

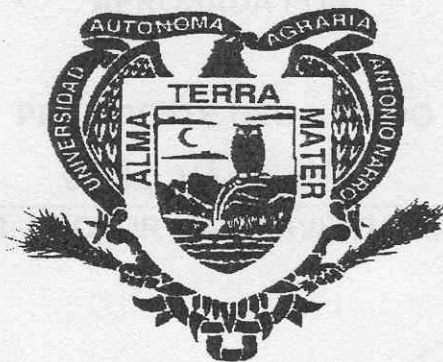
FECHA DE ADQUISICIÓN
NUM. DE INVENTARIO <u>00120</u>
PROCEDENCIA
NUM. CALIFICACIÓN
PRECIO
DIST.

	TD878
00120	.V44
	2006
	TESIS
	Ej.1

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON DISTINTAS  
CANTIDADES DE GASOLINA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE ESTIÉRCOL  
VACUNO Y EQUINO

POR

GUILVER RENE VELASQUEZ RAMIREZ

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO  
DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN COAHUILA, MEXICO

DICIEMBRE DEL 2006

TESIS QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO  
EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO  
DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

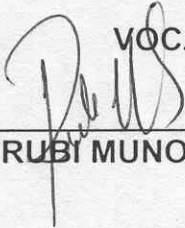
APROBADA POR:

PRESIDENTE DEL JURADO



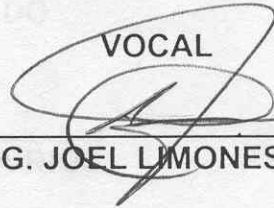
DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

VOCAL



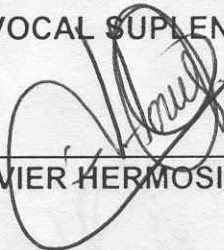
IBQ. RUBI MUNOZ SOTO

VOCAL



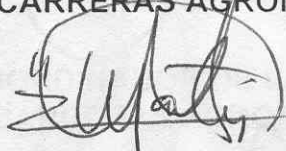
ING. JOEL LIMONES AVITIA

VOCAL SUPLENTE



DR. LUIS JAVIER HERMOSILLO SALAZAR

EL COORDINADOR DE LA DIVISIÓN  
DE CARRERAS AGRONÓMICAS



MC. VICTOR MARTÍNEZ CUETO



Coordinación de la División  
de Carreras Agronómicas

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"  
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRÓNOMICAS


Biorremediación de suelos contaminados con distintas cantidades de gasolina, mediante la aplicación, de estiércol vacuno y equino.

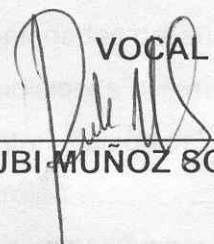
POR

GUILVER RENÉ VELÁSQUEZ RAMÍREZ

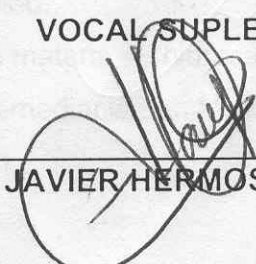
APROBADA POR EL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORÍA

PRESIDENTE DEL JURADO

  
DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

VOCAL  
  
IBQ. RUBI MUÑOZ SOTO

VOCAL  
  
ING. JOEL LIMONES AVITIA

VOCAL SUPLENTE  
  
DR. LUIS JAVIER HERMOSILLO SALAZAR

EL COORDINADOR DE LA DIVISIÓN  
DE CARRERAS AGRÓNOMICAS

  
MC. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

Coordinación de la División  
de Carreras Agrónomicas



## INDICE GENERAL

INDICE GENERAL.....	ii
INDICE DE CUADROS.....	ii
INDICE DE FIGURAS.....	iii
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	3
Objetivos Generales.....	3
Objetivos Específicos.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Remediación.....	5
Clasificación de las técnicas de remediación.....	5
Elementos para la selección de una técnica de remediación.....	6
Biorremediación.....	7
Bioestimulación.....	9
Biomagnificación.....	9
Definición de suelo.....	10
Propiedades del suelo natural.....	10
Condiciones que influyen en la tecnología de remediación.....	12
Contaminación del suelo.....	14
Petróleo.....	15
Contaminación por petróleo.....	17
Legislación ambiental en materia de hidrocarburos.....	18
Las tecnologías de biorremediación en México.....	20
Tipos de biorremediación.....	23
Biorremediación <i>in-situ</i> .....	23
Biorremediación <i>ex situ</i> .....	24
Biorremediación de fase lechada.....	24
Biorremediación de fase sólida.....	25
Ventajas de la biorremediación.....	25
Desventajas de la biorremediación.....	26
Características de las técnicas de biorremediación.....	26
MATERIALES Y METODOS.....	27

Ubicación del área de estudio.....	27
RESULTADOS y DISCUSIONES.....*	30
CONCLUSIONES.....	36
RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS.....	36
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA.....	37

CUADRO 2. CONCENTRACION DE C/N, N/P, N/SI Y ASI COMO LA RELACION C/N DE ESTIERCOL VACUNO AL INICIO DEL EXPERIMENTO UAAAN - EL 27 DE JULIO DEL 2006.....	32
CUADRO 3. CONCENTRACION DE C/N, N/P, N/SI Y ASI COMO LA RELACION C/N DE ESTIERCOL EQUINO AL INICIO DEL EXPERIMENTO UAAAN - EL 27 DE JULIO DEL 2006.....	32
CUADRO 4. CONCENTRACION DE C/N, N/P, N/SI Y LA RELACION C/N ASI COMO DEGRADACION DE HIDROCARBUROS DE ESTIERCOL VACUNO A LOS 30 DIAS, 60 DIAS, 90 DIAS, INICIADO EL EXPERIMENTO UAAAN - EL 27 DE JULIO.....	33
CUADRO 5. CONCENTRACION DE C/N, N/P, N/SI Y LA RELACION C/N ASI COMO LA DEGRADACION DE HIDROCARBUROS DE ESTIERCOL EQUINO A LOS 30 DIAS, 60 DIAS, 90 DIAS, INICIADO EL EXPERIMENTO UAAAN - EL 27 DE JULIO.....	33
CUADRO 6. DEGRADACION DE HIDROCARBUROS DE ESTIERCOL VACUNO A LOS 30, 60 Y 90 DIAS DEL 2006.....	34
CUADRO 7. DEGRADACION DE HIDROCARBUROS DE ESTIERCOL EQUINO A LOS 30, 60 Y 90 DIAS DEL 2006.....	34
CUADRO 8. COMPARACION DE LA DEGRADACION DE HIDROCARBUROS DE ESTIERCOL EQUINO Y ESTIERCOL VACUNO DEL 2006.....	35

