia la zona de menor velocidad de flujo. Éstos se van diluyendo hasta alcanzar la saturación irreductible, valor por el cual el hidrocarburo deja de fluir, así mismo el hidrocarburo sufre un rápido desplazamiento en la componente horizontal que se ve frenado a medida que se extiende la mancha.

En el subsuelo el hidrocarburo se presenta disuelto en el agua, en forma de gas y en fase libre, normalmente sobrenadante (hidrocarburo acumulado encima del agua). Hay que tener en cuenta que el nivel freático puede tener oscilaciones muy amplias en función si hay una baja/alta recarga del acuífero o si hay importantes bombeos, ya que estos vaivenes del nivel freático hacen subir y bajar los contaminantes a través del subsuelo. Dependiendo de si el hidrocarburo presenta una alta o baja densidad a las fases en que se encuentran se les llama Dense Nonaqueous Phase Liquid (DNALPs) o

Light Nonaqueous Phase Liquid (LNAPLs) y cada uno de ellos presenta una evolución diferente en el subsuelo.

Los hidrocarburos ligeros (LNAPLs) tienden a formar una capa en forma de nata en el nivel freático y se mueven horizontalmente en la dirección del flujo del agua subterránea. Este es el caso de las gasolinas, aceites y petróleo crudo. Los hidrocarburos pesados (DNALPs) tienden a penetrar por la zona saturada, venciendo las fuerzas de presión de los poros. Debido a la diferencia de densidades y efectos de la capilaridad, el desplazamiento del hidrocarburo dentro de la zona saturada se hace inestable por lo que la migración se produce en forma de ramificaciones. El hidrocarburo también formará una capa sobre el nivel del agua y a partir de ahí saldrán las ramificaciones hacia la base del acuífero.

### 2.2.9 Criterios empleados para el manejo de desechos

Para seleccionar alguna técnica que se pueda emplear en el manejo de desechos se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- ❖ **Características fisicoquímicas de los desechos:** se debe saber si los desechos son líquidos o sólidos, si son peligrosos o no y si contienen alguna sustancia tóxica o radiactiva que pueda categorizar el tipo de tratamiento y disposición a emplear.
- ❖ **Regulaciones ambientales:** comprende las leyes y decretos bajo los cuales deben ejecutarse las actividades petroleras para evitar daños irreversibles al ambiente.
- ❖ **Propiedades del terreno:** en caso que algún tipo de desecho vaya a ser dispuesto en el suelo, deben ser estudiados los rangos y límites establecidos en las legislaciones ambientales para evitar que la solución a la disposición del material resulte un problema mayor.

- ❖ **Técnicas seleccionadas para el manejo de desechos:** se estudia la actividad seleccionada para el tratamiento de los desechos generados, tomando en cuenta que el principal objeto de la empresa operadora en materia ambiental es aplicar una tecnología efectiva al menor costo posible. (Lares, 2001).

### **2.2.9.1 Manejo de desechos petrolíferos**

Mientras no sean dispuestos, los fluidos y ripios de perforación en base agua o aceite y lodos aceitosos, deberán ser almacenados en fosas o tanques. El tamaño, diseño y construcción de los sitios para el almacenamiento deberán ser adecuados al volumen que contendrán para que no presenten riesgos de derrames o infiltraciones. Las fosas que se utilicen para el almacenamiento durante la perforación de pozos, deberán someterse al proceso de sellado en un lapso no mayor de un año después de completada la actividad de perforación, de acuerdo a la evaluación ambiental.

Todo tipo de almacenamiento de cualquier clase de desechos generados en actividades de exploración y producción de petróleo deberá realizarse asegurándose que no presentarán ningún tipo de riesgo para la salud humana o el ambiente. El generador de desechos peligrosos provenientes de las actividades de exploración y producción de petróleo deberá presentar un plan de cumplimiento que garantice que las áreas donde serán almacenados y dispuestos los desechos generados están acondicionadas para dicho proceso, en la zona donde fueron generados o en otra cercana que reúna las condiciones necesarias. (Lares, 2001).

### **2.2.10 Bioindicadores**

Un indicador consistente en una especie vegetal, hongo o animal; o formado por un grupo de especies (grupo eco-sociológico) o agrupación vegetal cuya presencia (o estado) nos da información sobre ciertas características ecológicas, es decir, (físico-químicas, micro-climáticas, biológicas y funcionales), del medio ambiente, o sobre el

impacto de ciertas prácticas en el medio. Se utilizan sobre todo para la evaluación ambiental (seguimiento del estado del medio ambiente, o de la eficacia de las medidas compensatorias, o restauradoras).

Se trata de organismos o sistemas biológicos sensibles a las variaciones en la calidad ambiental. En cuanto se produce una alteración en su entorno, algunos seres vivos desarrollan una determinada respuesta, cambiando sus funciones vitales o su composición química o genética y pueden llegar a almacenar el agente que ha causado ese cambio.

Cuando hablamos de bioindicadores nos referimos a especies que nos permiten deducir alguna característica del medio en el que encuentra. Por lo general, se utilizan como indicadores de la calidad del hábitat; como detectores de presencia, concentración o efecto de la contaminación; como detector de cambios o alteraciones en el medio. Un ejemplo clásico de bioindicador era el canario en las minas. Cuando el canario se moría, se entendía que había aumentado la concentración de los gases tóxicos que componen el grisú.

Los bioindicadores tienen varias maneras de “manifestar su protesta” como puede ser simplemente mediante su presencia o ausencia. Otra forma es mediante malformaciones o mediante la abundancia del indicador. Además de todo esto, algunos seres vivos son capaces de acumular el agente contaminante. Se les llama bioacumuladores.

La mayor ventaja de los bioindicadores es que continuamente están en su hábitat, cosa que un equipo de medición no hace ya que las muestras son tomadas periódicamente, por lo que si en algún instante, por muy corto que sea, tiene lugar algún hecho que pueda afectar al medio ambiente, los indicadores biológicos lo detectarán,

mientras que probablemente los equipos de análisis no estarían operativos y no lo detectarían.

Otra ventaja es que los bioindicadores son organismos vivos. Eso quiere decir que sus respuestas nos indican directamente si se está produciendo algún daño sobre los seres vivos. Midiendo únicamente valores físico-químicos, estos efectos sólo pueden suponerse. (ILBICA, 2012).

#### **2.2.10.1 Tipos de bioindicadores**

- ❖ **Bioindicadores de la calidad del suelo:** es muy común el uso de medidas de la actividad microbiana, sobre todo de bacterias. También se usan especies de plantas con gran resistencia a la contaminación como bioacumuladores. (ILBICA, 2012).
- ❖ **Bioindicadores de la calidad del aire:** se utilizan habitualmente líquenes tanto como bioindicadores como bioacumuladores debido a que carecen de sistema excretor, lo que proporciona medidas muy fiables. (ILBICA, 2012).
- ❖ **Bioindicadores de la calidad de aguas:** se utilizan multitud de organismos como bacterias, protozoos, fitoplancton, musgos, algas, peces y macro invertebrados. Estos organismos permiten medir condiciones del agua como: saturación de oxígeno, condiciones de anoxia, condiciones de pH, estratificación térmica y de oxígeno en la columna de agua, turbulencia del agua y presencia de determinados elementos. Se utilizan generalmente como bioacumuladores los peces por ser el final de la cadena trófica. (ILBICA, 2012).

### 2.2.10.2 Ventajas y desventajas de los bioindicadores

#### ❖ Ventajas

- Bajo costo.
- Presencia histórica.
- Observación de efectos fisiológicos.
- Identificación de fuentes contaminantes.
- Grados de dispersión.
- Sin mantenimiento ni electricidad. (ILBICA, 2012).

#### ❖ Desventajas

- No ofrecen mediciones en momentos puntuales, sino a largo plazos.
- Variación genotípica.
- Variación en la edad.
- Posible exposición previa a ciertos elementos químicos.
- Influencia del suelo. (ILBICA, 2012).

### 2.2.11 Frijol (*Vigna unguiculata*)

El frijol (*Vigna unguiculata*), es una especie dicotiledónea anual perteneciente a la familia de las fabáceas, antiguamente conocida como familia de las papilionáceas. El frijol es una especie que presenta una enorme variabilidad genética, existiendo miles de cultivares que producen semillas de los más diversos colores, formas y tamaños. Si bien el cultivo se destina mayoritariamente a la obtención de grano seco, tiene una importante utilización hortícola, ya sea como poroto verde o como poroto granado. (FENALCE, 2012).

Se consume cocida, al estado cocido en diferentes guisos calientes. Tradicionalmente, ha sido un producto comercializado en vaina o enlatado de amplia

aceptación por el público. Estos se destinan fundamentalmente al mercado fresco y a la industria de alimentos congelados. En el caso de poroto verde, también es de relativa importancia el consumo en forma enlatada. (Ídem).

## **2.3 BASES LEGALES**

La política ambiental en Venezuela se ha caracterizado por promover una gestión que incorpora dentro del desarrollo la variable ambiental, bajo criterios de transectorialidad y con la participación de la sociedad teniendo como norte la fortaleza y bienestar del colectivo, partiendo de esta premisa se han formulado estrategias concertadas con el resto de los diversos sectores: público, privado, con las organizaciones no gubernamentales, estableciéndose así metas de conservación y desarrollo racionales, viables y cónsonas con la realidad nacional.

Asimismo se encuentra fundamentada sobre principios establecidos en un marco legal que establece derechos y deberes de los distintos sectores de la sociedad con respecto al uso, la conservación y la defensa de los recursos naturales y el ambiente. Su objetivo principal es incluir el ambiente dentro del proceso de formulación de políticas que rigen el desarrollo de nuestro país.

### **2.3.1 Constitución de la República Bolivariana de Venezuela**

La Constitución de la República Bolivariana de Venezuela establece en su artículo 127 del capítulo 9 de los derechos ambientales, lo siguiente:

“Es un derecho y un deber de cada generación proteger y mantener el ambiente en beneficio de sí misma y del mundo futuro. Toda persona tiene derecho individual y colectivamente a disfrutar de una vida y de un ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado. El Estado protegerá el ambiente, la diversidad biológica, genética, los procesos ecológicos, los parques nacionales y monumentos naturales y demás áreas de

especial importancia ecológica. El genoma de los seres vivos no podrá ser patentado, y la ley que se refiera a los principios bioéticos regulará la materia”.

“Es una obligación fundamental del Estado, con la activa participación de la sociedad, que garantizará que la población se desenvuelva en un ambiente libre de contaminación, en donde el aire, el agua, los suelos, las costas, el clima, la capa de ozono, las especies vivas, sean especialmente protegidas de conformidad con la ley”.

### **2.3.2 Ley Orgánica del Ambiente (1976)**

Creada en 1976, en Gaceta Oficial N° 31.004, esta ley tiene por objeto establecer los principios rectores con el propósito de proteger el ambiente a través de una política de desarrollo integral de la nación para la conservación y mejoramiento del ambiente en beneficio de la calidad de vida, esta exige que se considere el impacto ambiental en la planificación de proyectos, regulando así cualquier actividad que pueda causar daño al medio, a través del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MPPA). En el caso de actividades de energía, minería y producción de hidrocarburos, este control es ejercido también por el Ministerio del Poder Popular de Petróleo y Minería (MPPPM).

### **2.3.3 Ley Penal del Ambiente (2012)**

Dicha ley determina los delitos ambientales, definidos, de un modo general, como aquellos hechos que violen disposiciones relativas a la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente. También establece las sanciones penales correspondientes a tales delitos. Igualmente, crea sistemas de medidas precautelativas de restitución y reparación, tendientes a minimizar los daños ambientales.

A partir de la antigua Ley Penal del Ambiente (1992) se han derivado diferentes decretos aplicables a los procesos productivos que pueden ocasionar daños al ambiente, con el fin de lograr la conservación, defensa y mejoramiento del mismo, para así llegar a implementar un desarrollo sustentable del país.

Algunos de los decretos a los que la actividad petrolera está sometida de acuerdo a la Clasificación Industrial Internacional Uniforme de las Naciones Unidas “Producción de Petróleo Crudo y Gas Natural” son los siguientes:

❖ **Decreto 2216 (1992) “Normas para el Manejo de los Desechos Sólidos de Origen Doméstico, Comercial, Industrial o de Cualquier otra Naturaleza que no sean Peligrosos”**

El objetivo principal de este decreto es regular las operaciones de manejo de desechos sólidos de cualquier naturaleza que no sean peligrosos, con el fin de evitar riesgos a la salud y al ambiente.

❖ **Decreto 1257 (1996) “Normas para la Evaluación de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente”**

Este decreto tiene como objetivo principal establecer los procedimientos necesarios para la realización de una evaluación ambiental, la cual se llevará a cabo en todos los proyectos presentados ante el Ministerio del Ambiente que puedan involucrar actividades susceptibles de degradar el ambiente.

❖ **Decreto 2635 (1998) “Normas para el Control de la Recuperación de Materiales Peligrosos y el Manejo de los Desechos Peligrosos”**

Este decreto tiene por objeto regular la recuperación de materiales y el manejo de desechos, cuando los mismos presentan características, composición o condiciones

peligrosas representando una fuente de riesgo a la salud y al ambiente. El decreto está modificado para dar orientación en cómo se debe manejar la generación, el transporte y la disposición o tratamiento de desechos peligrosos. Dentro de este decreto, se encuentra el Capítulo III del manejo de los desechos peligrosos de actividades de exploración y producción de petróleo y de exploración y explotación de minerales, el cual contempla en la sección II, los artículos que se refieren a los parámetros que se deben seguir para llevar a cabo las actividades de disposición y/o recuperación de los materiales generados durante la exploración y producción de petróleo. Dichos artículos se citan a continuación:

- **Artículo 48:** los ripios y fluidos de perforación elaborados en base agua se podrán disponer conforme a las siguientes prácticas:
  - Confinamiento en el suelo.
  - Esparcimiento en suelos.
  - Disposición final en cuerpos de agua superficiales.
  - Inyección en acuíferos no aprovechables, yacimientos petroleros o acuíferos asociados.
- **Artículo 53:** la práctica de biotratamiento se llevará a cabo cumpliendo las siguientes condiciones:
  1. Contenido de hidrocarburos biodegradables en el desecho entre 1% y 10%.
  2. El desecho no exceda las concentraciones máximas permisibles en lixiviados establecidas.
  3. El desecho tenga un pH entre 6-8.
  4. Para la aplicación de la técnica de biotratamiento sobre el suelo arable:
    - El área del terreno debe estar conformada por suelos de textura franca, franco arenosa, franco limosa, franco arcillosa o acondicionado artificialmente.
    - La profundidad del nivel freático debe ser mayor de 4 metros.
    - El área del terreno no debe ser inundable.

### 2.3.4 Ley N° 55 sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos (2001)

Esta ley tiene por objeto regular la generación, uso, recolección, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de las sustancias, materiales y desechos peligrosos, así como cualquier otra operación que los involucre, con el fin de proteger la salud y el ambiente. Publicado en la gaceta oficial N° 5.554 Extraordinario, de fecha 13/11/2001.

### 2.4 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

**Abiótico:** se define como aquello que no es biótico, es decir, que no forma parte o no es producto de los seres vivos, como los factores inertes: climático, geológico o geográfico, presentes en el medio ambiente y que afectan a los ecosistemas. DRAE (2001).

**Asfaltenos:** son una familia de compuestos químicos orgánicos, resultan de la destilación fraccionada del petróleo crudo y representan los compuestos más pesados y por tanto, los de mayor punto de ebullición. (Altgelt, 1994).

**Antropogénico:** se refiere a los efectos, procesos o materiales que son el resultado de la actividad humana, a diferencia de los que tienen causas naturales, es decir, sin influencia humana, normalmente se usa para describir contaminaciones ambientales de desechos físicos, químicos o biológicos como consecuencia de las actividades económicas. DRAE (2001).

**Derrame:** vertido de hidrocarburos que contamina al ambiente, se produce debido a un accidente o práctica inadecuada. (Bernal, 2015).

**Degradación del suelo:** cambio en la salud del suelo ando en una disminución de la capacidad del ecosistema para producir bienes o prestar servicios para sus beneficios. (Bernal, 2015).

**Edáfico:** del suelo o relativo a él, especialmente en lo que se refiere a las plantas. (FAO, 2015).

**Hidrófobo:** sustancias repelidas por el agua, que no pueden tener contacto o mezclarse con ella. (Torres y Zuluaga, 2009).

**Horizonte:** capa de suelo paralela a la superficie de la tierra que tiene características distintivas, producto de los procesos físicos, químicos y biológicos, de formación del suelo. (Bernal, 2015).

**Lixiviación:** es un proceso en el cual se extrae uno o varios solutos de un sólido, mediante la utilización de un disolvente líquido. Ambas fases entran en contacto íntimo y el soluto o los solutos pueden difundirse desde el sólido a la fase líquida, lo que produce una separación de los componentes originales del sólido. (Bernal, 2015).

**Meteorización:** es la desintegración y descomposición de una roca en la superficie terrestre o próxima a ella como consecuencia de su exposición a los agentes atmosféricos, con la participación de agentes biológicos. (Torres y Zuluaga, 2009).

**Organismos heterótrofos:** son aquellos que transforman la materia orgánica procedente de otros seres vivos en nutrientes y energía que utilizan para vivir. DRAE (2001).

**Percolación:** Se refiere al movimiento y filtración de fluidos a través de materiales porosos no saturados. Por ejemplo el movimiento de un solvente a través de

papel filtro (cromatografía) y el movimiento de petróleo a través de una roca fracturada. (Torres y Zuluaga, 2009).



## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El desarrollo de esta investigación se consideró de tipo explicativo, dado a que a través del mismo se evaluó como la polución de los suelos aledaños a la fosa de desechos de los laboratorios del Departamento de Ingeniería de Petróleo afecta sobre la germinación, desarrollo y sobrevivencia de plantas de frijol (*Vigna unguiculata*), con esto se estableció el precedente de si estos requieren de estrategias de saneamiento y/o remediación que disminuyan tal impacto. Lo afirmación anterior se encuentra avalada mediante el desglose de los resultados provenientes de diversas pruebas de laboratorio, así como el monitoreo continuo del comportamiento y evolución de los espectros bioindicadores.

En lo concerniente Arias. (2006) afirma:

Es aquella que 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 postfacto), como de los efectos (investigación experimental), mediante prueba de hipótesis. (p. 26).

#### **3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

El diseño del estudio se asumió como experimental, se tomaron muestras de suelo en la periferia de la fosa con distintos grados de contaminación (dado por el porcentaje de aceites y grasas), además de muestras de suelos vírgenes no alcanzadas por la acción académica, así como también estimuladas (con fertilizantes químicos). Se evaluó en

estos tres escenarios la capacidad de germinación de plantas de frijol, su altura, mortalidad, número de hojas y diámetro del tallo, determinándose así los efectos de la presencia de hidrocarburos en la salud edáfica de la matriz.

Arias, (2006), define al diseño experimental de la siguiente manera:

“Es un proceso que consiste en someter a un objeto o un grupo de individuos a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente)”. (p. 31).

### **3.3 SISTEMA DE HIPÓTESIS**

Arias, (2006, p. 47), define a la hipótesis como “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”. Basándose en esta premisa se planteó la hipótesis que sostiene que la planta de frijol (*Vigna unguiculata*), sirve como agente bioindicador de los niveles de polución edáficos derivados de la actividad antropogénica en la Universidad de Oriente, ésta fue evaluada a través de pruebas de laboratorio, inspecciones visuales y análisis estadísticos.

### **3.4 DEFINICIÓN DE VARIABLES**

El estudio contó con un diseño multifactorial de bloques al azar de matriz “N x M”, donde “N” simboliza las muestras del suelo y sus lecturas respectivas de aceites y grasas, mientras que “M” el número de repeticiones. En primer lugar se generó una matriz de 5x3, es decir, cinco escenarios distintos con sus tres repeticiones. Anexo a ellas se empleó una vez más el diseño a la muestra patrón de suelo virgen (o sin contaminación a causa de la fosa) dando una matriz de 2x3, es decir, dos escenarios

(estado natural y estimulado con fertilizante), los cuales, al igual que el caso anterior contaron con el mismo número de repeticiones. De acuerdo con Arias (2006), el diseño experimental consiste en lo siguiente:

“En el diseño de bloques completos al azar, los bloques son conjuntos de unidades experimentales dispuestas o seleccionadas con anterioridad a la asignación de tratamientos, de modo que la variabilidad existente es minimizada dentro de los bloques y maximizada entre los mismos. Los tratamientos se asignan aleatoriamente el mismo número de veces a las unidades experimentales dentro de un bloque.” (p. 65).

### **3.5 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO**

A continuación se describen el grupo de normas estandarizadas, manuales de equipos de laboratorio y practicas ejecutadas para la consecución de cada uno de los objetivos específicos que demarcan la hipótesis de prueba.

#### **3.5.1 Caracterización de las muestras de suelo que presentan influencia directa con los desechos vertidos en la fosa**

Para delimitar estadísticamente al estudio se realizó una evaluación *ex situ* con muestras tomadas alrededor de la fosa, dicretizándose el área de cinco metros cuadrados en cinco zonas. En cada una de estas muestras se tomaron tres ejemplares de manera aleatoria dentro del segmento asignado, estos fueron mezclados previo a su deposición en los contenedores con el fin de obtener una muestra compuesta, homogénea y representativa. Este proceso de captación matricial se reprodujo en los espacios limítrofes a la zona de daño, generando muestras no contaminadas referenciales, este grupo fue subdividido en ejemplares contaminados, vírgenes y estimulados (con agentes orgánicos).

Los procesos empleados en la captación, adecuación y caracterización de las muestras se desglosan a continuación; es de importancia puntualizar que existe un compendio de propiedades determinadas a lo largo y ancho del espacio muestral que mantendrían sus lecturas constantes independientemente de si estén contaminadas o no, este fenómeno ocurre debido a su perfil intensivo, es decir, las mismas son inconsecuentes a la acción de los elementos oleaginosos debido a que sus conductas dependen de la naturaleza de la matriz rocosa y no de los fluidos.

- ❖ **Selección de la matriz:** la toma de las muestras de suelo pertenece al sector suroeste de la Universidad de Oriente, Núcleo Monagas, en el área limítrofe a la fosa de desechos inorgánicos, emplazándose adyacente a los laboratorios de investigación petrolíferos, las coordenadas: 9°43'23,9" N / 63°11'26,0" O reflejan el punto exacto de su ubicación.
- ❖ **Toma y traslado de muestras:** las muestras de suelo de aproximadamente 4,5 kg cada una, fueron extraídas con una pala genérica a una profundidad aproximada de 90 cm y dispuestas en envases plásticos desinfectados e identificados. De manera seguida fueron dispuestos en módulos refrigerados y trasladados al laboratorio de suelos de la Universidad de Oriente, Núcleo Monagas.
- ❖ **Preparación de las muestras:** para el análisis de las muestras de suelo, se posicionaron 700 g de las mismas en cada una de las dieciocho (18) bandejas elegidas para el estudio, éstas fueron de aluminio con 30 cm de largo por 20 de ancho, derivando entonces en un total de tres componentes en estudio: suelo virgen (patrón), suelo contaminado y suelo estimulado.

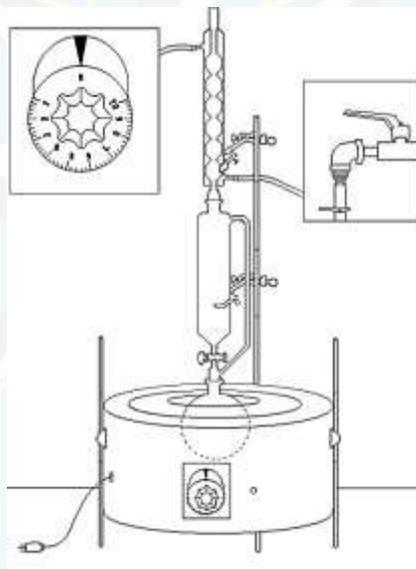
De acuerdo a lo señalado por Días y Salazar (2016); los cuales a su vez citan a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agronomía (FAO, 2015): el sistema taxonómico de suelos adoptado en Venezuela fue la séptima aproximación de la clasificación de suelos realizada por Estados Unidos (*USDA Soil Taxonomy*).

Según este sistema, el país cuenta con nueve de los doce tipos de suelos existentes en el planeta. Para el caso de la región monaguense el tipo de suelo dominante es el de orden ultisol, este tipo de matriz se reconoce por tener un horizonte argílico (es decir, suelo enriquecido con arcilla), de poco grosor y un bajo porcentaje de saturación, de base generalmente inferior al 25% dentro de la sección de control de perfil edáfico. Bajo este precedente se procedió a la caracterización de las muestras bajo el siguiente umbral de normas y metodologías (las mismas se detallan a profundidad en el apéndice A).

- ❖ **Densidad aparente:** la práctica fue realizada con el equipo Uhland, a través de la norma COVENIN 269-98.
- ❖ **Densidad real:** propiedad obtenida por medio del picnómetro, de acuerdo a lo prescrito por la norma NF P94-054.
- ❖ **pH:** estimado a través de un potenciómetro, siguiendo las prácticas plasmadas en la norma ASTM D664.
- ❖ **Carbono orgánico:** propiedad determinada empleando la norma EPA 9060, utilizando para ello un colorímetro.
- ❖ **Nitrógeno:** parámetro calculado mediante la estandarización del método Kjeldahl plasmado en la norma COVENIN 1138-18.
- ❖ **Fósforo:** estimado por medio de la metodología Pyerzynski, utilizando al bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ) como indicador.
- ❖ **Capacidad de intercambio catiónico:** se recurrió a la norma EPA 9080 y su metodología para la estimación del parámetro mediante el uso de acetato amónico.
- ❖ **Conductividad eléctrica:** estimado gracias al empleo de un conductímetro, siguiendo los lineamientos de la norma ASTM D1125 (1995).
- ❖ **Textura:** fue obtenida gracias a los lineamientos promovidos por la metodología Bouyoucos.

- ❖ **Equivalente de humedad:** lograda por medio de la norma ISO 11465, método gravimétrico mediante el secado en estufa a 101 °C.

El desarrollo del objetivo concluyó con la aplicación de la norma EPA 9071B, fundamentada en la extracción de los hidrocarburos contenidos en las matrices de suelo contaminadas por medio de un equipo de recirculación continua soxhlet, usándose el n-hexano como solvente extractor. Posterior a ello se implementó la práctica de cuantificación gravimétrica (EPA 1664), mediante la balanza analítica, donde las muestras extraídas (contaminadas, vírgenes y estimuladas) fueron pesadas antes y después de la circulación con n-hexano.



**Figura 3.1 Diagrama del equipo de recirculación continua por Soxhlet**  
**Fuente: Álvarez y Burgos (2012)**

### **3.5.2 Determinación del grado de afectación del suelo sobre la germinación de las semillas de frijol**

La fase de siembra y seguimiento, así como de las propiedades de las plantas de frijol implantadas en los suelos adyacentes a la fosa de desechos consistió en el

monitoreo del proceso de germinación de las plantas indicadoras en las bandejas con los distintos extractos de suelos. Dicho proceso se encontró constituido por varias fases:

1. Absorción de agua por la semilla o imbibición.
2. Activación del metabolismo y proceso de respiración, síntesis de proteínas y movilización de sustancias de reserva.
3. Elongación del embrión y ruptura de la testa (a través de la cual se observa salida de la radícula).

La germinación está influenciado tanto por factores internos como externos. Dentro de los factores internos se pueden mencionar: la viabilidad del embrión, la cantidad y calidad del tejido de reserva y los diferentes tipos de dormancia. Algunos de los factores externos que regulan este proceso son el grosor de la testa, presencia de agua *in situ*, temperatura y tipos de luz. El establecimiento de la biología y fisiología de las semillas es de vital importancia para el hombre, ya que la mayoría de las especies cultivadas como los cereales son propagadas a partir de semillas sexuales (Callupe, 2018). La de absorción de agua por la semilla se da por las diferencias de potencial hídrico (mátrico) entre la semilla y la solución de imbibición. Este proceso consta de tres fases:

- Incremento rápido en la absorción de agua.
- Fase de estabilización y movilización de nutrientes.
- Absorción de agua que generalmente coincide con el proceso de germinación.

Para sintetizar la cuantía de brotes se determinó el rendimiento porcentual de plántulas nacidas en función de las semillas diseminadas; para la tasa de germinación se relacionó el número total de aparición de radículas dentro del plazo temporal de observación; por último la tasa de mortalidad vino dada por la sumatoria del número de semillas no desarrolladas dentro del tiempo de duración de la prueba.

### **3.5.3 Estudio el desarrollo de las plantas en cuanto a sus características morfométricas de las plantas de frijol (altura de la planta, diámetro a nivel de la base, número de hojas y longitud de las raíces) sembradas en muestras de suelos aledaños a la fosa**

En esta etapa de la investigación se dispusieron las dieciocho bandejas con muestras de suelos con los germinados de frijol (*Vigna unguiculata*) -seis unidades de simientes por cada bandeja, distribuidas a una distancia próxima a los veinte cm entre sí-. El grupo de granos escogidos presentaron una estructura fenotípica nominal (sin roturas, ausencia de orificios y no refrigerados). Cada unidad de estudio contó con riegos bajo iguales condiciones de volumetría, así como radiación solar cronometrada, la periodicidad del mantenimiento fue de 72 horas, esto con la finalidad de conservar igual proporción de humedad en todos los espectros. Las inspecciones morfométricas se realizaron semanalmente por un plazo de 42 días, asumiendo como factores analíticos a los siguientes rasgos biológicos:

- ❖ **Altura de la plántula:** medida por medio de una cinta métrica desde el nivel del suelo hasta la yema apical de la planta.
- ❖ **Perímetro de la base:** se obtendrá por medio de un vernier a un centímetro del nivel del suelo.
- ❖ **Número de hojas:** se contarán visualmente de la cantidad de hojas en cada planta.
- ❖ **Longitud de la radícula:** se medirá al final del ensayo con una cinta métrica al sacar las plantas de las bandejas.

Con el seguimiento de estas propiedades se pudo observar el efecto colateral que provoca la actividad académica en la zona. Los germinados del suelo afectado fueron promediados y confrontados con los pertenecientes al suelo virgen y estimulado con la finalidad de tasar si existe agentes fitotóxicos en las cercanías de la fosa. Cabe destacar

que aquellas muestras donde la hipotética severidad de la polución impidió el desarrollo de los núcleos vegetales fueron descartadas sistemáticamente y remitidas a posteriori a la población muerta.

Por último se realizó una segunda comparación (siendo esta vez estadística) permutándose una vez más las características de las plantas en los suelos no contaminados y estimulados junto con las plantas de los suelos degradados por la fosa, esto con el fin de comprobar si existe poblacionalmente simetría numérica entre las conductas; utilizándose para ello la prueba de múltiples rangos en el programa STATGRAPHICS CENTURION XVI. También se llevó a cabo un cotejo de proporcionalidad lineal entre los rasgos fenotípicos de las plantas y su correspondiente porcentaje de aceites y grasas a través del coeficiente de correlación de Pearson para determinar si existe relación entre la presencia de crudo y las variaciones morfométricas observadas.

### **3.6 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **3.6.1 Técnicas**

Arias (2006), alega que “se entenderá por técnica, el procedimiento o forma particular de obtener datos o información”. (p. 67). En tal sentido, las técnicas para la recolección de datos consistieron en:

- ❖ **Observación directa:** la técnica más empleada, el registro continuo de las pruebas de laboratorio y la evolución de los bulbos, permitió garantizar la verosimilitud de los resultados y una adecuada interpretación de los mismos.
- ❖ **Recolección de información:** se realizó un reconocimiento y recopilación de material bibliográfico dispuesto en su mayoría en trabajos de investigaciones, publicaciones científicas y leyes ambientales.

- ❖ **Entrevistas no estructuradas:** se buscó asesorías con ingenieros agrónomos, estudiantes de grado de la universidad y personal técnico debidamente calificado, lo cual permitió corregir y demarcar el conocimiento demandado por el estudio.
- ❖ **Pruebas de laboratorios:** a través de las pruebas regidas por las normas estandarizadas vigentes se logró la consecución de la data necesaria para la evaluación crítica y objetiva de la conducta de los germinados.

### **3.6.2 Instrumentos**

Un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital) que se manipula para obtener, registrar o almacenar información. (Arias, F. 2006, p. 69).

Para el cumplimiento de los objetivos se necesitó utilizar un considerable número de herramientas; en el caso de la información teórica se requirieron: libretas, unidades de almacenamiento masivo virtual, computadoras, grabadoras, textos especializados, redes inalámbricas, teléfonos celulares, cámaras digitales, entre otros. Para la captación de la información experimental fueron utilizados los equipos de laboratorio dispuestos en los laboratorios de pedagogía e investigación de la Universidad de Oriente; Núcleo Monagas.