## INDICE DE FIGURAS

## INDICE DE CUADROS

CUADRO 1. LÍMITES PERMISIBLES PARA HIDROCARBUROS (NOM-EM-138-ECOL-2002) .....	20
CUADRO 2. CONCENTRACIÓN DE C(%), N(%), ASÍ COMO LA RELACIÓN C/N, DE ESTIÉRCOL VACUNO AL INICIO DEL EXPERIMENTO. UAAAN – UL. JUNIO DEL 2006.....	32
CUADRO 3. CONCENTRACIÓN DE C(%), N(%), ASÍ COMO LA RELACIÓN C/N, DE ESTIÉRCOL EQUINO, AL INICIO DEL EXPERIMENTO. UAAAN – UL. JUNIO DEL 2006.....	32
CUADRO 4. CONCENTRACIÓN DE C(%), N(%), Y LA RELACIÓN C/N, ASI COMO DEGRADACIÓN DE HIDROCARBUROS, DE ESTIÉRCOL VACUNO, A LOS 30 DÍAS, 60 DIAS, 90 DIAS, INICIADO EL EXPERIMENTO. UAAAN – UL, DE 2006.....	33
CUADRO 5. CONCENTRACIÓN DE C(%), N(%), Y LA RELACIÓN C/N, ASI COMO LA DEGRADACIÓN DE HIDROCARBUROS, DE ESTIÉRCOL EQUINO, A LOS 30 DÍAS, 60 DIAS, 90 DIAS, INICIADO EL EXPERIMENTO. UAAAN – UL. DEL 2006.....	33
CUADRO 6. DEGRADACIÓN DE HIDROCARBUROS DE ESTIÉRCOL VACUNO A LOS 30, 60 Y 90 DIAS, DEL 2006.....	34
CUADRO 7. DEGRADACIÓN DE HIDROCARBUROS DE ESTIÉRCOL VACUNO A LOS 30, 60 Y 90 DIAS, DEL 2006.....	34
CUADRO 8. COMPARACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE HIROCARBUROS DE ESTIERCOL EQUINO Y ESTIERCOL VACUNO, DEL 2006.....	34

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. TECNOLOGÍAS DE REMEDIACIÓN DE SUELOS UTILIZADAS EN MÉXICO POR EMPRESAS AUTORIZADAS.....	22
FIGURA 2. DISEÑO EXPERIMENTAL EMPLEADO PARA MEDIR LA DEGRADACIÓN DE HIDROCARBUROS EN LA MEZCLA DE SUELO Y ESTIÉRCOL VACUNO Y EQUINO.....	29



## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por haberme brindado la oportunidad de realizar y terminar mis estudios. GRACIAS.

Al Dr. Héctor Madinaveitia Ríos, por haberme dado la oportunidad de trabajar en este proyecto y su asesoría, ya que con su gran apoyo y confianza puede terminar este trabajo. GRACIAS.

A la IBQ. Rubí Muñoz Soto, por haberme apoyado en la realización de este trabajo. GRACIAS.

Al Ing. Joel Limones Avitia, por haberme asesorado e impartido clases durante 3 semestres, y su paciencia incondicional. GRACIAS.

Al Dr. Luis Javier Hermosillo Salazar, por haberme asesorado en el desarrollo de este trabajo Gracias.

A la Ing. Norma Lidia Rangel y la Ing. Elva Margarita Aguilar Medrano, por apoyarme en el laboratorio durante la realización de este trabajo ya que con sus apoyos pude terminar. GRACIAS.

A la Sra. Isaura Adriana Piñan Y Cárdenas, por haberme apoyado económicamente durante estos 5 años y por sus consejos Gracias.

## DEDICATORIAS

*Adiós por haberme dado la salud y por estar conmigo en cada momento y en cada rincón de cada aulas, por haberme dado la bendición de poder terminar mi carrera durante estos 5 años de permanencia, lejos de mis padres.*

*A mis padres:*

*Pantaleón Velásquez Pérez y Sebastiana Ramírez Morales, por haberme dado el apoyo económicamente y haber confiado en mi persona muy especialmente a mi padre por ser mas que un padre un gran amigo en las buenas y en las malas.*

*A mis hermanos:*

*Amílcar Velásquez, Amín Velásquez Y Félix Everardo Velásquez, por ser buenos hermanos y haber compartido muchos momentos con ellos.*

*A mis amigos:*

*Fernando Marcos, Nefthali Martínez, y muy en especialmente a José Gerardo Velasco Hernández por haberme apoyado durante este tiempo de permanencia en la UAAAN.*

*A mi amiga: Georgina Adriana Trejo Piñan, por ser una gran persona por apoyarme en los momentos mas tristes de mi vida, y haber compartido muchos momentos buenos y malos.*

*Muy especialmente a una gran amiga: Priscila, por ser una gran persona y ser la fuente de inspiración de confianza para seguir adelante.*

## INTRODUCCIÓN

En México existe actualmente una gran cantidad de sitios contaminados con diferentes tipos de compuestos, tanto orgánicos como inorgánicos, debido principalmente a las actividades de la industria minera y petroquímica, además de la disposición clandestina y derrames de residuos peligrosos.