## **3.7 RECURSOS**

### **3.7.1 Recursos humanos**

La realización de esta investigación fue posible gracias al apoyo y asesoría académica del profesorado, estudiantado y el personal técnico que reside en la Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, los laboratorios de suelos y forrajes del Postgrado

en Edafología Tropical y la Escuela de Agronomía de la Universidad de Oriente; Núcleo Monagas.

### **3.7.2 Recursos materiales**

Para la caracterización de las muestras de suelo y pruebas en general se contó con un compendio de recursos y materiales como: químicos reactivos, bandejas de aluminio, contenedores refrigerantes, semillas bioindicadoras (*Vigna unguiculata*), agua desionizada y fertilizante orgánico.

### **3.7.3 Recursos financieros**

Todos los gastos generados durante la elaboración de la presente investigación fueron a expensas de los recursos de los investigadores.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS DE SUELO QUE PRESENTAN INFLUENCIA DIRECTA CON LOS DESECHOS VERTIDOS EN LA FOSA

En la tabla 4.1 se muestran el compendio de propiedades determinadas a través de la caracterización físico-química de las muestras de suelo tanto contaminadas, sin contaminar y estimuladas.

**Tabla 4.1 Propiedades de las muestras de suelo analizadas**

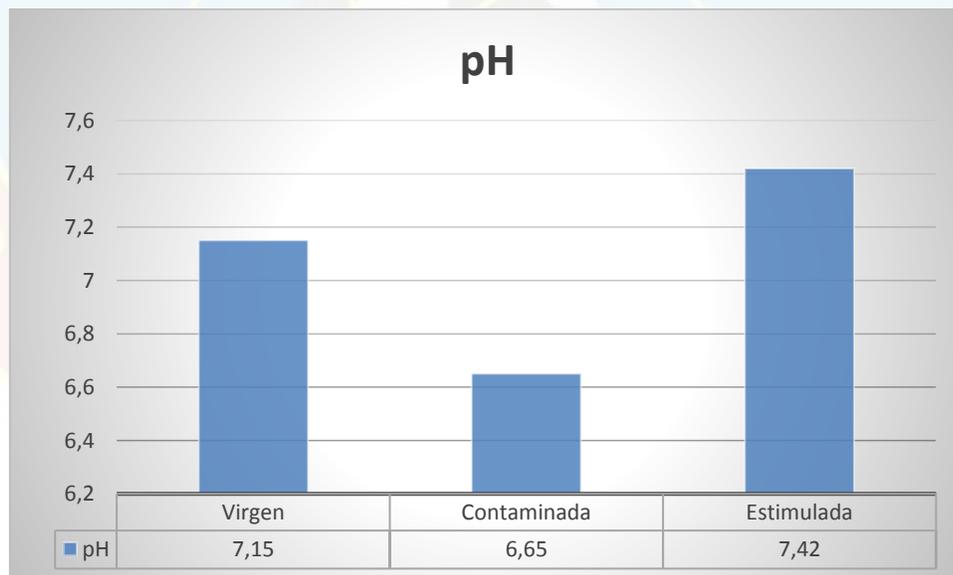
Propiedad	Unidad	Z. Virgen	Z. Contaminada	Z. Estimulada
<b>pH</b>	-	7,15	6,65	7,42
<b>Conductividad Eléctrica</b>	dS/m	0,136	0,497	0,145
<b>Materia Orgánica</b>	%	2,6	2,88	5,73
<b>Carbono Orgánico</b>	%	1,5	1,59	3,32
<b>Nitrógeno</b>	%	0,03	0,03	0,124
<b>Densidad Aparente</b>	g/cm <sup>3</sup>	1,84	1,485	1,510
<b>Densidad Real</b>	g/cm <sup>3</sup>		1,93	
<b>Equivalente de Humedad</b>	%		12,69	
<b>C.I.C.</b>	meq/100g		8,05	
<b>Aluminio Intercambiable</b>	meq/100g		Trazas	
<b>Textura</b>	-		Franco-Arenosa	

**C.I.C.:** Capacidad de intercambio catiónico

#### 4.1.1 Caracterización de las distintas muestras de suelo extraídas

##### ✓ pH

El pH de la matriz de suelo se encontró comprendido entre 6,65 y 7,42 unidades catalogándolo como neutro-alcálico, de acuerdo con la FAO (2015), los suelos productores venezolanos presentan lecturas de potencial de hidrogeno que oscilan entre 4,9 y 7,5; siendo estos en su mayoría neutros o ligeramente básicos. El pH mide la capacidad alcalina de los suelos en función de los iones hidroxilos, la cual permite inferir sobre la existencia de determinadas sustancias que afecten la condición de los mismos. (Foth, 1991). El parámetro en este caso fue usado como indicador edáfico; puesto que la variación del pH armoniza con el contenido de materia orgánica. En el gráfico 4.1 se aprecia que en la zona de polución las lecturas decrecen de forma considerable hasta llevarlas a un rango ácido, lo cual puede afectar el desarrollo de las radículas de forma inmediata y consecuentemente la plántula a largo plazo.

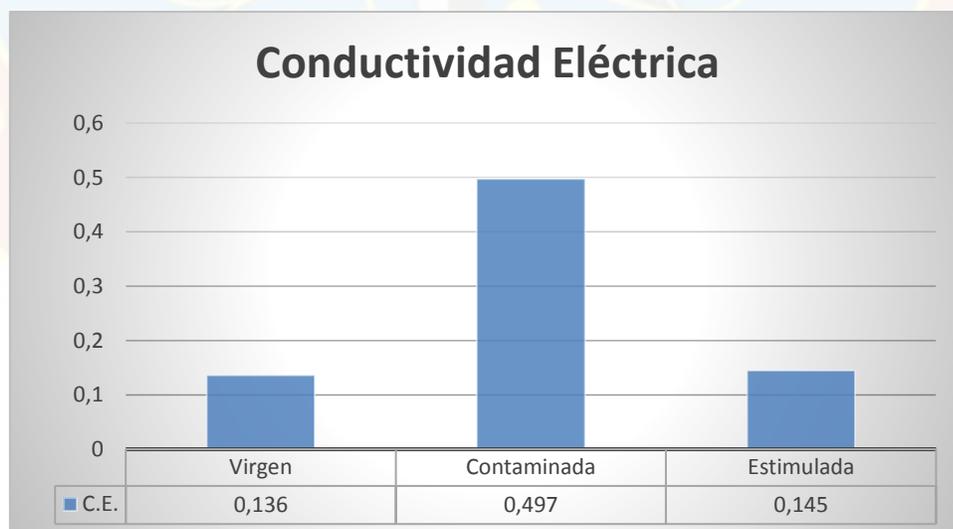


**Gráfica 4.1 pH de las muestras de suelo analizadas**

### ✓ Conductividad eléctrica (25,8 °C)

La conductividad eléctrica para la zona virgen fue de 0,136 dS/m, lo cual de acuerdo a los rangos operacionales promovidos por los laboratorios especializados de la Universidad de Oriente (apéndice B), califica a la muestra como de calidad salina “muy ligera”, es decir, no afectaría negativamente la reproducción edafológica del medio. La percolación continua de materiales de diversas naturalezas químicas ha trastornado relativamente a la muestra periférica a la fosa, aumentando su salinidad hasta 0,497 dS/m impactando negativamente en la receptividad vegetal del área, esto debido a que el estímulo mineral deriva de las sales causticas empleadas en las evaluaciones de fluidos de perforación base agua.

La zona estimulada también experimentó un incremento en el parámetro (gráfica 4.2), el cual no fue tan significativo como en el caso de la zona contaminada, no obstante, este cambio obedece a los bioestimulantes empleados en las muestras, los cuales reportan sales altamente solubles y prospectivas para el desarrollo edáfico, al elevar la temperatura del suelo contribuyendo a la correcta formación de radículas.



**Gráfica 4.2 Conductividad eléctrica de las muestras de suelo analizadas**

### ✓ **Materia orgánica**

“Los efectos tóxicos de los hidrocarburos sobre la materia orgánica dependerán de la cantidad y composición del agente; la frecuencia y tiempo de exposición; el estado físico del derrame; las características del sitio donde sucedió el derrame; variables ambientales como temperatura, humedad y oxígeno, y sensibilidad de la biota específica del ecosistema impactado”. (González y Rojas, 2017 en referencia a Gavilán, Ize y Ortínez, 2003). Las muestras de suelo contaminadas se apreciaron excitadas por la actividad académica, incrementando su contenido orgánico desde un 2,6% hasta 2,88%, no obstante, ambas lecturas insuficientes para el desarrollo óptimo y acelerado de radículas.



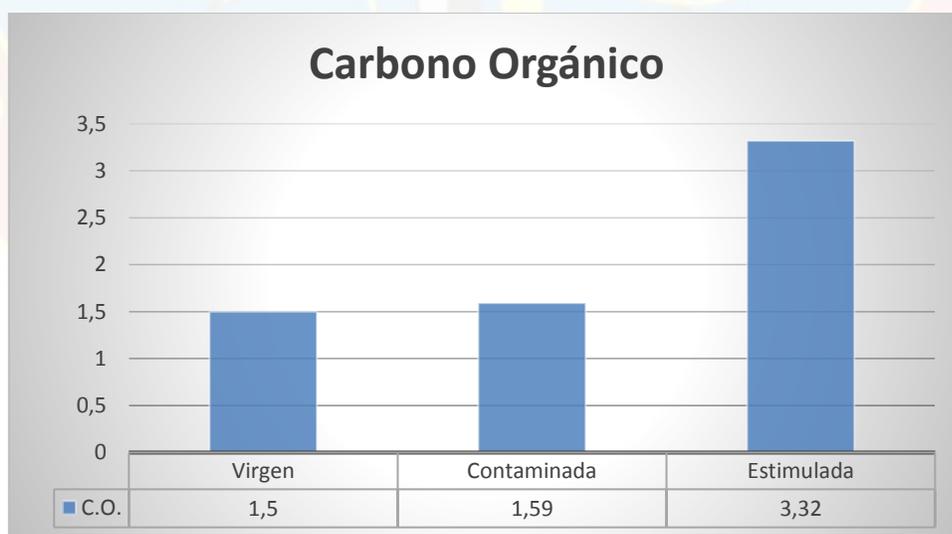
**Gráfica 4.3 Materia orgánica de las muestras de suelo analizadas**

La FAO continuamente en sus publicaciones científicas sostiene que un suelo edafológicamente saludable debe presentar lecturas superiores al 5% de materia orgánica, conducta reflejada en la muestra estimulada (5,73%). Aunque es válido recordar que tal afirmación se realiza bajo estándares de producción y no en líneas estándar y extrapolables.

### ✓ Carbono orgánico

El suelo en estudio ostentó un contenido de carbono su zona virgen de 1,5%, la lectura hace referencia a los restos vegetales y animales que por la acción de los organismos coexistentes en la misma matriz y de aquellos que interactúan en su superficie son convertidos en una materia rica en reservas de nutrientes para las plantas, asegurándole de esta manera la disponibilidad de macro y micronutrientes. (Días y Salazar, 2016).

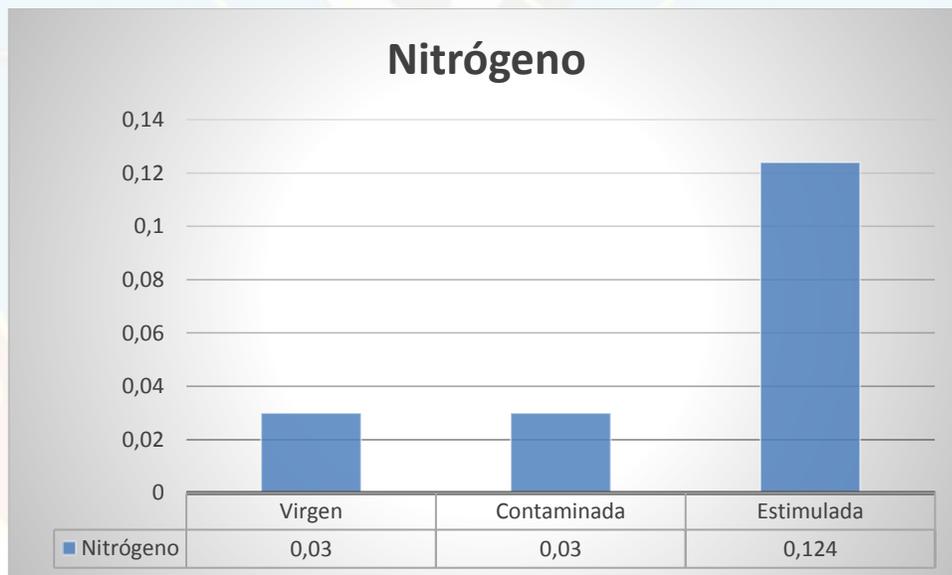
El parámetro es análogo a la propiedad anterior puesto a que el carbono es el principal constituyente en el contenido orgánico, es por ello, que se observa una interacción proporcional a la misma aunque en menor intensidad (gráfica 4.3). Las garantías otorgadas por esta característica para un correcto desarrollo edáfico inducido son limitadas mas no descartables, motivado a que la planta en estudio no demanda un considerable consumo de material carbonatado. Posterior al estímulo con los agentes comerciales la lectura en el parámetro incrementó a 3,32% (gráfica 4.4); proyectando una mejora sustanciosa al hipotético desarrollo del espectro vegetal en estudio.



**Gráfica 4.4 Carbono orgánico de las muestras de suelo analizadas**

### ✓ Nitrógeno

El contenido de nitratos y elementos asociados fue de 0,03% tanto para la zona virgen como para la zona contaminada, en estricta definición para la FAO el valor es considerado exiguo para la correcta reproducción de la vida vegetal. El nitrógeno es un macro-elemento esencial para el crecimiento de las plantas; el elemento participa en los procesos metabólicos de los organismos vegetales, tales como la fotosíntesis, la transferencia de energía, así como en la síntesis y degradación de los carbohidratos. La propiedad emplaza a la muestra en una coyuntura nutricional, por lo cual, el estímulo mineral sería necesario para garantizar la subsistencia de especímenes alimenticios (incrementándose la lectura a 0,124% posterior al aporte, tal como se aprecia en la gráfica 4.5).



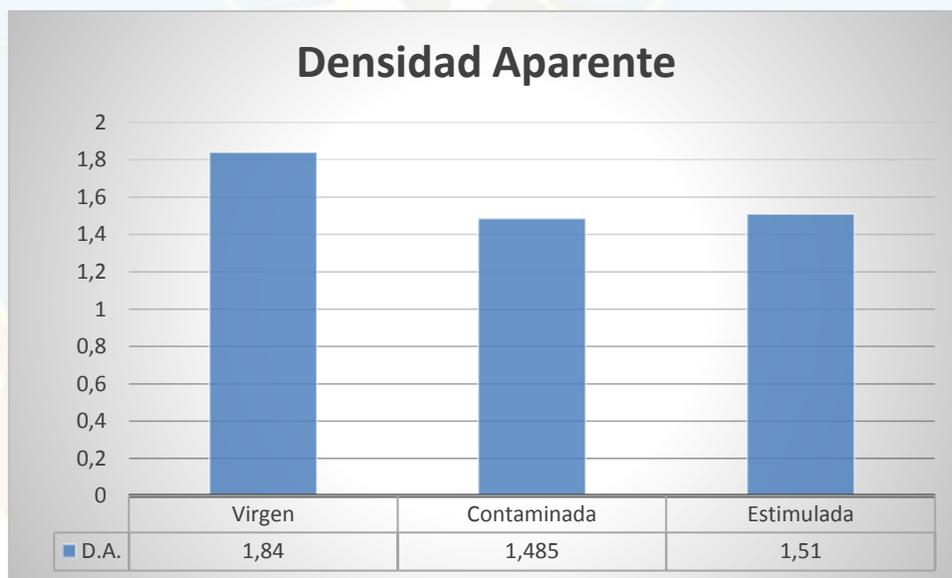
**Gráfica 4.5 Nitrógeno de las muestras de suelo analizadas**

### ✓ Densidad aparente

La lectura arrojada por la muestra de suelo virgen fue de 1,84 g/cm<sup>3</sup>, es decir por cada cm<sup>3</sup> evaluado existe 1,84 g de peso seco, este parámetro es un indicador de la

compactación de suelo y por consiguiente de la salud del mismo. La infiltración de agua de esta zona es menor que la contaminada ( $1,485 \text{ g/cm}^3$ ), no obstante, se descarta que el desarrollo radicular se más propicio en esta última, puesto que el aumento de la percolación es por la actividad científica y la naturaleza de los eflujos es en su mayoría hidrocarburífera, lo cual incidiría de forma negativa sobre sus alcance edáfico.

La densidad aparente para el suelo virgen alcanza un valor de compactación media, de acuerdo a los estándares del laboratorio de suelos y edafología (apéndice B), mientras que en caso de la zona contaminada y estimulada la lectura califica como baja, este comportamiento ocurre producto de los agentes foráneos que deprimen la cementación inicial al alojarse en el espacio intergranular, éstos independientemente de su naturaleza conciben resultados similares dentro de este parámetro.



**Gráfica 4.6 Densidad aparente de las muestras de suelo analizadas**

### ✓ **Densidad real**

La densidad real se encuentra asociada a la composición granulométrica de la muestra, la misma hace referencia al peso de las partículas sólidas (granos) sin tomar en cuenta a la porosidad, por lo cual su lectura es constante y representativa. El promedio alcanzado por las muestras de suelo evaluadas arrojó un valor de  $1,93 \text{ g/cm}^3$ , parecido al caso anterior, implica que cada  $\text{cm}^3$  de matriz evaluada pesa 2,38 g. De acuerdo con González y Rojas (2017), este valor corresponde a un compendio mineralógico propio del suelo monaguense, constituido mayoritariamente por arcillas, cuarzo, feldespatos, calcitas y micas.

### ✓ **Equivalente de humedad**

La humedad promedio en las muestras de suelo analizadas fue de 12,69%, ésta señala la proporción de agua retenida por la matriz y se encuentra estrechamente ligada a la densidad aparente. La lectura puede variar de acuerdo al tipo y cantidad de arcilla hidrofílica y el porcentaje de materia orgánica que se encuentre en el suelo; mientras mayor sea la constitución mineral y/o de humus, mayor cantidad de agua será retenida. La compactación promedio y el perfil franco arenoso cataloga a las muestras dentro de un renglón de alta permeabilidad, por lo que se estima que los fluidos provenientes de la percolación de las aguas meteorizadas y otros efluentes posean un tiempo de residencia relativamente corto, emplazándose en estratigrafías inferiores que se mantienen como depósitos fluviales periféricos útiles en especial para el desarrollo radicular axonomorfo.

### ✓ **Capacidad de intercambio catiónico**

Esta propiedad química se refiere a la cantidad total de cargas negativas que están disponibles sobre la superficie de las partículas en el suelo. Su lectura nos indica el

potencial de un suelo para retener e intercambiar nutrientes. Al igual que la humedad, la conducta de este parámetro depende del contenido de arcillas y material orgánico, la arcilla tiene una capacidad comprendida entre 10 y 150 meq/100g y la materia orgánica entre 200 y 400 meq/100g. Para el caso en estudio la lectura alcanzada fue de 8,05 meq/100g, un comportamiento propio de una matriz de bajo contenido mineral. De acuerdo con Salazar y Díaz (2016), una lectura no superior a 15 meq/100g es un valor recomendable para un desarrollo radicular óptimo de especies como las dicotiledóneas dada su versatilidad y baja demanda mineral, por lo cual la muestra calificaría apta (desde este aspecto) para la implantación del bioindicador. Es de importancia recordar que en el análisis a las muestras de las tres zonas en estudio se pudo observar un leve trastorno del parámetro producto de los residuos salinos generando un gradiente ascendente conforme la proximidad con la zona de polución disminuyese.

#### ✓ **Aluminio intercambiable**

De acuerdo a lo expuesto por González y Rojas (2017), cuando el suelo posee un pH menor a 5 se corre el riesgo de que este posea en su sistema aluminio elemental. Una alta concentración de Aluminio ( $Al^{+3}$ ), acarrea un nivel de acidez crítico en la materia, generando toxicidad para la vida vegetal en la periferia y perturbando las propiedades químicas del suelo (solubilización y la absorción de nutrientes), así como en las físicas (estructura y estabilidad de los agregados) y biológicas (vida bacteriana presente). Las pruebas realizadas evidenciaron la ausencia del agente, tanto en las muestras vírgenes como contaminadas, desestimando así daño directo o colateral por el mismo.

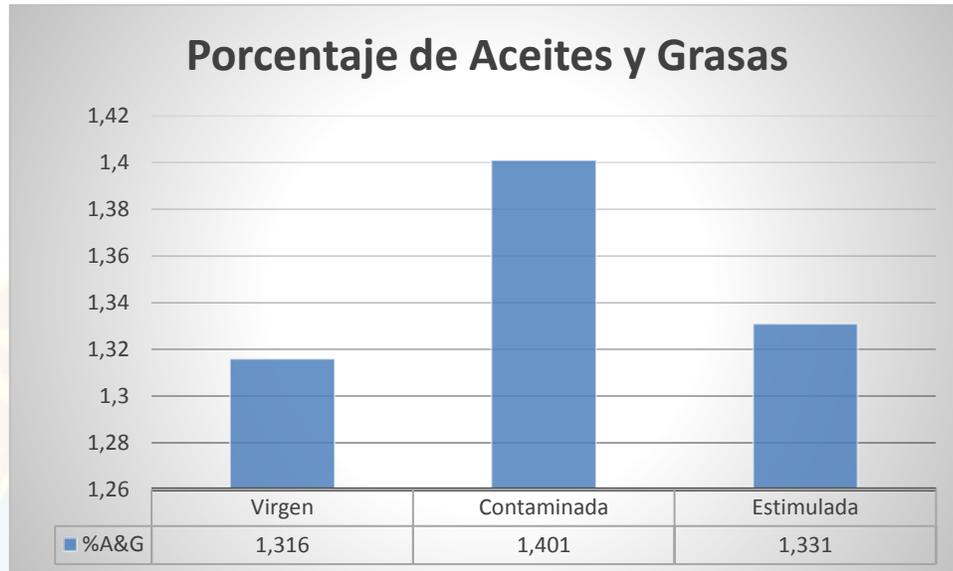
#### ✓ **Textura**

La textura es un indicativo de la distribución de los tres grupos de partículas fundamentales del suelo: arcilla, limo y arena, las cuales se pueden agrupar en: fina,

media y gruesa respectivamente. El diámetro de las partículas de arcilla es menor de 0,002 mm, las de limo están entre 0,002 y 0,05 mm y las de arena entre 0,05 y 2,0 mm. La textura se asocia con la densidad aparente y representa la capacidad de retención de agua, así como en la aireación y drenaje que posee la matriz. La textura para este estudio calificó como franco-arenoso, demostrando en su granulometría una proporción dominante de arenas, (48%), seguido de arcillas (33%) y limo (19%), resumiéndose granulométricamente como grande. Este tipo de suelo posee buena aireación y drenaje; presentan una alta porosidad y conectividad y su retención hidrofílica es baja. En función exclusiva al emplazamiento agroclimático de las muestras, se concluyó que las mismas poseen una capacidad reproductiva óptima para las fabáceas; su baja cementación facilitaría la penetración de sus raíces, aunque el hipotético desarrollo morfológico del espécimen estaría garantizado con mayor probabilidad de éxito en temporadas invernales.

#### **4.1.2 Contenido de aceites y grasas de las muestras de suelo extraídas**

El contenido de aceites y grasas no alcanzó bajo ninguna de las instancias analizadas una lectura de afectación o incidencia hidrocarburífera considerable, descartando la hipótesis prima de percolación desde la fosa hacia la matriz, no obstante este resultado no exime el trasvaso de elementos hídricos como sales y minerales afín. Las lecturas plasmadas en la gráfica 4.7 son productos del promediado de la prueba respectiva en función al tiempo y a las zonas discriminadas, el incremento exiguo observado actúa en función a la cercanía de la zona polutante, no obstante, no alcanza comportamientos análogos con trabajos de grados precedentes como el de Rodríguez y Aranguren (2017). La ausencia de aluminio intercambiable y aceites dentro de la constitución superficial de la muestras de suelo apuntan teóricamente a un correcto desarrollo edáfico del bioindicador.



**Gráfica 4.7 Porcentaje de aceites y grasas de las muestras de suelo analizadas**

#### **4.2 DETERMINACIÓN DEL GRADO DE AFECTACIÓN DEL SUELO SOBRE LA GERMINACIÓN DE LAS SEMILLAS DE FRIJOL**

Para evaluar el presente objetivo se emplearon un total de 126 unidades de prueba de la planta frijol (*Vigna unguiculata*), distribuidas en 42 unidades por cada fracción de suelo estudiada. En cada sistema muestral se dispuso una semilla en 100 gramos de matriz, exponiéndose a las mismas condiciones climáticas (tanto de radiación así como de precipitación meteórica), con el fin de estandarizar su germinación y posterior evolución. El monitoreo de la actividad se llevó a cabo por 60 días (dado que la madurez del espécimen es alcanzada entre 70 y 140 días).

De acuerdo a las bases teóricas el frijol tiende a adaptarse bien a diferentes suelos y climas, el rango de precipitación meteórica para su desarrollo se ubica entre 700 y 2000 mm, aunque suele evolucionar mejor en suelos drenados, el perfil de textura demandado por éste armoniza con el exteriorizado por las muestras (franco-arenoso). En ausencia de nutrientes como el nitrógeno el espécimen reemplaza al mismo con

fósforos y potasio. Las semillas empleadas se eligieron en función a su apariencia (buena forma, calidad y color uniforme sin efecto de detrimento por plagas y enfermedades relativas), de acuerdo a institutos agronómicos gubernamentales como el nicaragüense y el hondureño, el emplear una semilla de buena calidad incrementa las posibilidades de éxito en un 30%.

Para calificar la siembra de de frijol como exitosa la tasa germinación debe alcanzar un mínimo de rendimiento cercano de 80%, por lo que al extrapolarse esa proporción a la muestra en estudio, se necesitarían 34 unidades germinadas exitosamente para calificar dentro del renglón. Las etapas de desarrollo del cultivo son diez (cinco de desarrollo vegetativo y cinco de desarrollo reproductivo). Los brotes del espécimen deben hacer acto de presencia a más tardar al quinto día de realizarse la plantación, mientras que la emergencia de la radícula debe realizarse a más tardar el séptimo día. En la tabla 4.2 se describe el recorrido temporal de la evaluación morfológica del frijol.

**Tabla 4.2 Etapas de desarrollo de la planta frijol**

<b>Fase</b>	<b>Etapas</b>	<b>Días</b>
<b>Vegetativa</b>	<b>Germinación</b>	<b>0-5</b>
	<b>Emergencia</b>	<b>5-7</b>
	<b>Hojas Primarias</b>	<b>7-11</b>
	<b>Primera Hoja Trifoliada</b>	<b>11-16</b>
	<b>Tercera Hoja Trifoliada</b>	<b>16-23</b>
<b>Reproductiva</b>	<b>Prefloración</b>	<b>23-32</b>
	<b>Floración</b>	<b>32-36</b>
	<b>Formación de Vainas</b>	<b>36-44</b>
	<b>Llenado de Vainas</b>	<b>44-62</b>
	<b>Maduración</b>	<b>62-77</b>

**Fuente: Asociación de productores de Santa Lucía (2009)**

La especie en estudio puede prosperar entre los 18 °C y 40 °C, con un rango óptimo entre 20 °C y 35 °C. No tolera las heladas y las temperaturas mayores a 40 °C afectan el cuajado de las flores y el desarrollo de las vainas. Temperaturas menores de 18 °C afectan el crecimiento de la planta. La temperatura óptima del suelo para una adecuada germinación es de 21 °C. El fotoperíodo óptimo para la inducción de la floración es de 8 a 14 horas. La reducción de la luz propicia un desarrollo rastrero de la planta, con un efecto negativo en los rendimientos. Este tipo de frijol en particular (*Vigna unguiculata*) es resistente a la sequía y una excesiva humedad ambiental favorece la proliferación de enfermedades. La humedad del suelo es un factor importante en las primeras etapas de desarrollo de las plantas y su falta o exceso en la floración ocasiona caída de flores, reduciendo la producción significativamente.

Partiendo de todas las condiciones climatológicas y edáficas que requiere la planta en estudio para su correcto desarrollo y reproducción se exponen a continuación de manera detallada los tres casos en estudio (zonas vírgenes, contaminadas y estimuladas), dándosele prioridad a la apreciación longitudinal de la radícula y el periodo de emergencia de la misma.

#### ✓ **Zona virgen**

Tal como se aprecia en la gráfica 4.8, la zona no contaminada presentó una tasa de germinación de 88% (un total de 37 unidades muestrales), superior a la mínima medida referencial establecida (80%), generando un estándar de comportamiento con el cual cotejar las conductas de las muestras estimuladas y contaminadas. Un aproximado al 38% (16 unidades muestrales) presentaron emergencia del brote al quinto día, mientras que el 50% restante lo realizó el séptimo día del monitoreo. De la población muestral fallida, dos unidades no mostraron absorción hidrofílica o algún tipo de interacción con el medio, por lo que se presume que la causa de este comportamiento derive de desviaciones fitológicas y no edáficas, el resto de las

unidades fallidas exteriorizaron hinchamiento y desarrollo parcial del hilio, no obstante, no demostraron signos de evolución posterior al cabo de 48 horas de la emergencia total de la muestra exitosa.



**Gráfica 4.8 Germinación porcentual de la zona virgen**

#### ✓ **Zona contaminada**

La zona contaminada exhibió una tasa de reprobación mayor a la muestra virgen, a pesar de ello, se mantiene dentro de los estándares de éxito referenciales. Un total de ocho (8) unidades muestrales fallaron en desarrollar el hilio, al igual que en el caso anterior, seis de las vainas no demostraron interacción con el medio, manteniéndose deshidratadas y neutras a cualquier estímulo externo posterior al cumplimiento de las 48 horas de la emergencia del grupo muestral exitoso. Esta observación (en armonía con la caracterización previa), atribuye la esterilidad de la semilla a causas foráneas al estudio y primigenias de la vaina, mas no a limitaciones minerales o edáficas de la matriz en estudio. En la gráfica 4.9 se puede observar la proporción no germinada en color verde.



**Gráfica 4.9 Germinación porcentual de la zona contaminada**

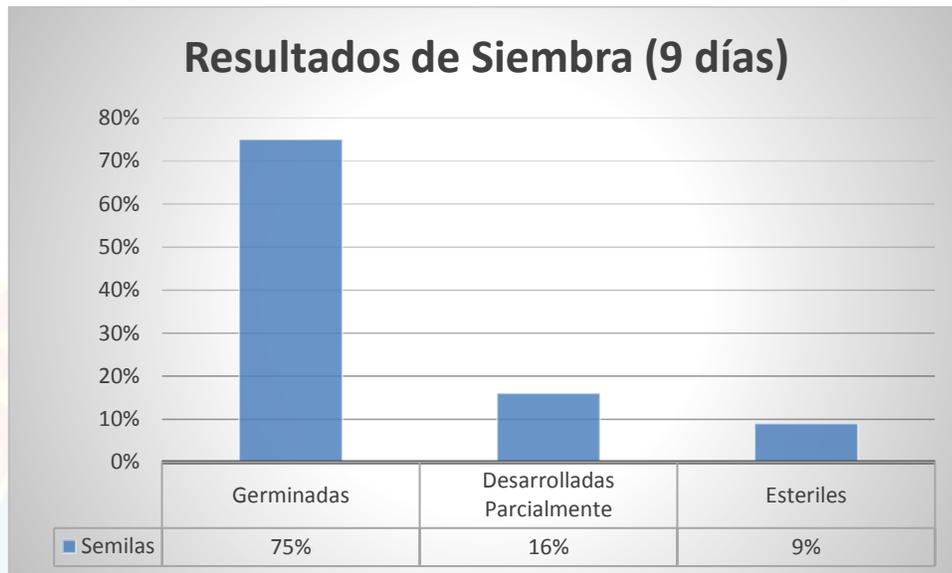
#### ✓ Zona estimulada

En la gráfica 4.10 se observa que la zona estimulada tuvo el mayor índice de germinación de todo el procedimiento experimental logrando la germinación de 38 unidades muestrales, puntualizándose el hecho de que el total de las vainas exitosas germinó a partir del cuarto día de la siembra y emergió al sexto día de observación. El comportamiento exterioriza la existencia de un estímulo que cataliza el desarrollo de radícula, mas no la ausencia de condiciones sistemáticas para el cumplimiento del mismo proceso. La especie, en sí, es tolerante a ambientes estériles y también prospectiva a sistemas franco-arenosos, la conducta coteja con las observadas en las otras poblaciones y desestima la contaminación como causa prima del detrimento radicular.