La industria petrolera en México tiene un significado estratégico de primera magnitud, que se manifiesta por los niveles de contribución a la economía nacional. La necesidad de satisfacer día con día una mayor demanda de energéticos ha ocasionado el crecimiento de esta industria, y con ello el impacto sobre los recursos naturales, los ecosistemas y las zonas urbanas.

Los derrames de petróleo y sus derivados en el ámbito mundial, han provocado una severa contaminación del suelo y de los cuerpos de agua. Estos compuestos son tóxicos para los seres vivos ya que son mutagénicos y carcinogénicos.

El manejo inadecuado de los materiales y residuos peligrosos ha provocado en el mundo un grave problema de contaminación de los suelos y los cuerpos de agua. En México, la industria del petróleo en su conjunto ha tenido un impacto negativo en materia ambiental.

En este trabajo se debe recalcar el valor de desarrollar tecnologías de biorremediación como alternativa para la recuperación de ecosistemas y agro ecosistemas impactados. La misma industria petrolera ha empezado

investigaciones en esta área en los últimos años. Petróleos Mexicanos (PEMEX), con ayuda del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), ha empezado a buscar medidas efectivas en términos de costo - beneficio para recuperar algunos de los sitios contaminados más problemáticos en el sureste mexicano, especialmente en los estados de Veracruz, Tabasco, Chiapas y Campeche. La biorremediación es una de las tecnologías que se están investigando y está resultando una de las más prometedoras y menos costosas.

Debido a los datos obtenidos en una evaluación reciente realizada por PEMEX y el IMP en Tabasco occidental, actualmente se considera a la biorremediación como uno de los medios más apropiados para la restauración de muchos sitios contaminados. Así, muchas de las convocatorias realizadas por PEMEX para la recuperación de sitios contaminados, especifican la biorremediación.

**OBJETIVOS:**

**Objetivos Generales**

Evaluar la biorremediación de suelos contaminados con distintas cantidades de gasolina mediante la aplicación de estiércol vacuno y equino.

**Objetivos Específicos**

Comparar la eficiencia de la biodegradación de la gasolina en niveles logrado mediante la aplicación de estiércol vacuno y equino.

## REVISIÓN DE LITERATURA

La contaminación ambiental es parte de la vida moderna, una causa son los combustibles derivados del petróleo, que al oxidarse liberan productos (residuos) tóxicos para la vida. Cuando la producción de residuos supera la velocidad de su eliminación por la naturaleza surge la contaminación, la que se agudiza en las ciudades industrializadas, en el aire, el agua y el suelo. Los suelos son impactados por hidrocarburos (HC), como el petróleo crudo y sus derivados en lugares adyacentes a los pozos de perforación, por fugas en los ductos que contaminan el agua superficial y la subterránea, así el tratamiento apropiado para su eliminación es costoso, lo que limita su aplicación. En esos sitios, los vegetales desaparecen y la agricultura comercial es imposible. No obstante los suelos poseen una diversidad de los microorganismos, capaces de oxidarlos (eliminarlos), esos desechos del petróleo, de ahí que se recomienda el estimular la actividad biológica oxidativa natural de los HC, una manera efectiva de prevenir el deterioro ambiental, (Leal *et al*, 2000).

Los derrames de hidrocarburos, por las sustancias que involucran, pueden poner en peligro los lugares donde se producen, la integridad de los ecosistemas, así como la preservación de los recursos naturales. Cuando un derrame de hidrocarburos permanece sin ser atendido, puede causar daños constantes y crecientes al suelo y a otros recursos naturales. La falta de requerimientos ambientales, para la restauración de suelos contaminados por derrames de hidrocarburos, constituye uno de los principales factores de

incertidumbre sobre la efectividad de los resultados de la remediación, (SEMARNAT, 2002).

## **Remediación**

El término remediación, no está definido en México en algún documento oficial, actualmente es utilizado para referirse a todas aquellas acciones aplicadas a suelos y acuíferos que conduzcan a la reducción y/o eliminación total de contaminantes (Cortinas y Mosler, 2002).

## **Clasificación de las técnicas de remediación**

A escala mundial, se han desarrollado un gran número de opciones de remediación para suelos contaminados con hidrocarburos, mismos que se pueden clasificar de diferentes maneras. Una de las clasificaciones más comunes se hace en base a su funcionamiento teniendo en así técnicas biológicas, fisicoquímicas y térmicas. Otra clasificación se basa en el efecto sobre el contaminante, de tal forma que se tienen técnicas de retención, extracción, separación y destrucción. En la práctica, las dos clasificaciones mencionadas son válidas e incluso complementarias, ya que generalmente necesitan combinarse (Cortinas y Mosler, 2002).

Las técnicas de remediación se clasifican de acuerdo al principio de su funcionamiento, (Siebe *et al*; 1999).

Biológicos:	Biorremediación, fitoremediación.
Fisicoquímicos:	Solidificación, estabilización, extracción de vapores.
Térmicas:	Destrucción por inyección de vapores, incineración.

El tipo de contaminante y sus características físicas y químicas determinan si un sitio requiere ser remediado y la manera en la que el contaminante debe tratarse. Además, dichas propiedades determinan cómo puede ser el movimiento del contaminante y si éste es o no persistente en el ambiente. La estructura química de un contaminante determina su toxicidad y por consiguiente permite fijar ciertos criterios para establecer los límites de limpieza. Las características naturales de los suelos, sedimentos y cuerpos de agua, a menudo determinan las particularidades de los sistemas de tratamiento, (Saval, 1995).

### **Elementos para la elección de una técnica de remediación**

La elección de las técnicas de remediación compete no solo a la técnica de remediación, si no también a las características del sitio como: (Cortinas y Mosler, 2002).