**Gráfica 4.10 Germinación porcentual de la zona estimulada**

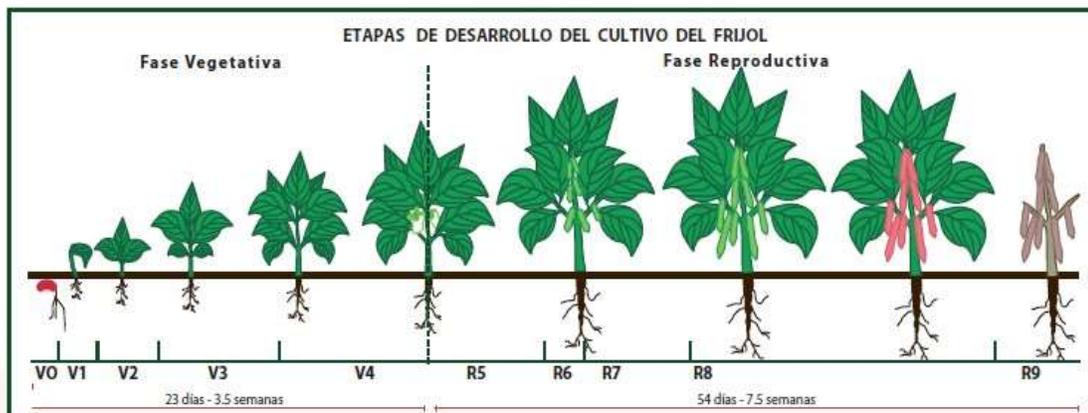
En la gráfica 4.11 se aprecia que en líneas generales la matriz dispuesta no alcanzó el mínimo aprobatorio referencial del 80% de germinación, presentando 109 unidades muestrales germinadas, 26 parcialmente desarrolladas y 11 estériles, para un total de 35 unidades descartadas por ausencia de desarrollo radicular. Esta evaluación redujo a la población muestral en 37 vainas representativas para la zona virgen, 34 vainas para la zona contaminada y 38 vainas para la zona estimulada. Por fines de practicidad comparativa se adoptó una nueva población estadística que estipula un total de 102 unidades muestrales, divididas en 34 compendios para cada zona. El plazo temporal se ejecutara para proyectar las tendencias morfométricas promedio de cada puesta experimental las cuales serán empleadas en el análisis de varianza del objetivo consiguiente.



**Gráfica 4.11 Germinación total de las unidades bioindicadoras sembradas**

#### **4.3 ESTUDIO EL DESARROLLO DE LAS PLANTAS EN CUANTO A SUS CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LAS PLANTAS DE FRIJOL (ALTURA DE LA PLANTA, DIÁMETRO A NIVEL DE LA BASE, NÚMERO DE HOJAS Y LONGITUD DE LAS RAÍCES) SEMBRADAS EN MUESTRAS DE SUELOS ALEDAÑOS A LA FOSA**

Como se ha establecido anteriormente, el desarrollo morfológico de la familia de las fabáceas por lo general consume 70 días, que es cuando alcanza el ocaso de su vida reproductiva, para el estudio el monitoreo se realizó por 56 días, un lapso suficiente para que la misma alcanzase la altura correspondiente a la adultez del espécimen. Cualquier trastorno que sea observado en la morfometría de las plantas pertenecientes a la zona de contaminación generará una unidad de dispersión que se asumirá como una desviación estándar de la tendencia lineal de su crecimiento y por ende como un efecto directo (o colateral, según aplique el caso) de la actividad científica. En la figura 4.1 aparece el comportamiento de crecimiento estándar exteriorizado por el bioindicador.



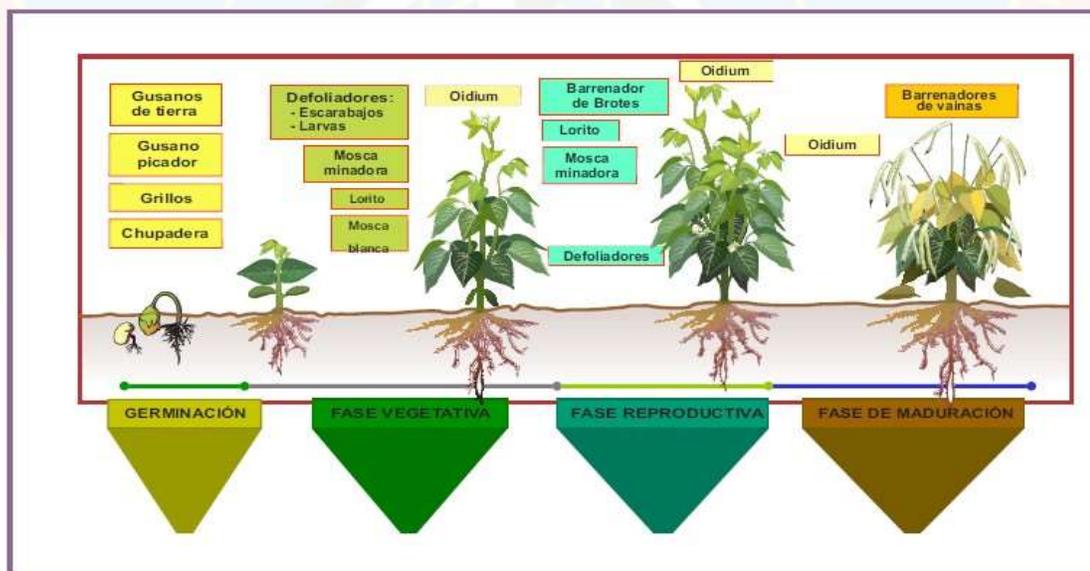
**Figura 4.1 Esquema del desarrollo del cultivo de frijol (*Vigna unguiculata*)**  
**Fuente: ASOPROL (2009)**

De las 102 unidades estudiadas, las plantas calificadas como exitosas fueron las que presentaron un sistema radicular bien desarrollado, con una raíz principal y varias derivaciones secundarias. Los tallos aceptados fueron mayoritariamente delgados, débiles y angulosos, así como de alturas variables (figura 4.2), descartando el rasgo de altura como característica de desarrollo óptimo. Es válido puntualizar que el porte de la planta está determinado por la forma de los tallos; si el tallo principal presenta una inflorescencia terminal, la planta tendrá entonces un crecimiento determinado (variedades enanas o erectas) y si el tallo no produce esta inflorescencia terminal y las inflorescencias aparecen en las axilas, la planta tendrá un crecimiento indeterminado (variedades guiadoras o trepadoras). En la especie existen variedades precoces o de maduración uniforme (70 días) de tipo determinado y las tardías (más de 70 días), o incluso de tipo indeterminado que presentan maduración desigual, debido a que ese enfoque es netamente en función al rendimiento de la planta y su capacidad reproductiva, este rasgo fue desestimado para los estándares evaluativos de la investigación, adoptando el crecimiento dentro del 56 días como el final.



**Figura 4.2 Cultivo de frijol (*Vigna unguiculata*) en la segunda semana**

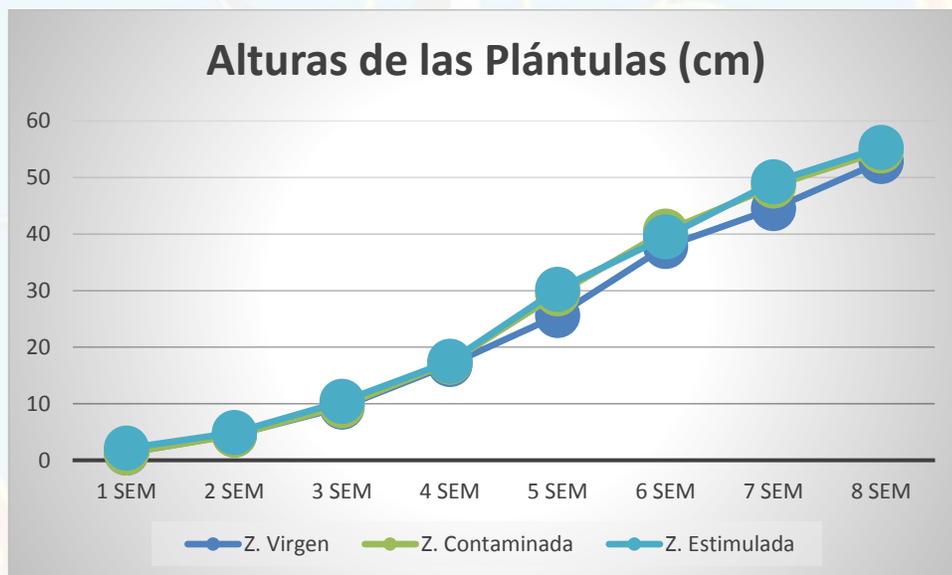
Una de las variables que se tuvo que integrar conforme el plazo temporal se iba consumiendo (figura 4.3) fue la presencia de plagas animales como insectos de distintas naturaleza, moscas y gusanos blancos que se conglomeraron en la periferia de las unidades conforme las mismas eran expuestas a la intemperie. La ocurrencia de esta eventualidad se agudizó a partir de la segunda semana hasta la quinta, afectando específicamente el desarrollo de las especies plantadas en la zona de estimulación.



**Figura 4.3 Incidencias de plagas y enfermedades en el desarrollo del frijol**  
Fuente: ASPROMOR (2012)

### ✓ Altura de la plántula

El comportamiento exteriorizado por las plantas sembradas en las tres zonas de análisis se dispone en la gráfica 4.12, en ella se aprecia una estandarización del crecimiento con cambios relativamente despreciables entre las tres conductas. La sección de mayor dispersión se encuentra en la quinta semana (la cual coincide con la intensificación de la plaga animal). La apariencia de las plántulas fue de carácter semi-recto, generándose las inclinaciones del tallo a partir de la sexta semana de germinación.



**Gráfica 4.12 Alturas alcanzadas por las unidades bioindicadoras sembradas**

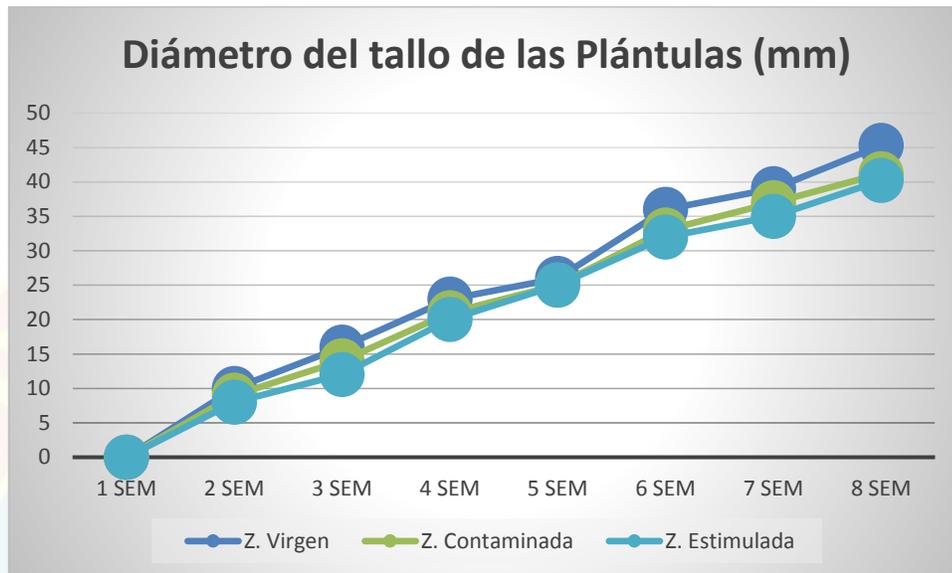
En la tabla 4.3 se confirma numéricamente la apreciación visual de la gráfica 4.12, en ella se aprueba la hipótesis de similitud entre las conductas de crecimientos de las tres zonas en estudios generándose un valor de probabilidad de 97,75%, el renglón de homogeneidad se mantiene constante para los tres casos, mientras que las medias promediaron en 25,3167 cm (un mínimo de 3,16 cm por semana), con una desviación estándar de 19,2479 cm, siendo el escenario más acentuado el perteneciente al de la zona virgen (donde la desviación fue de 19,2789 cm).

**Tabla 4.3 Análisis de varianza a la altura de las unidades bioindicadoras**

Casos	Media	Desviación Estándar	Grupos Homogéneos	Valor-P
Z. Virgen	24,1	19,2789	X	<b>0,9775</b>
Z. Contaminada	25,7125	20,6065	X	
Z. Estimulada	26,1375	20,4538	X	
<b>Total</b>	<b>25,3167</b>	<b>19,2479</b>		

✓ **Perímetro de la base**

El diámetro del tallo promedio alcanzó una lectura máxima para la zona virgen (la cual posee la menor altura promedio), siendo ésta de 45,3 mm, el número de ramificaciones fue directamente proporcional al diámetro exteriorizado y visualmente (tal como lo expresa la gráfica 4.13) no se observó un cambio en la tendencia significativo entre las zonas evaluadas. Es de importancia puntualizar la pérdida de tres unidades muestrales pertenecientes a la zona estimulada producto de la actividad biológica (mosquitos y grillos), las cuales fueron reemplazadas con las unidades remanentes del proceso de monitoreo de desarrollo radicular. En la figura 4.4 se puede apreciar la evolución de la población y la estandarización de la altura así como del grosor de los tallos.



**Gráfica 4.13 Diámetros del tallo de las unidades bioindicadoras sembradas**



**Figura 4.4 Cultivo de frijol (*Vigna unguiculata*) en la quinta semana**

El grosor del tallo fue estadísticamente invariable en función a lo plasmado en la tabla 4.4, la hipótesis de la homogeneización de la población presentó un 92,30% de probabilidad de ocurrencia, manteniendo una desviación estándar en 14,0304 mm y un

crecimiento promediado en 22,8208 mm (0,407 mm por día). A pesar de este mantenimiento en la armonía del crecimiento, es necesario tener en cuenta que las condiciones ambientales influyen en la expresión del carácter, por esto en diferentes ambientes una variedad puede presentar diferencias en la expresión morfológica.

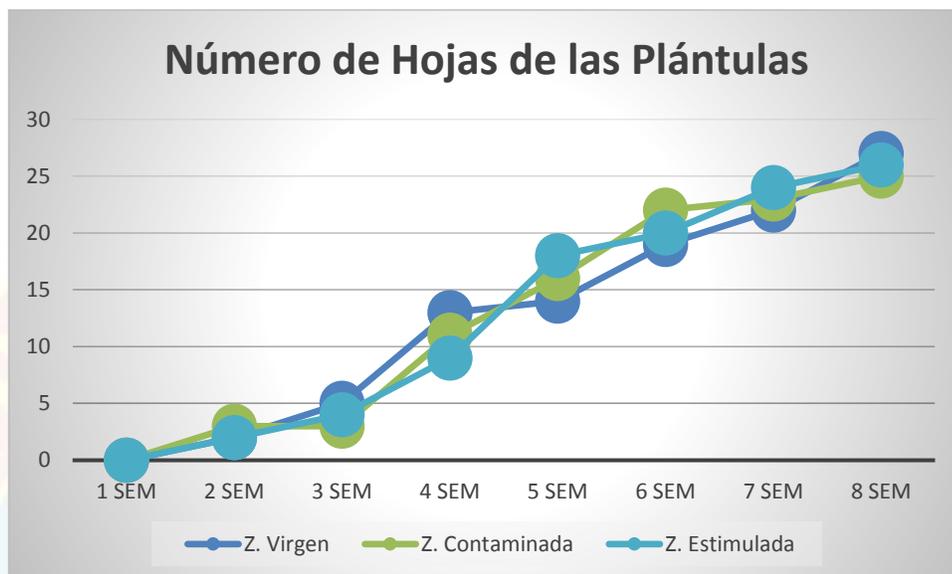
**Tabla 4.4 Análisis de varianza al diámetro del tallo de los bioindicadores**

Casos	Media	Desviación Estándar	Grupos Homogéneos	Valor-P
<b>Z. Virgen</b>	24,4125	15,4102	X	<b>0,9230</b>
<b>Z. Contaminada</b>	22,525	14,3399	X	
<b>Z. Estimulada</b>	21,525	14,0988	X	
<b>Total</b>	<b>22,8208</b>	<b>14,0304</b>		

✓ **Número de hojas**

El número de hojas presentó la desviación estándar más acentuada entre las cuatro características morfológicas evaluadas y el rasgo más sensible al ataque de plagas, generando pérdidas totales de las unidades experimentales por el grado de afectación del parámetro.

Las hojas observadas (trifoliadas) son las hojas típicas del frijol. Tienen tres folíolos, un pecíolo y un raquis. Tanto el pecíolo como el raquis son acanalados. El foliolo central es simétrico y acuminado; los dos laterales fueron asimétricos y también acuminados. La decoloración de las hojas y la trasgresión del tono amarillo en algunas de las unidades pertenecientes a la zona estimulada infiere sobre el detrimento de la salud de la plántula por móviles biológicos. El valor promediado más alto perteneció (27 hojas por unidad) perteneció a la zona virgen (gráfica 4.14).



**Gráfica 4.14 Número de hojas de las unidades bioindicadoras sembradas**

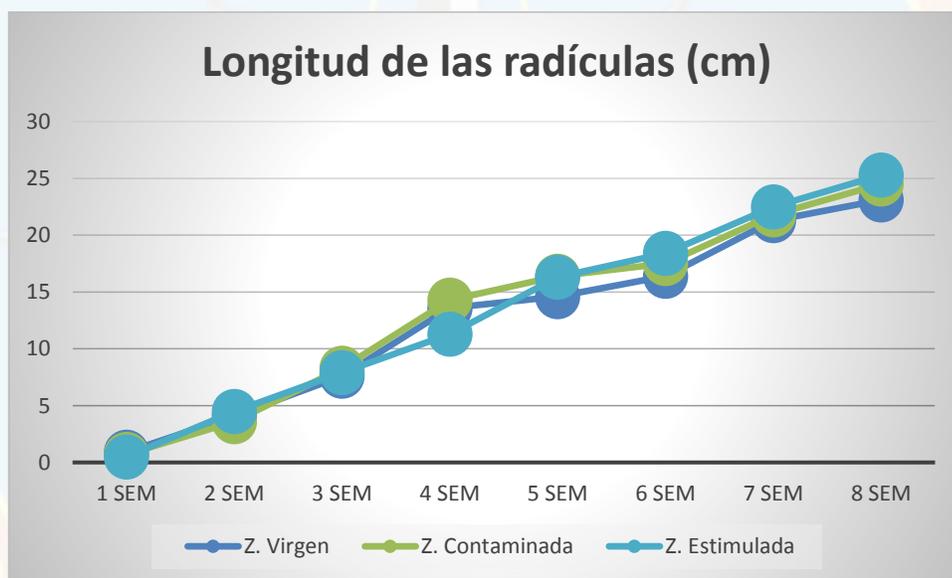
La tabla 4.5 ratifica la homogenización del parámetro con un valor probabilidad de 99,96%, el cual aprueba la similitud de conducta entre las tres tendencias temporales. La desviación estándar general fue de 9,61279 unidades, un valor más sensible y accidentado que el resto de los rasgos morfológicos. El promedio de desarrollo vegetal fue de 12,8333, implicando el nacimiento de 0,88 hojas por día.

**Tabla 4.5 Análisis de varianza al número de hojas presentes en los bioindicadores**

Casos	Media	Desviación Estándar	Grupos Homogéneos	Valor-P
<b>Z. Virgen</b>	12,75	9,7651	X	<b>0,9996</b>
<b>Z. Contaminada</b>	12,875	10,049	X	
<b>Z. Estimulada</b>	12,875	10,357	X	
<b>Total</b>	<b>12,8333</b>	<b>9,61279</b>		

### ✓ Longitud de la radícula

Al décimo día (tercer día posterior a la emergencia de la radícula) fue posible ver las raíces secundarias, éstas se desarrollaron en la parte superior de la raíz principal; de manera promediada se encontraron de 3 a 6 unidades en disposición de corona y con un diámetro un poco menor que la raíz principal. Posteriormente se desarrollaron las raíces terciarias y otras subdivisiones como los pelos absorbentes (emplazados en todos los puntos de crecimiento de la raíz). La evaluación se realizó en función de la raíz principal, la cual se puede distinguir por su diámetro y longitud.



**Gráfica 4.15 Longitud de las radículas de las unidades bioindicadoras**

Un máximo promediado de 25 cm fue el alcance máximo de la longitud radicular de las unidades bioindicadoras, cerrando la brecha evaluativa morfométrica hacia las zonas adyacentes a la fosa de desechos de la Universidad de Oriente, Núcleo Monagas. Para una correcta evolución de las unidades poblacionales se trasplantaron una muestra representativa de cada una hacia zonas de mayor alcance estratigráfico. La conducta ascendente lineal en función de la escala temporal evidencia con claridad la homogeneización de conducta morfológica, por cual se puede afirmar que la actividad

científica en la periferia de la universidad no incide negativamente sobre el desarrollo vegetativo de la especie *Vigna unguiculata*, descartándose temporalmente las consideraciones ambientales respectivas.

**Tabla 4.6 Análisis de varianza a la longitud radicular de los bioindicadores**

Casos	Media	Desviación Estándar	Grupos Homogéneos	Valor-P
Z. Virgen	12,7	7,9232	X	<b>0,9835</b>
Z. Contaminada	13,3875	8,483	X	
Z. Estimulada	13,3375	8,76746	X	
<b>Total</b>	<b>13,1417</b>	<b>8,03146</b>		

La tabla 4.6 establece con un valor de probabilidad de 98,35% el descarte de la hipótesis estadística que sostenía que la conducta exteriorizada por las tres tendencias de crecimiento radicular fuesen disimiles, asumiéndose entonces un comportamiento edáfico linealmente estandarizado, representativo y extrapolable entre las tres zonas adyacentes a la fosa de desechos científicos de la Universidad de Oriente, Núcleo Monagas.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

- Las muestras de suelo pertenecientes a las tres zonas evaluadas fueron de pH neutro.
- Las muestras de suelo analizadas calificaron como franco-arenosas.
- El suelo evaluado calificó como fértil en función a los valores de conductividad eléctrica, materia orgánica, carbono orgánico y capacidad de intercambio catiónico.
- La estimulación con fertilizante impulsaron las lecturas de parámetros edáficos nutricionales como el carbono orgánico y el nitrógeno.
- No se observó ningún cambio edáfico significativo entre las tendencias exteriorizadas por las muestras de suelo vírgenes así como por aquellas emplazadas en la periferia de la fosa de desecho.
- El contenido de aceites y grasas para la zona periférica a la fosa de desecho no excedió el 1,5%, considerándose desestimable desde un punto de vista ambiental.
- Edáficamente las muestras adyacentes a la fosa de desecho calificaron como aptas y en armonía con las zonas vírgenes y estimuladas.
- Un 75% de las semillas diseminadas logro la germinación, mientras que un 16% se desarrollaron parcialmente y un 9% calificó como estéril.
- Las plántulas desarrolladas experimentaron ataques por plagas animales desde la tercera semana hasta la quinta del monitoreo, perjudicando varias unidades muestrales de la zona estimulada.
- Morfológicamente toda la población vegetal monitoreada evolucionó de manera estandarizada.

- Se descartó sistemáticamente la incidencia de la actividad académica y científica como factor de detrimento en el desarrollo vegetativo y reproductivo de la especie frijol (*Vigna unguiculata*).

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Considerar una evaluación morfológica más detallada con especies menos tolerantes a ambientes franco-arenosos.
- Desarrollar bioindicadores con especies animales y vegetales simultáneamente con el propósito de evidenciar el grado de afectación que tiene la actividad académica sobre las biosferas circundantes.
- Evaluar el material lixiviado de la zona periférica a la fosa de desechos académicos de la Universidad de Oriente, Núcleo Monagas.
- Promover el empleo de bioindicadores como garantía ambiental en todos los agentes industriales desarrollados por las facciones científicas de la alma mater.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, R. **“Propiedades de los hidrocarburos”**. Guía teórica/práctica. [Documento en línea]. Universidad De Oriente. Venezuela. Consultada el 27 de noviembre de 2018, en: [http://udopetroleo.com/Procesamiento/Guia\\_de\\_Laboratorio.pdf](http://udopetroleo.com/Procesamiento/Guia_de_Laboratorio.pdf)
- Alexander, M. (1991). **“Introduction to Soil’s Microbiology”**. Publicado por John Wiley e hijos. Nueva York. Estados Unidos de América.
- Alfaro, L. (2009). **“Diseño de un centro de tratamiento y disposición de desechos producidos por la actividad de perforación petrolera en las regiones de Topomoro y Tiajuana”**. Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo. Venezuela.
- Alonso, R. (2012). **“Proyecto de recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos”**. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona. España.
- Altgelt, K. & Boduszynski, M. (1994). **“Composition and analysis of heavy petroleum fraction”**. Marcel Dekker. pp. 485.
- Aranguren, V. & Rodríguez, F. (2017). **“Estudio del grado de contaminación a nivel superficial del área circundante a la fosa de desechos de los laboratorios de petróleo de la U.D.O Monagas, año 2016”**. Universidad de Oriente. Maturín. Venezuela.
- Arias, F. (2006). **“El proyecto de investigación”**. Editorial Episteme. 5ta. Edición. Caracas. Venezuela.

ASOPROL. (2019). **“Guía técnica para el cultivo de frijol en los municipios de Santa Lucía, Teustepe y San Lorenzo del Departamento de Boaco, Nicaragua”**. Asociación de Productores Agropecuarios de Santa Lucía. Boaco. Nicaragua.

ASOPROMOR. (2012). **“Manual de cultivo de frijol caupi”**. Asociación de Productores Agropecuarios del Distrito de Morropón. Piura. Perú.

Barreto, S. & Subero, Y. (2015). **“Evaluación de una pectina natural a base de naranja (*Citrus sinensis*) como aditivo viscosificante en fluidos de perforación”**. Universidad de Oriente. Maturín. Venezuela.

Bermúdez, R. (2009). **“Optimización de la degradación de hidrocarburos en el área de biotratamiento de suelo de la empresa petrolera PETROZUATA C.A.”**. Universidad de Oriente. Cumaná. Venezuela.

Bernal, A. (2015). **“Remediación de un suelo contaminado con diésel mediante la técnica de lavado ex situ empleando surfactantes a diferentes temperaturas”**. Instituto Politécnico Nacional. México D.F. México.

Bernay, Y. (2012). **“Evaluación a nivel de invernadero de tratamientos de biorremediación utilizando triple 15 y estiércol de vaca en suelo contaminado con rípios de perforación”**. Universidad de Oriente. Maturín. Venezuela.

Briceño, L. & Méndez, L. (2006). **“Comparación de potencial biodegradativo de técnicas de biorremediación”**. Universidad Central de Venezuela. Caracas. Venezuela.

- Buendía, H. (2012). **“Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante compost de aserrín y estiércoles”**. Universidad Mayor de San Marcos. Lima. Perú.
- Callupe, N. (2018). **“Determinación de la toxicidad en suelos contaminados por hidrocarburos mediante bioensayos con semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.), cebolla (*Allium cepa* L.) y rabanito (*Raphanus sativus* L.)”**. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María. Perú.
- Cando, M. (2011). **“Determinación y análisis de un proceso de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos”**. Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca. Ecuador.
- Casellas, M., Fernández, P., Bayona, J. & Solanas, A. (1995). **“Bioassay-directed chemical analysis of genotoxic components in urban airborne particulate matter from Barcelona (Spain)”**. Chemosphere. Pp. 725-40. Barcelona. España.
- Claxton, L. & White, P. (2004). **“Mutagens in contaminated soils: a review”**. Ottawa’s Safe Environments Program. Ottawa. Canadá.
- Días, R. (2011). **“Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos en clima frío y templado. Ensayo y evaluación de distintas estrategias”**. Universidad Nacional de La Plata. La Plata. Argentina.
- Díaz, F. & Salazar, M. (2016). **“Evaluación de tratamientos de remediación de un suelo contaminado con petróleo pesado combinando lavado con extracto de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*) y biopila aireada”**. Universidad de Oriente. Maturín. Venezuela.

- Enríquez, G. (2013). **“Formulación y evaluación de dispersantes detergentes y desengrasantes biodegradables para derrames en suelo de crudos livianos en la industria petrolera”**. Universidad Central del Ecuador. Quito. Ecuador.
- Escalona, R. & Medina, S. (2016). **“Evaluación del grado de contaminación del suelo aledaño a los laboratorios de procesamiento y yacimientos de la U.D.O. Monagas, año 2015”**. Universidad de Oriente. Maturín. Venezuela.
- Espinoza, Y. (2012). **“Evaluación del impacto ambiental de la actividad petrolera sobre los cultivos del sector Orocuai, Maturín, Monagas”**. Universidad de Oriente. Maturín. Venezuela.
- FENALCE. (2012). **“Frijol”**. [Documento en línea]. Consultado el 26 de Diciembre de 2018. Disponible en: [http://www.fenalce.org/pagina.php?\\_a=51](http://www.fenalce.org/pagina.php?_a=51)
- García, M. (2008). **“Estudio de la biodegradación del crudo Guafita 1X en dos suelos de diferente textura y composición mineralógica”**. Universidad Central de Venezuela. Caracas. Venezuela.
- González, P. & Rojas, M. (2017). **“Evaluación de la biodegradabilidad de los biocombustibles a base de piñón (*Jatropha curcas*), higuera (*Ricinus communis*) y coco (*Cocos nucifera*), en suelos de sabana”**. Universidad de Oriente. Maturín. Venezuela.
- Gutiérrez, E. (1990). **“Los Residuos Sólidos Peligrosos: ¿Un riesgo sin solución?”**. Ciencias. N° 20. Universidad Nacional Autónoma de México.

Hernández, F. (2011). **“Características fisicoquímicas de dos suelos de Manicuare (Península de Araya) y efecto del abonado con humus sobre el desarrollo vegetativo y composición química del aloe vera”**. Universidad de Oriente. Cumaná. Venezuela.

ILBICA. (2012). **“Bioindicadores”**. Consultado el 27 de noviembre de 2018. Disponible en: <http://ilbica.wordpress.com/bioindicadores>

Infante, C. (2005). **“Contaminación de suelos y recuperación ecológica en Venezuela”**. Acta Biológica Venezuelica. Vol. 25. N° 1. Enero-Diciembre. Pp. 43-49.

Gavilán, A., Ize, I. & Ortínez, O. (2003). **“La restauración de suelos contaminados con hidrocarburos en México”**. México: Gaceta Ecológica, INE.

Lares, J. (2001). **“Residuos de la industria petrolera”**. Larousse. Caracas. Venezuela.

Lladó, S. (2012). **“Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos pesados y caracterización de comunidades microbianas implicadas”**. Universidad de Barcelona. Barcelona. España.

Múcura, D. & Quijada, T. (2015). **“Evaluación de la eficiencia de un surfactante a base de aceite de coco para la remediación de una arena contaminada con petróleo pesado”**. Universidad de Oriente. Maturín. Venezuela.

Mueller, J., Chapman, P. & Pritchard, P. (1989). **“Action of a fluoranthene utilizing bacterial community on polycyclic aromatic hydrocarbon components of creosote”**. Appl. Microbiología ambiental. N° 55 (12). Pp. 3085-90.

Nestler, F. (1974). **“The characterization of wood-preserving creosote by physical and chemical methods of analysis”**. US Department of Agriculture Forest Service Research Paper, FPL 195 (1974). Madison, Wisconsin. USA.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agronomía [FAO]. (2015). **“El estado global de los suelos tropicales”**. Publicación en línea. Consultada el 3 de enero de 2019. Disponible para descargas en: [www.fao.org/home/es/publicaciones](http://www.fao.org/home/es/publicaciones)

Pita, R. & Rojas, M. (2010). **“Comparación conceptual de los métodos para el control del derrame de crudo en la plataforma Deepwater Horizon en el golfo de México”**. Universidad de Oriente. Barcelona. Venezuela.

Real Academia Española [DRAE]. (2001). **“Diccionario de la lengua española”**: Madrid. España.

Restrepo, R. (2002). **“Derrame de hidrocarburos. Impacto en los ecosistemas tropicales”**. Instituto Colombiano de Petróleo. Bucaramanga. Colombia.

Rosini, F. (1960). **“Hydrocarbons in petroleum”**. Educación Química. Pp. 554-561.