- a. Comprender la función que desempeña el suelo afectado en el sitio específico.
- b. Conocer perfectamente el problema de la contaminación con información reciente.
- c. Identificar las características de una técnica de remediación limpia.
- d. Conocer las ventajas, desventajas y limitaciones de la técnica de remediación.
- e. Definir claramente el uso que se le dará al suelo después de su remediación, que de acuerdo a la legislación puede ser: agrícola,



forestal, recreativo, residencial, de conservación, comercial o industrial.

## **Biorremediación**

La biorremediación es la herramienta más adecuada para la recuperación de suelos contaminados con hidrocarburo. El tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos es esencial para mantener la calidad del medio ambiente. La biorremediación es una herramienta efectiva para mejorar la degradación de contaminantes en el suelo, (Lucas *et al*, 2003).

La biorremediación es el proceso utilizado por el hombre para detoxificar variados contaminantes en los diferentes ambientes –mares, estuarios, lagos, ríos y suelos, usando de forma estratégica microorganismos, plantas o enzimas de estos. Esta técnica es utilizada para disminuir la contaminación por los hidrocarburos de petróleo y sus derivados, metales pesados e insecticidas; además se usa para el tratamiento de aguas domésticas e industriales, aguas procesadas y de consumo humano, aire y gases de desecho, (Vargas *et al*, 2004).

La biorremediación de suelos contaminados con petróleo es desarrollada para limpiar y/o disminuir el contenido de hidrocarburos de diferentes niveles de toxicidad presentes en los suelos después de ocurrido un derrame; son numerosas las metodologías biológicas que se utilizan con este propósito, pero todas están basadas en la capacidad de los

microorganismos de biotransformar compuestos orgánicos, por lo general hacia productos menos tóxicos o de más fácil degradación. (Saval, 1995).

Las técnicas de biorremediación generalmente son aplicadas en suelos con concentraciones de hidrocarburos totales del orden del 5 a 8 %, extendiéndose estos valores a rangos mayores para suelos fácilmente aireables; debe destacarse que la determinación cuantitativa de hidrocarburos en suelo es compleja, ya que la mayor parte de las técnicas se basan en la extracción de las diversas fracciones por solventes, según sea el método utilizado para determinación de hidrocarburos se obtendrán valores diferentes, que para determinados tipos de suelos e hidrocarburos pueden ser muy marcados. De esto surge la importancia de especificar el método analítico a utilizar, (Álvarez y Díaz, 1997).

Las rutas de biodegradación de los contaminantes orgánicos, varían en función de la estructura química del compuesto y de la especie degradadora microbiana. El proceso de biorremediación incluye reacciones de oxido – reducción, proceso de sorción e intercambio iónico, e incluso reacciones de acomplejamiento y que resultan en la inmovilización de metales (Bohorquez, 1998).

La biorremediación puede emplear organismos propios del sitio contaminado (autóctonos) o de otros sitios (exógenos), puede realizarse *in situ* o *ex situ*, en condiciones aerobias (en presencia de oxígeno) o anaerobias (sin oxígeno). Aunque no todos los compuestos orgánicos son susceptibles a

la biodegradación, los procesos de biorremediación se han usado con éxito para tratar suelos, lodos y sedimentos contaminados con hidrocarburos del petróleo (HTP), solventes (benceno y tolueno), explosivos (TNT), clorofenoles, pesticidas, conservadores de madera e hidrocarburos aromáticos policíclicos (Van Deuren *et al*; 1997)

### **Bioestimulación**

Es el proceso por el cual se adicionan (modifica) medios adecuados que estimulen el crecimiento y desarrollo de microorganismos que son capaces de degradar los contaminantes del sustrato. En la mayoría de los casos, la biorremediación de los suelos ocurre satisfactoriamente por estimulación de los microorganismos en un sitio con los nutrientes requeridos o de otros factores (Bidleman *et al*, 1990). En este trabajo la bioestimulación se expone que fue mejorada por la aplicación tanto de estiércol vacuno, como equino.

### **Biomagnificación**

Se le denomina biomagnificación al proceso de inoculación y siembra con microorganismos específicos, aunque esto pueda ser una desventaja en ciertos ciclos, por ejemplo, cuando el contaminante es una molécula compleja la cual solo puede ser rota por una combinación particular de varios microorganismos específicos (llamados consorcio) tales contaminantes incluyen hidrocarburos poliaromáticos (HPAs), compuestos orgánicos halogenados, ciertos pesticidas, explosivos como el trinitrotolueno (TNT) Policlorobifenilos (PCFs), (Bidleman *et al*, 1990)

## **Definición de suelo**

La palabra suelo se deriva del latín *solum*, que significa suelo, o tierra o parcela. Los suelos se forman por la combinación de cinco factores interactivos: material parental, clima, topografía, Organismos vivos y tiempo. Los suelos constan de cuatro grandes componentes: material mineral, material orgánica, agua y aire; la composición volumétrica aproximada es de 45, 5, 25 y 25%, respectivamente. Los constituyentes minerales (inorgánicos) de los suelos normalmente están compuestos de pequeños fragmentos de roca y minerales de varias clases. Las cuatro clases más importantes de partículas inorgánicas son: grava, arena, limo y arcilla, (Fuente, 2004).

El suelo y subsuelo constituyen un recurso natural difícilmente renovable que desempeña funciones como medio filtrante durante la recarga de los mantos acuíferos y la protección de los mismos es el lugar donde ocurren los ciclos biogeoquímicos, hidrológicos y las redes tróficas, además de ser el espacio donde se realizan las actividades agrícolas, ganaderas y ser el soporte de la vegetación ( *Saval, 1995*).

## **Propiedades del suelo Natural**

El suelo es un recurso natural definido generalmente como la capa superior de la corteza terrestre, está formado por partículas de minerales, materia orgánica, agua, aire y allí nacen y se desarrollan miles de seres vivos, desde microorganismos hasta plantas y animales superiores, (Contreras, 2005).

Los suelos han sufrido degradaciones de todo tipo, pero desde el punto de vista medioambiental, es muy importante el papel que ha jugado

## Condiciones que influyen en la tecnología de remediación

A continuación se describen algunos de los datos del suelo, que pueden obtenerse con relativa facilidad y que controlan la eficiencia de una tecnología de remediación (Van Deuren *et al.* 1997):

**Tamaño de partícula.** Los suelos se clasifican en función a su tamaño de partícula, siendo sus tres principales componentes las arcillas (< 0.002 mm), los sedimentos (0.002 - 0.05 mm) y las arenas (0.05 - 2.0 mm). Es importante considerar esta propiedad, ya que la relación área/volumen de los diferentes tipos de partícula, tienen un impacto directo sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y por consiguiente en las tecnologías de remediación. En general, los materiales no consolidados (arenas y gravas finas) son más fáciles de tratar (Van Deuren , 1997; Eweis 1998).

**Heterogeneidad.** Un suelo demasiado heterogéneo puede impedir el uso de tecnologías in situ que dependan del flujo de un fluido. Pueden crearse canales indeseables de fluidos en las capas arenosas y arcillosas, dando como resultado tratamientos inconsistentes (Van Deuren *et al.*, 1997).

**Densidad aparente.** Es el peso del suelo por unidad de volumen, incluyendo agua y espacios. Es importante considerar que el suelo está compuesto por sólidos y espacios llenos de agua y/o aire, y que su densidad dependerá de su humedad. Es útil para realizar cálculos para el transporte del material (Van Deuren *et al.*, 1997)

**Permeabilidad.** Se refiere a la facilidad o dificultad con la que un líquido puede fluir a través de un medio permeable. La permeabilidad de un suelo es uno de los factores que controla la efectividad de tecnologías in situ. En general, una baja permeabilidad en el suelo disminuye la efectividad de la mayoría de las tecnologías de remediación, (Sellers, 1999).

**El pH.** determina el grado de adsorción de iones por las partículas del suelo, afectando así su solubilidad, movilidad, disponibilidad y formas iónicas de un contaminante y otros constituyentes del suelo (Alexander, 1994).

**Humedad.** La humedad del sitio a tratar es un factor importante para la elección de una tecnología en particular. Una alta humedad puede impedir el movimiento de aire a través del suelo, lo que afecta los procesos de biorremediación, así como provocar problemas durante la excavación y transporte, además de aumentar costos durante el uso de métodos de remediación térmicos (Van Deuren *et al.*, 1997).

**Materia orgánica.** La fracción orgánica de los suelos está constituida por desechos vegetales y animales, y generalmente se le conoce como humus. Un suelo con alto contenido húmico, disminuye la movilidad de compuestos orgánicos y así la eficiencia de ciertas tecnologías (extracción de vapores, lavado de suelo) (Van Deuren, 1997; Eweis, 1998).

El tipo de contaminante y sus características físicas y químicas determinan si un sitio requiere ser remediado y la manera en la que el contaminante debe tratarse. Además, dichas propiedades determinan cómo

08120

puede ser el movimiento del contaminante y si éste es o no persistente en el ambiente. La estructura química de un contaminante determina su toxicidad y por consiguiente permite fijar ciertos criterios para establecer los límites de limpieza. Las características naturales de los suelos, sedimentos y cuerpos de agua, a menudo determinan las particularidades de los sistemas de tratamiento, (SEMARNAT, 2005).

### Contaminación del suelo

Los suelos tienen propiedades físicas y químicas muy diferentes, pero además están sometidos a distintas variaciones en la humedad, el pH y las condiciones redox. El problema es que cuando un espacio se encuentra contaminado afecta a varios medios como el aire, las aguas superficiales, las aguas subterráneas, el suelo y los receptores potenciales. Además, es una contaminación dinámica porque al moverse los contaminantes en el terreno a través de las capas más permeables se facilitan su dispersión y esto hace que aumente el área afectada (Enríquez, 2003).

La contaminación del suelo debida a fuentes antropogenias (causadas por el hombre) se debe fundamentalmente a (Enríquez, 2003):

- a. Ciertas prácticas agrícolas, como el uso abusivo de fertilizantes y pesticidas inorgánicos, así como el uso de aguas residuales y abonos orgánicos.
- b. Las explotaciones mineras y de procesado que incorporan al suelo elementos tóxicos procedentes de las minas.
- c. El transporte, como lo demuestran los suelos contaminados en los alrededores de carreteras.

- d. Los procesos industriales, debido, por una parte, a las emisiones que pueden depositarse en suelos y vegetación, y por otra a los residuos industriales.

Los contaminantes más habituales que se pueden encontrar en los suelos son los siguientes:

- ❖ metales pesados
- ❖ hidrocarburos no halogenados: PAHs...
- ❖ hidrocarburos halogenados
- ❖ aceites minerales
- ❖ pesticidas

### **Petróleo**

El petróleo es una mezcla muy compleja de cientos de compuestos químicos; sus características y la proporción de sus constituyentes varían en función de su origen geológico y geográfico. El petróleo es un producto natural, por lo que la propia naturaleza es capaz de reincorporar una muy pequeña fracción de éste a los ciclos biogeoquímicos, ya que la complejidad química de algunos de sus constituyentes hace que el proceso requiera varios años. Cuando la cantidad de petróleo en el ambiente es mayor de la que puede ser reciclada, se convierte en un contaminante de impacto negativo, ya que entre sus componentes existen altas concentraciones de sustancias consideradas como residuos peligrosos por su efecto dañino a la salud, (Grega *et al* , 2000).



El petróleo es un compuesto formado por átomos de carbono e hidrógeno, de gran abundancia en la naturaleza, (Chappín 1988 y PEMEX 1988 ). Se consideran como una mezcla compleja de gases, líquidos y sólidos, existiendo cantidades combinadas de nitrógeno, oxígeno y azufre, además de contener compuestos de hierro, níquel, vanadio y otros metales (PEMEX 1988)

El petróleo tiene una proporción de 76 a 86% de carbono y 10 a 14% de hidrógeno. Los hidrocarburos se clasifican de la siguiente forma:

- Hidrocarburos biogénicos: éstos son sintetizados por casi todas las plantas, animales terrestres y marinos, incluyendo a la microbiota, bacterias, plancton marino, diatomeas, algas y plantas superiores (Bedair y Al-Saad 1992).