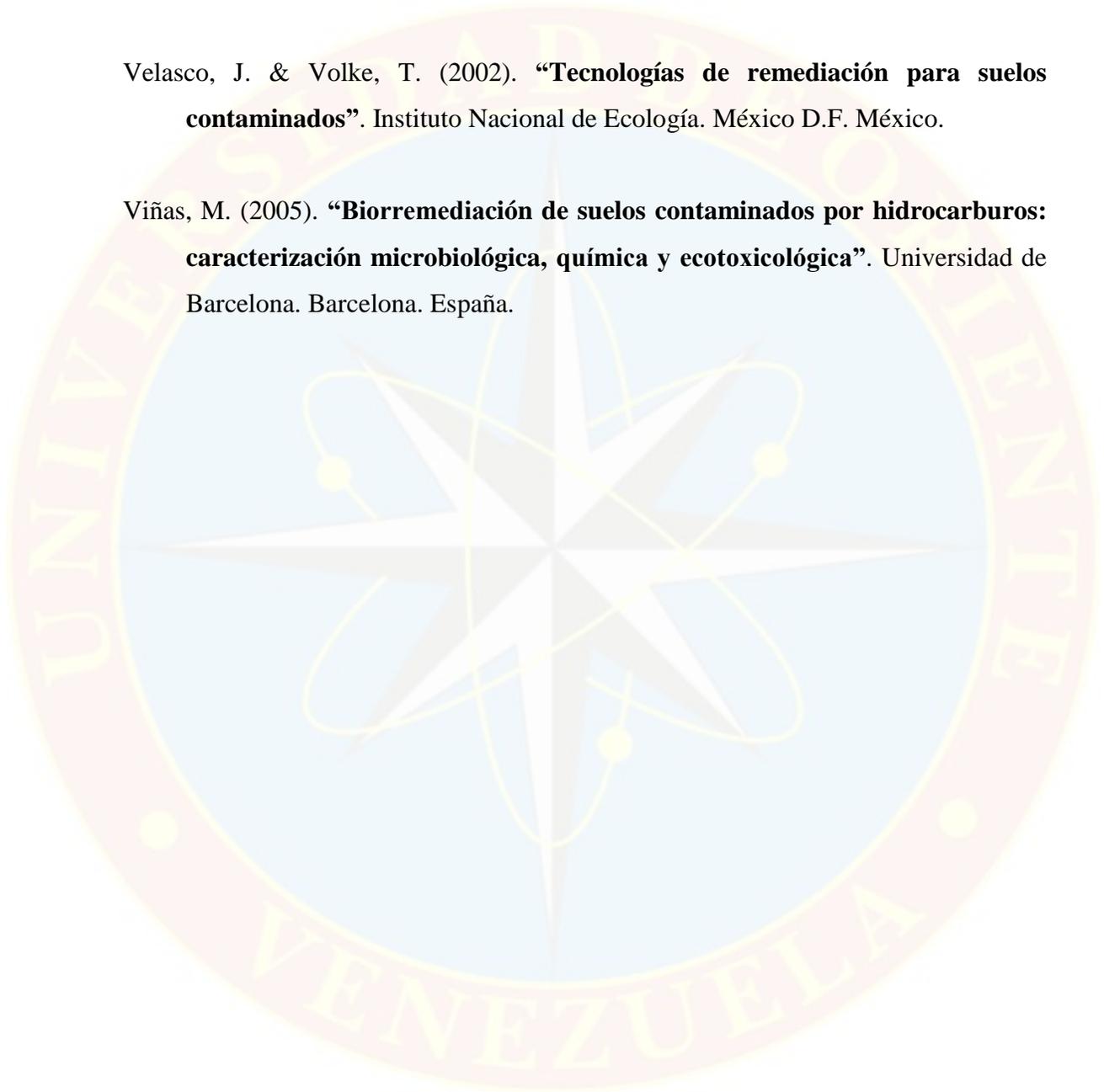
Sánchez, K. & Velásquez, R. (2009). **“Estudio del grado de contaminación del área circundante a la fosa de desechos de los laboratorios ubicada en la UDO - Monagas, Campus Los Guaritos (nivel profundo)”**. Universidad de Oriente. Maturín. Venezuela.

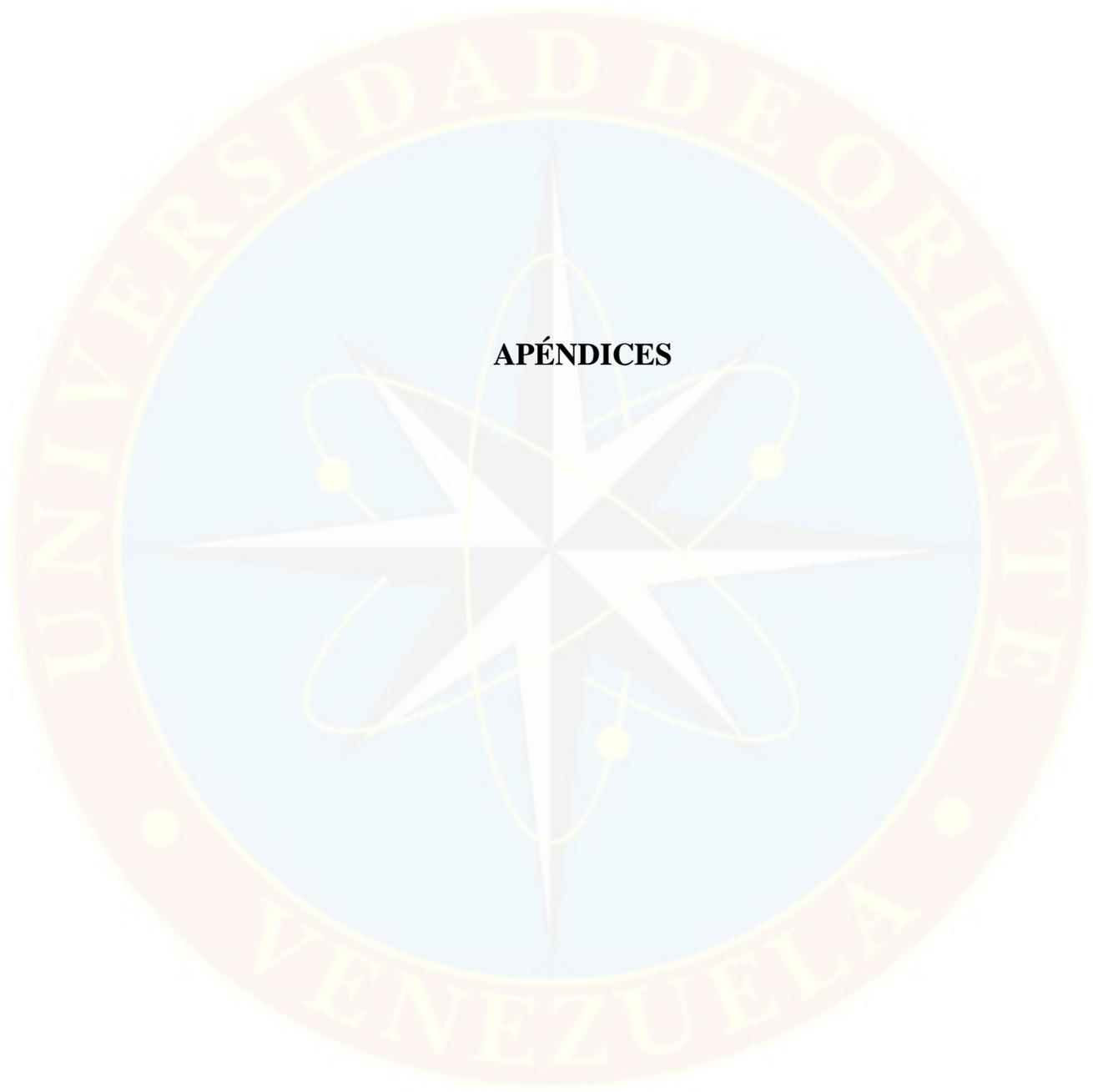
Toledo, B. (2009). **“Aplicación de procesos biológicos como medida de remediación para recuperar suelos limo-arcillosos contaminados con gasolina”**. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil. Ecuador.

Torres, K. & Zuluaga, T. (2009). **“Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos”**. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. Colombia.

Velasco, J. & Volke, T. (2002). **“Tecnologías de remediación para suelos contaminados”**. Instituto Nacional de Ecología. México D.F. México.

Viñas, M. (2005). **“Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos: caracterización microbiológica, química y ecotoxicológica”**. Universidad de Barcelona. Barcelona. España.





**APÉNDICES**



**APÉNDICE A**

**(Procedimientos, materiales y formulas empleadas)**

## **A.1. Densidad del suelo**

### **A.1.1 Equipos y materiales**

1. Martillo tipo Uhland.
2. Cilindro metálico tipo Uhland.
3. Balanza.
4. Estufa.
5. Palín.
6. Cuchillo.

### **A.1.2. Procedimiento**

Se toma el muestreador tipo Uhland, dentro del cual se encajan anillos metálicos de un diámetro igual a 7 cm y una altura de 7 cm. El muestreador se introduce en el suelo ejerciendo una presión vertical, dejando caer el martillo de manera constante, luego se retira el aparato con el cilindro del suelo, tratando de enrasar con un cuchillo el exceso de material sobrante. El cilindro metálico con el suelo es trasladado al laboratorio en bolsas plásticas bien identificadas para determinarle el volumen y peso seco, obteniéndose en una estufa a 105 °C durante 24 horas.

## **A.2. pH del suelo**

- 1 Seleccionar la relación suelo-agua en función de la textura del suelo a analizar, inclinándose en el % de arcilla y agregarla en un vaso para pH.
- 2 Agitar durante 1,0 minuto (agitador de vidrio) la solución suelo-agua, dejar en reposo por 15 minutos.
- 3 Repetir el paso 2.
- 4 Calibrar el potenciómetro con soluciones buffer con rangos de pH 4,0 a 9,0.

- 5 Introducir el electrodo del potenciómetro en la solución.
- 6 Observar y anotar el valor de pH mostrado en pantalla del pHmetro una vez estabilizada.
- 7  $\text{pH} = -\log_{10} [\text{H}^+]$ .

### **A.3. Conductividad eléctrica del suelo**

1. Seleccionar la relación suelo – agua en función de la textura del suelo a analizar, inclinándose en el % de distribución de las partículas.
2. Agitar durante 1,0 minuto la solución suelo-agua, dejar en reposo por 15 minutos.
3. Repetir el paso 2.
4. Calibrar el conductímetro con agua destilada (mínima cantidad de sales).
5. Introducir el electrodo del conductímetro en la solución.

### **A.4. Contenido de carbono en el suelo**

1. Pesar 1,00 a 0,50 g de suelo según el contenido de materia orgánica que contenga el suelo aplicando la visión ocular y agregarlo en un erlenmeyer de 500 ml.
2. Agregar 10 ml de dicromato de potasio 1 N y 10 ml de ácido sulfúrico al 95% de pureza, agitarlo y dejarlo enfriar a temperatura ambiente.
3. Agregar 180 ml de agua destilada, colocar 50 ml de la solución en un tubo de ensayo y centrifugar a 3500 rpm por 5 minutos (usar cilindros graduados).
4. Colocar 5 ml de la solución en el tubo de muestra del spectronic.
5. Obtener el porcentaje de transmitancia (%T) a una longitud de onda de 600 u.
6. Para calibrar el equipo se prepara una solución base o blanco mezclando todos los reactivos antes mencionados menos el suelo.

$$\%MO = \frac{34,3469 - (17,1795 \text{Log}(\%T))}{\text{Peso de la muestra}}$$

$$\%CO = \frac{15,34 - (7,69 \text{Log}(\%T))}{\text{Peso de la muestra}}$$

### A.5 Textura del suelo

1. Pesar 50 g de suelo para texturas finas y 100 g para texturas gruesas y colocarlo en un vaso de *Bouyoucos*.
2. Agregar 50 ml de dispersante (polifosfato de sodio y carbonato de calcio).
3. Agitar por 5 minutos en un agitador mecánico.
4. Colocar la solución en el cilindro aforado de *Bouyoucos* el cual consta de dos aforos: aforo inferior para la pesada de 50 g de suelo y el superior para la pesada de 100 g, estos aforos se logran solo con el hidrómetro dentro de la solución para este ensayo.
5. Agitar la solución con la varilla de *Bouyoucos* aproximadamente un minuto.
6. Introducir el hidrómetro en la solución y tomar la lectura en g/L a los 40 segundos, posteriormente se introduce un termómetro y se toma la temperatura de la solución en grados centígrados.
7. Dejar en reposo una hora y luego hacer una segunda medición igual a la anterior, sin agitar la solución.

$$\text{Temperatura Corregida}(T_c) \text{ en } ^\circ\text{C} = \frac{27,93 - Y}{2,07}$$

$$\text{Lectura del Hidrómetro Corregida}(LHc) \text{ en } \frac{\text{g}}{\text{L}} = T_c + LH$$

$$\% \text{ arena}(\%a) = \left[ 100 - \frac{(LHc \text{ a los } 40 \text{ seg})}{\text{Peso de la muestra}} \right] \times 100$$

$$\% \text{ arcilla } (\% A) = \left[ \frac{(LHc \text{ a } 1 \text{ hora})}{\text{Peso de la muestra}} \right] \times 100$$

$$\% \text{ limo } (\% L) = 100 - (\% a + \% A)$$

**Dónde:**

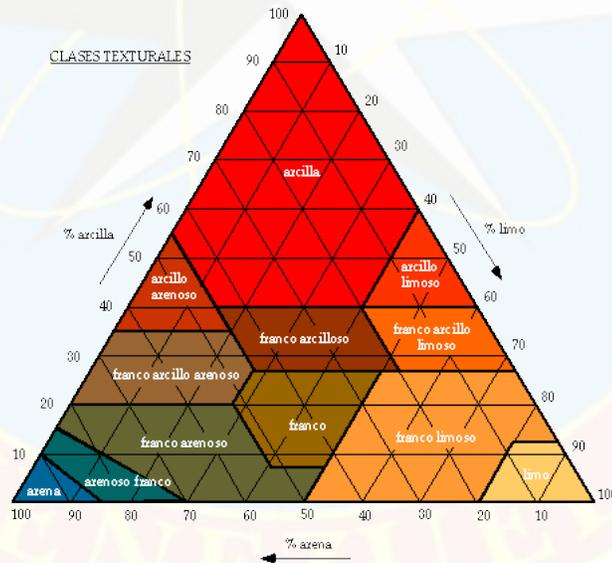
Tc: Temperatura corregida.

Y: Temperatura del termómetro.

LHc: Lectura del hidrómetro corregida.

LH: Lectura del hidrómetro.

Los porcentajes de a, A y L, calculados son llevados al triángulo de texturas, el cuál especificara la textura del suelo analizado.



**Figura B.1 Triángulo de Texturas**

## A.6 Equivalente de humedad en el suelo

1. Agregar cierta cantidad de suelo seco y tamizado a 2 mm en una capsula metálica.
2. Saturar el suelo dejándolo por 24 horas dentro de una capsula de porcelana a ½ de agua destilada.
3. Retirar el suelo de la capsula y dejarlo drenar por 30 minutos.
4. Centrifugar el suelo por 30 minutos a 3500 rpm.
5. Secar el suelo en estufa a 105 °C por 24 horas una vez pesado: (P1).
6. Retirar el suelo de la estufa y realizar la pesada correspondiente: (P2).
7. Retirar el suelo de la capsula y pesarla: (P3).

$$\text{Equivalente de Humedad (EH)} = \left[ \frac{\text{Peso del agua que contiene el suelo (g)}}{\text{Peso de la muestra seca (g)}} \right] \times 100$$

$$\text{Equivalente de Humedad (EH), en \%} = \left[ \frac{P1 - P2}{P2 - P3} \right] \times 100$$

## A.7 Extracción de solventes

La mezcla oleaginoso resultante se ingresa al rotavapor bajo el empleo de la norma *ASTM D5404*, con la finalidad de extraer la mayor cantidad de solvente (en este caso n-hexano), realizándose con el propósito de garantizar aceites con el mayor grado de pureza posible.