- Hidrocarburos antrópicos: éstos son introducidos como resultado de la actividad humana. Los procesos de combustión industrial contribuyen con la contaminación debido principalmente al humo generado por la quema del carbón, combustibles fósiles y petróleo refinado, las descargas de aguas municipales, las actividades de transporte y los derrames son algunas de las principales fuentes de estos contaminantes (Bidleman *et al.* 1990).

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), producidos por las actividades humanas, están formados por dos o más anillos de benceno fusionados, los cuales difieren en el número y posición del anillo aromático.

Su importancia está relacionada con la movilidad debido a su peso molecular: los HAP de alto peso molecular son relativamente inmóviles y, por

ende, de baja volatilidad y solubilidad. Algunos compuestos como naftaleno, acenaftileno, acenafteno, fluoreno, fenentreno, antraceno, fluoranteno y pireno por mencionar algunos, son considerados como contaminantes prioritarios por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US Environmental Protection Agency, EPA), la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Comunidad Europea (CE) debido a sus efectos carcinogénicos (Menzie *et.al*, 1992).

### **Contaminación por petróleo**

Más de dos mil millones de toneladas métricas de petróleo son producidas por año en todo el mundo y una larga cantidad de los productos finales contamina los ambientes marinos y terrestres (Bartha, 1986). La contaminación por petróleo se caracteriza por su persistencia en el ecosistema, a pesar de los procesos de degradación natural y/o antropogénica que puedan ser sometidos, (Carls, 2001).

La persistencia de estos contaminantes es que los perfiles de concentración obtenidos en columnas de sedimentos han servidos como archivos naturales para la construcción de descargas históricas antropogénicas, lo cual resulta importante para evaluar el éxito de medidas recientes de control de la contaminación, (Santschi, 2001).

La contaminación por hidrocarburos tiene un pronunciado efecto sobre las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de un suelo, pudiendo impedir o retardar el crecimiento de la vegetación sobre el área

contaminado, (Luque, 1995). Este aumento en la explotación del petróleo ha determinado la aparición de crecientes fuentes de contaminación. Por ejemplo: derrames accidentales desde buques petroleros, extracción y el procesamiento del petróleo y sus derivados, etc, (Tirado *et al*, 2005).

La contaminación de los suelos por hidrocarburos tiene un pronunciado efecto sobre las propiedades de los suelos con procesos de salinización, toxicidad sobre los microorganismos y mortandad de la vegetación por efectos fitotóxicos. La biodegradación "in situ" de los hidrocarburos es la degradación biológica del petróleo y derivados llevada a cabo por bacterias y hongos que poseen la capacidad de oxidarlos, mineralizarlos y transformarlos en biomasa, (Nakamatsu, 1996).

#### **Legislación ambiental en materia de hidrocarburos.**

La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) es el instrumento fundamental que introdujo la modificación en el régimen de las autorizaciones de obras o actividades "que pueden causar desequilibrios ecológicos o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas, a fin de evitar o de reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el ambiente". Se menciona particularmente, para las actividades petroleras, (LGEEPA, 1996) :

- I. Obras hidráulicas, vías generales de comunicación, oleoductos, gasoductos y carbo ductos;

- II. Industria del petróleo, petroquímica, química, siderúrgica, papelera, azucarera, del cemento y eléctrica;
- III. Obras o actividades que correspondan a asuntos de competencia federal, que pueden causar desequilibrios ecológicos graves e irreparables, daños a la salud pública o a los ecosistemas, o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones jurídicas relativas a la preservación del equilibrio ecológico y la protección al ambiente.

Una vez que se ha diagnosticado el estado de contaminación de un sitio, suelo y subsuelo se deben plantear opciones para su limpieza y establecer los niveles de limpieza. Es decir el límite máximo de contaminación que se aceptará en un suelo después de haber sido sometido a un tratamiento de remediación. En la actualidad existen normas que señalan los límites máximos permisibles de contaminación en suelos afectados por hidrocarburos, la caracterización del sitio y procedimientos para su restauración (NOM-EM- 138-ECOL-2002).

La protección de los elementos naturales del suelo queda alineada en el ámbito general de la LGEEPA, por lo mismo, son aplicables sus instrumentos de control, la ordenación ecológica del territorio, la manifestación del impacto ambiental para obras y actividades antes mencionadas, la adopción de medidas de protección en áreas naturales, a través del Instituto Nacional de Ecología (INE) y Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), órganos desconcentrados de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, en la

inspección, vigilancia y aplicación de medidas para la conservación y preservación del ambiente (Díaz, 1995).

**Cuadro 1. Límites permisibles para hidrocarburos (NOM-EM-138-ECOL-2002)**

Contaminantes	Uso de suelo predominante 1			Método analítico (EPA)
	Agrícola, forestal, recreativo y de conservación	Residencial comercial	Industrial	
Gasolina	200.00	200.00	500.00	8015B
HTP	20.00	20.00	50.00	8240*, 8260*
Benceno	40.00	40.00	100.00	8240*, 8260*
Tolueno	40.00	40.00	100.00	
Diesel	1,000.00	1,000.00	2,000.00	8015B
HTP	0.08	0.08	0.80	8310*, 8270*
Benzo[a]pireno	0.80	0.80	8.00	8310*, 8270*
Benzo[a]antraceno	0.80	0.80	8.00	8310*, 8270*
Benzo[b]fluoranteno	8.00	8.00	80.00	8310*, 8270*

### Las Tecnologías de Biorremediación en México

En el mercado ambiental de nuestro país, actualmente existen una gran cantidad de empresas que ofrece diferentes tipos de tecnologías para la remediación de sitios contaminados. Sin embargo, no fue hasta 1997, que las autoridades ambientales establecieron un programa de verificación y

certificación de estas empresas. Actualmente para poder realizar un trabajo de remediación es necesario contar con permisos específicos, como la licencia ambiental única (LAU) (SEMARNAT, 2002).