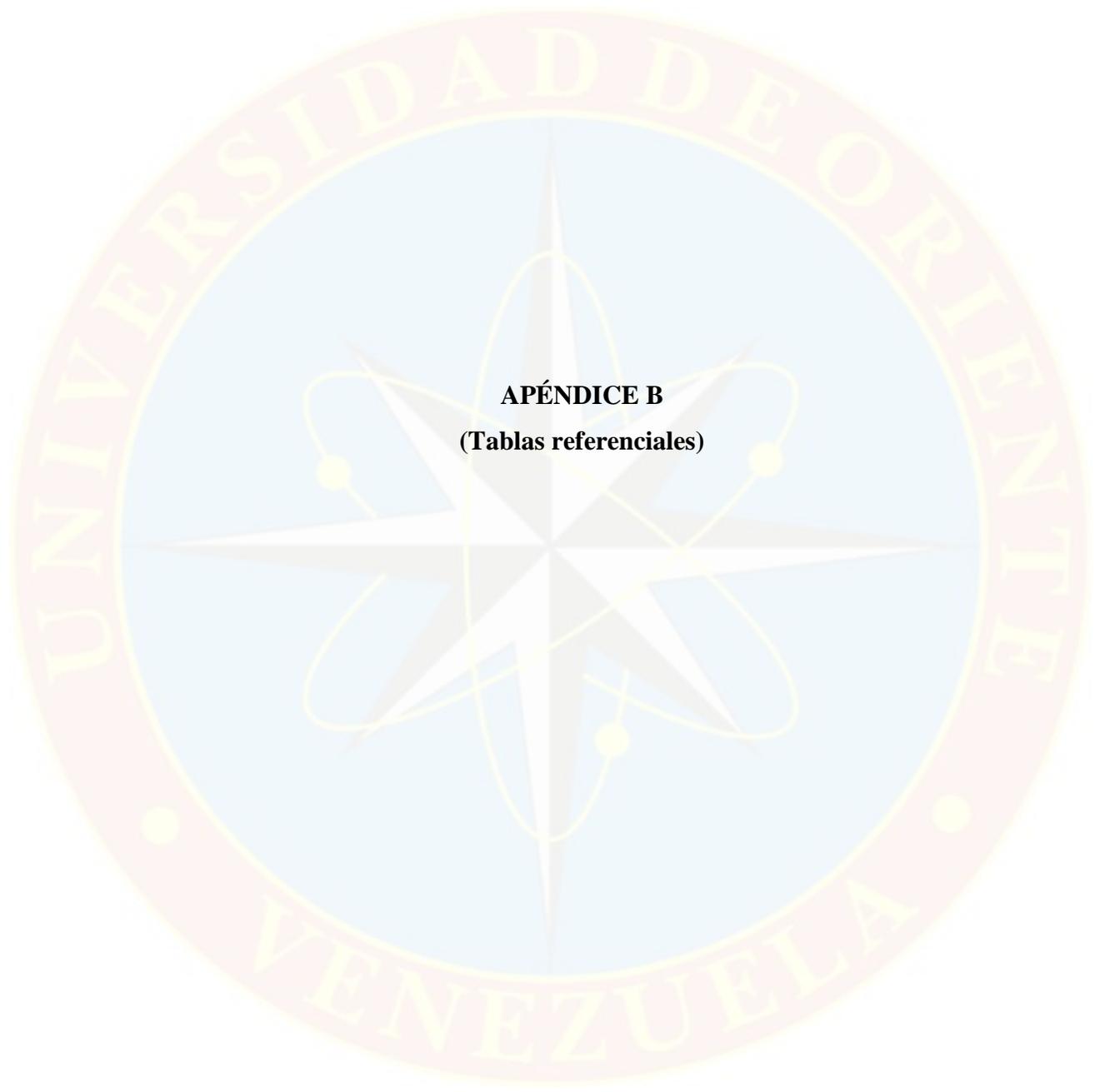
1. Primeramente se filtró la mezcla aceite-solvente para eliminar cualquier residuo de sólidos que pudiesen ser arrastrados por el solvente y el aceite.
2. Luego se vierte la mezcla filtrada a un balón 1 L de capacidad.

3. El balón se conecta al rotavapor y se sumerge en un baño térmico próximo al punto de ebullición del solvente.
4. Se ajusta las revoluciones del rotor.
5. La mezcla es agitada lentamente mientras se va calentando en el baño térmico.
6. El solvente en la mezcla se evapora y sube hasta el condensador del equipo el cual se encuentra conectado a un refrigerante. El vapor se condensa y se precipita a un balón que está conectado al fondo condensador del equipo. Este proceso dura hasta que la totalidad del solvente haya sido extraído.

#### **A.8 Contenido de aceites y grasas de las muestras de suelo analizadas**

$$\%AyG = \frac{\text{Masa de aceite}}{\text{Masa de suelo inicial}} \times 100$$

$$\text{Masa de aceite} = \text{Suelo}_{\text{inicial}} - (\text{Suelo}_{\text{destilado}} + \text{Masa}_{\text{agua}})$$



**APÉNDICE B**  
**(Tablas referenciales)**

**Tabla B.1 Rangos evaluativos de la densidad aparente**

Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )		
Arcillo/franco-arcillosos	> 1,3	Altos
Franco/franco-limoso	> 1,4	Altos
Franco-arenoso	> 1,6	Altos

**Tabla B.2 Rangos evaluativos para el tamaño de partículas del suelo**

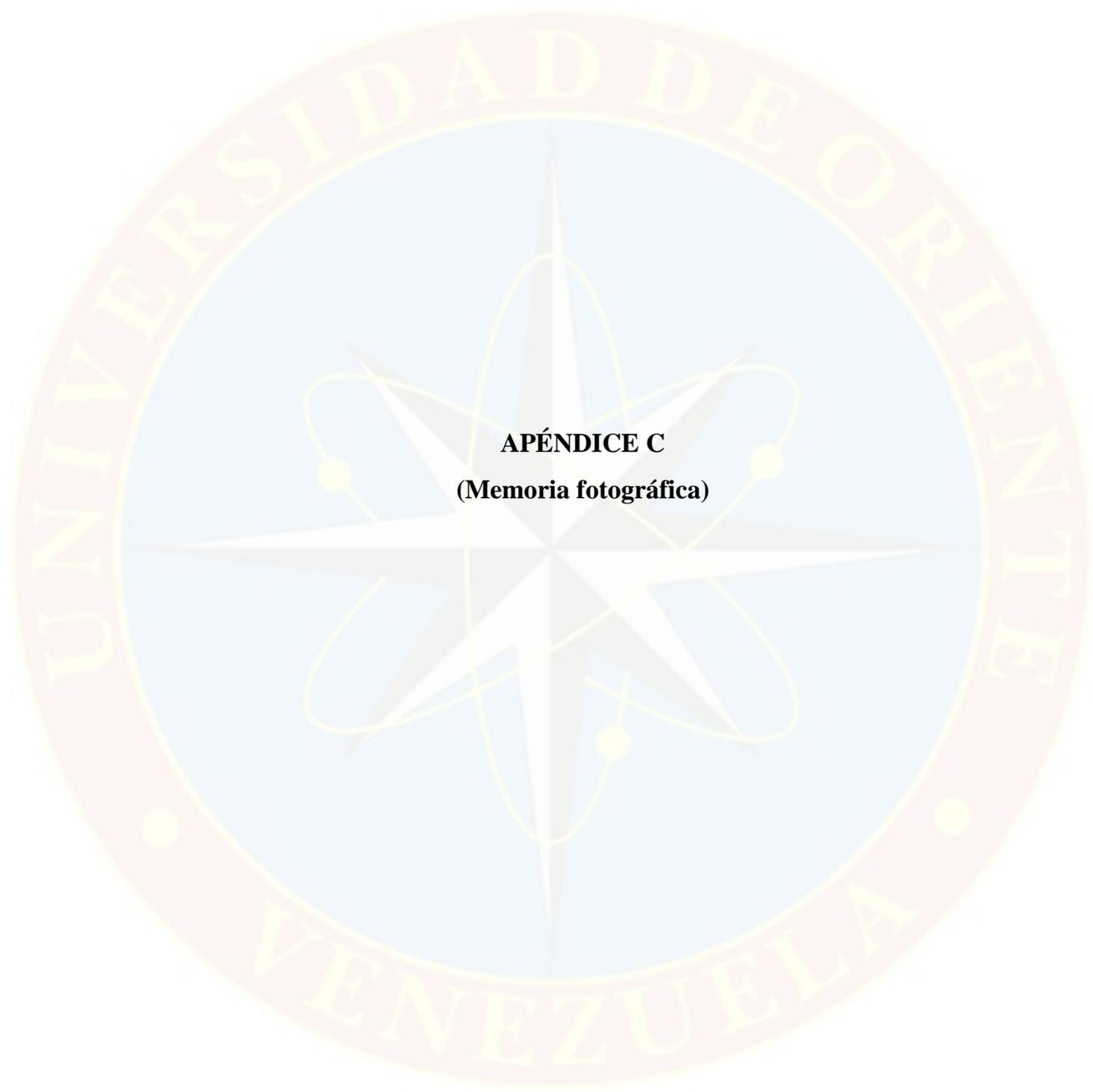
Nombre de la partícula	Límites de diámetro (mm)
Arena	0.05-2.0
Arena muy Gruesa	1.00-2.0
Arena Gruesa	0.5-1.0
Arena mediana	0.25-0.5
Arena Fina	0.10-0.25
Arena Muy fina	0.05-0.10
Limo	0.002-0.05
Arcilla	Menor que 0.002

**Tabla B.3 Rangos evaluativos para la salinidad del suelo**

Tipo de Suelo	Salinidad	C.E. (dS/m)	Efectos
Normales	Muy ligera	0-2	Casi nulos
	Ligera	2-4	Puede afectar a cultivos sensibles
	Media	4-8	La mayoría de los cultivos son afectados
Salinos	Fuerte	8-16	Solo pueden prosperar cultivos tolerantes
	Muy fuerte	> 16	Solo se desarrollan cultivos muy tolerantes

**Tabla B.4 Rangos evaluativos para el contenido de carbono del suelo**

Cont. de Carbono (%)	Interpretación
< 0,9	Muy bajo
1,0-1,9	Bajo
2,0-2,5	Normal
2,6-3,5	Alto
>3,6	Muy alto



**APÉNDICE C**  
**(Memoria fotográfica)**



**C.1 Zona muestral periférica a la fosa de desechos de la Universidad de Oriente**



**C.2 Estimación del contenido de aceites y grasas**



**C.3 Estimación del contenido de aceites y grasas en las muestras de suelo**



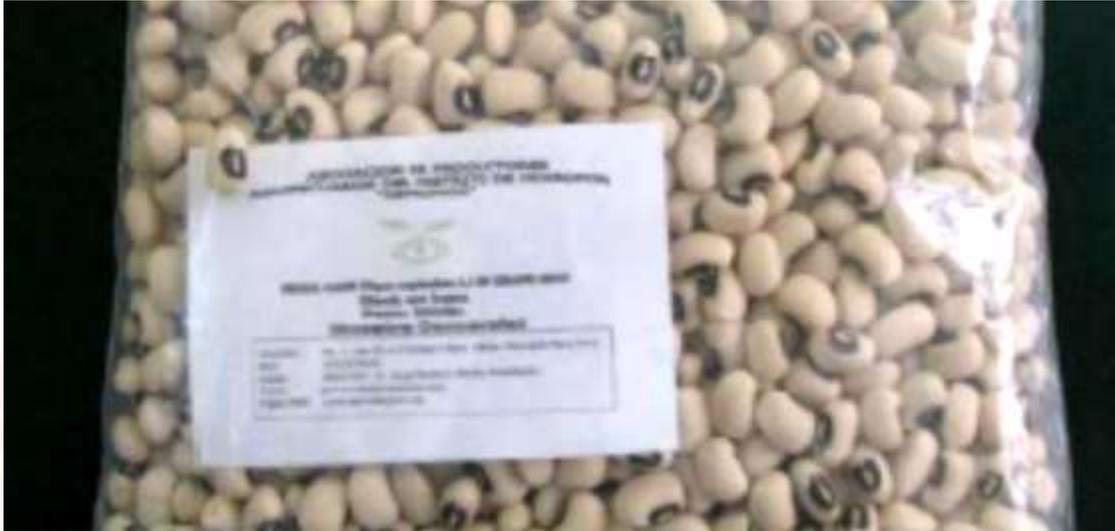
**C.4 Prueba de destilación para la evaluación del contenido de aceites y grasas**



**C.5 Equipo empleado para la estimación del pH**



**C.6 Estufa empleada en la estimación del contenido de humedad de las muestras**



**C.7 Semillas de frijol adquiridas comercialmente para la siembra**



**C.8 Etapa inicial de la germinación de la zona virgen**



**C.9 Tercera semana de la germinación (zona contaminada)**



## HOJAS METADATOS

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

<b>Título</b>	<b>Evaluación del grado de contaminación en función al desarrollo de plantas de frijol de suelos aledaños a la fosa de la Universidad de Oriente</b>
---------------	--

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

### Autor(es)

<b>Apellidos y Nombres</b>	<b>Código ORCID / e-mail</b>	
Pino Vásquez Junior Javier	<b>ORCID</b>	19782154
	<b>e-mail</b>	juniorpino24@gmail.com
Urbina Marcano Yolibel Del Jesús	<b>ORCID</b>	19876977
	<b>e-mail</b>	uyolibel@gmail.com

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 esta registrado en el sistema ORCID (Open Researcher and Contributor ID) se anota el código respectivo (para ciudadanos venezolanos dicho código coincide con el numero de la Cedula de Identidad). El campo e-mail es completamente opcional y depende de la voluntad de los autores.

### Palabras o frases clave:

bioindicadores
frijol
fosa
plántula
radícula
tesis de grado

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 el estudio del grado de contaminación de la zona adyacente a la fosa de desechos científicos de los laboratorios de petróleo de la Universidad de Oriente, Núcleo Monagas, empleándose para ello bioindicadores vegetales. En primer lugar se discriminaron las muestras en tres zonas: virgen, contaminada y estimulada, se realizó la caracterización de las mismas con el fin de estimar las propiedades físicas y químicas, luego se realizó la determinación de los porcentajes de aceite y grasas. De forma seguida se diseminaron las vainas de frijol (*Vigna unguiculata*) en las matrices, monitoreándose por un plazo próximo a ocho semanas, en ese periodo de tiempo se evaluaron las facciones morfométricas de cada unidad muestral, tanto en su fase vegetativa como en la reproductiva. Se aplicó a posteriori un análisis de varianza junto con un contraste de múltiple rangos basado en la mínima diferencia significativa de Fisher para determinar si existían discrepancias estadísticas entre las tres zonas. Las pruebas evidenciaron un suelo de textura franco-arenoso, con un contenido de materia orgánica y mineral aceptable, así como una capacidad de intercambio catiónico prospectiva para la adopción de distintas especies vegetales. Morfológicamente las radículas, así como las plántulas evolucionaron de manera uniforme, exponiendo un crecimiento, grosor, florescencia y longitud radicular saludable, descartando así alguna afectación o incidencia negativa de la actividad académica y científica sobre las aptitudes edáficas de la zona circundante a la mencionada fosa.

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

### Contribuidores:

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Ing. Nataly Ramos	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input checked="" type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	<b>ORCID</b>	14145134
	<b>e-mail</b>	ramosmnatali@gmail.com
Ing. Noris Bello	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>ORCID</b>	4714349
	<b>e-mail</b>	nbello.udomonagas@gmail.com
MSc. Carlos De La Cruz	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>ORCID</b>	12664336
	<b>e-mail</b>	cjdlco@gmail.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 esta registrado en el sistema ORCID (Open Researcher and Contributor ID), se anota el código respectivo (para ciudadanos venezolanos dicho código coincide con el numero 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
2023	06	30

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 ingles 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):

<b>Nombre de archivo</b>
NMOTTG_PVJJ2023

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:** Universidad de Oriente, Maturín Edo. Mongas, Venezuela

**Temporal:** 2023

### Título o Grado asociado con el trabajo:

Ingeniero de Petróleo

---

Dato requerido. Ejemplo: Licenciado en Matemáticas, Magister Scientiarium 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

---

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.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
SISTEMA DE BIBLIOTECA  
RECIBIDO POR *[Firma]*  
FECHA 5/8/09 HORA 5:30  
Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.  
Cordialmente,  
*[Firma]*  
JUAN A. BOLANOS CURTEL  
Secretario

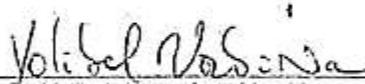
C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación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

JABC/YOC/manaja

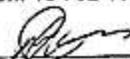
**Hoja de metadatos para tesis y trabajos de Ascenso- 6/6**

**De acuerdo al Artículo 41 del reglamento de Trabajos de Grado:**

**Los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quién deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización.**

  
\_\_\_\_\_  
Br. Yolibel del Jesús Urbina Marcano  
C.I. 19.876 977

  
\_\_\_\_\_  
Br. Junior Javier Pino Vásquez  
C.I. 19 782 154

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Ing. Natali Ramos  
C.I.:14 145 134  
Asesor Académico