De acuerdo con datos proporcionados por la SEMARNAT, todas las tecnologías que ofrecen las empresas que cuentan con permisos para remediar suelos contaminados, están enfocadas exclusivamente a la remediación de sitios contaminados con compuestos orgánicos. De un total de 57 empresas autorizadas, ninguna ofrece servicios para la restauración de suelos contaminados con metales. Dentro de los contaminantes tratados, principalmente se encuentran los hidrocarburos (HTPs, HAP), lodos aceitosos, lodos de perforación y recortes de perforación (SEMARNAT, 2002).

De acuerdo con datos proporcionados por 40 empresas autorizadas para remediar suelos contaminados con diferentes tipos de contaminantes, la mayoría (31) utilizan métodos biológicos (biorremediación) para el tratamiento. El lavado de suelos, la oxidación química y la separación física constituyen otra parte importante de las tecnologías más empleadas en México. (SEMARNAT, 2002):

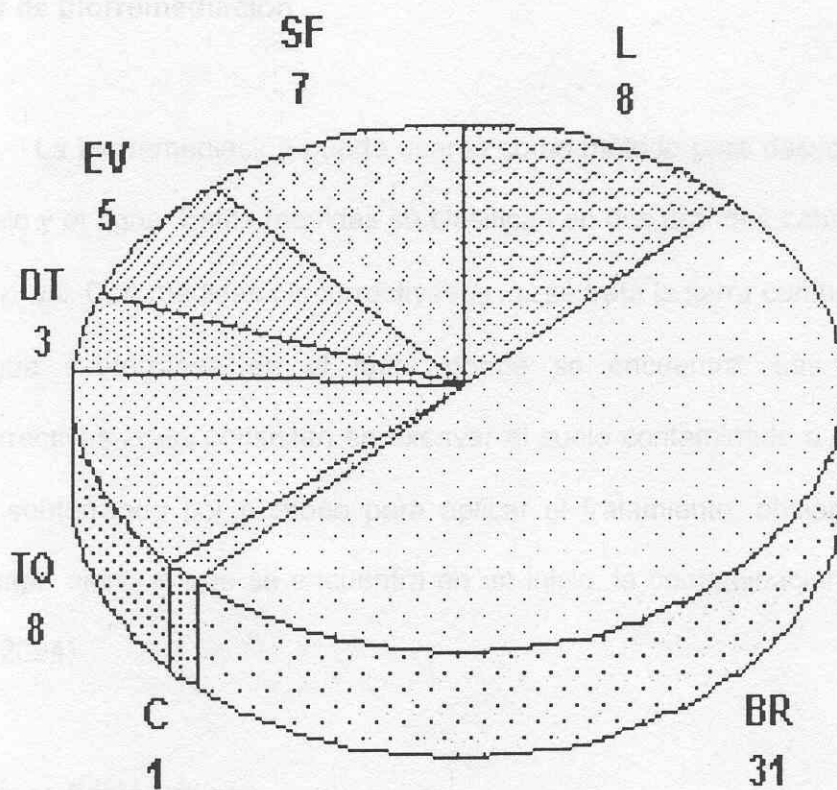


Figura 1. Tecnologías de remediación de suelos utilizadas en México por empresas autorizadas. BR: biorremediación; L: lavado; SF: separación física; EV: extracción de vapores; DT: desorción térmica; TQ: tratamiento químico; C: centrifugación (SEMARNAT, 2002).

## Tipos de biorremediación

La biorremediación puede usarse como método para descontaminar el suelo y el agua. Estas medidas se clasifican en dos grandes categorías: *in situ* y *ex situ*. Con medidas biocorrectivas *in situ* se trata la tierra contaminada o el agua subterránea en el lugar donde se encuentra. Las medidas biocorrectivas *ex situ* consisten en excavar el suelo contaminado o extraer el agua subterránea por bombeo para aplicar el tratamiento, obviamente en otro lugar ajeno al que se encuentra en un inicio, la contaminación, (Torras et al, 2004).

### Biorremediación *in situ*

Con las técnicas *in situ* no es necesario excavar el suelo contaminado, de modo que son menos costosas, levantan menos polvo y liberan menos contaminantes que las técnicas *ex situ*. Sin embargo, las técnicas *in situ* pueden llevar más tiempo que las técnicas *ex situ*, pueden ser difíciles de manejar y son más eficaces en suelos permeables (arenosos o que no sean compactos), (Torras et al 2004). La biodegradación "*in situ*" de los hidrocarburos es la degradación biológica del petróleo y derivados llevada a cabo por bacterias y hongos que poseen la capacidad de oxidarlos, mineralizarlos y transformarlos en biomasa, (Álvarez et al, 2004).



## Biorremediación *ex situ*

Las técnicas *ex situ* llevan menos tiempo, son más fáciles de controlar y se usan para tratar una gama más amplia de contaminantes y tipos de suelo que las técnicas *in situ*. No obstante, requieren la excavación y el tratamiento del suelo afectado antes de la biorremediación en sí y, a veces, incluso después. Entre las técnicas *ex situ* cabe señalar la biorremediación de fase de lechada, y las de fase sólida, (Torras *et al*, 2004):

### Biorremediación de fase de lechada

La tierra impactada se combina con agua y otros aditivos en un tanque grande denominado "biorreactor"; se mezcla para mantener los microorganismos presentes en la tierra en contacto con los contaminantes, y se añaden nutrientes y oxígeno. Las condiciones en el biorreactor se controlan a fin de crear el medio óptimo para que estos degraden los contaminantes. Una vez concluido el tratamiento, se separa el agua de los sólidos, y se eliminan o se someten a un tratamiento ulterior si todavía tienen contaminantes. El tratamiento biológico de fase de lechada puede ser relativamente rápido en comparación con otros procesos biológicos, particularmente para la arcilla contaminada. Esta técnica es particularmente útil en los casos en que se necesitan medidas correctivas rápidas. (Velasco y Volke 2003)

## **Biorremediación de fase sólida**

Se somete la tierra a un tratamiento en la superficie, con sistemas de recolección para evitar la fuga de contaminantes. Se controla la humedad, el calor, los nutrientes y el oxígeno a fin de propiciar la biodegradación para aplicar este tratamiento. Estos sistemas son relativamente sencillos de usar y de mantener, aunque ocupan mucho lugar y la limpieza lleva más tiempo que con los procesos de fase de lechada. Los de tratamiento de fase sólida abarcan el tratamiento de la tierra, biopilas de tierra y la producción de abonos a partir de desechos. (Velasco y Volke, 2003)

## **Ventajas de la biorremediación**

La biorremediación ofrece diversas ventajas con respecto a los tratamientos físicos y químicos empleados en el tratamiento de agua y terrenos contaminados según (Gabriel, 1992):

- ❖ Se usan microorganismos naturales cuyo hábitat es el suelo, para descomponer sustancias peligrosas en sustancias menos tóxicas, o que no sean tóxicas.
- ❖ Es un proceso natural, eficaz en función del costo, que puede aplicarse a muchos desechos orgánicos comunes.

- ❖ Por su costo y eficiencia ofrece ventajas sobre otros sistemas utilizados para la degradación, o separación de contaminantes en suelo y agua
- ❖ El suelo puede ser reutilizado
- ❖ Las bacterias exógenas o degradadoras de los contaminantes mueren cuando los nutrientes y los contaminantes orgánicos se agotan.

### **Desventajas de la biorremediación**

- ❖ En las arcillas es muy difícil llevar a cabo una biorremediación (permeabilidad)
- ❖ Requiere de mucho tiempo (depende del tipo de contaminante)
- ❖ En ocasiones, las bacterias se inhiben por la alta concentración de la contaminación
- ❖ Muchas veces la disminución de hidrocarburos es por la volatilización

### **Características de las técnicas de biorremediación**

- ❖ Económicas: más baratas que otras tecnologías
- ❖ Efectivas: los contaminantes son realmente transformados
- ❖ Versátiles: el proceso se adapta a las condiciones del sitio según sus requerimientos
- ❖ Seguras: "amables con el ambiente".

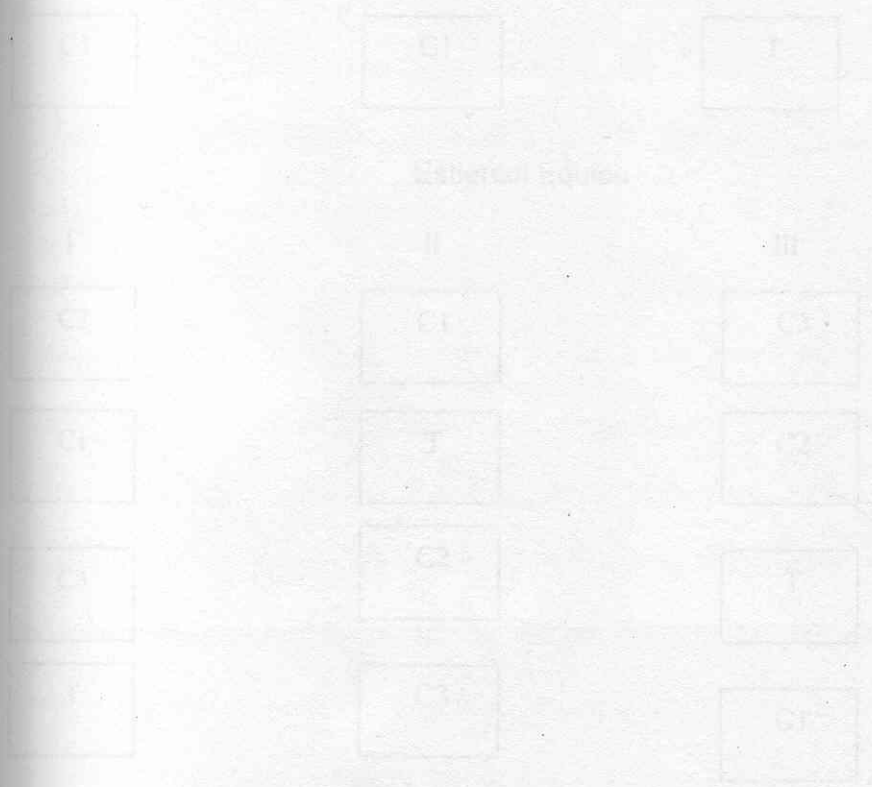
## MATERIALES Y METODOS

### Ubicación del área de estudio

Este trabajo se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna (UAAAN –UL) ubicada en carretera a Santa Fe y Periférico, Torreón, Coahuila. Con coordenadas Longitud oeste  $103^{\circ} 22.397'$ , altitud 1130 m, latitud norte  $25^{\circ} 33.281'$ , en esta localidad se seleccionó un área en la cual, se aplicaron tres cantidades de gasolina,  $C_1 = 5$  litros;  $C_2 = 10$  litros;  $C_3 = 15$  litros y un testigo = 0, se aplicó la cantidad de 120 kilos de estiércol equino en cada tratamiento y 160 kilos de estiércol vacuno en cada tratamiento, posteriormente se mezcló el estiércol y el suelo.

Para ello se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con 6 repeticiones, 3 repeticiones para el estiércol vacuno y 3 repeticiones para el estiércol equino, cada tratamiento se hizo en  $1 \text{ m}^2$ . Dicha determinación se obtuvieron mediante las técnicas de: método del hidrómetro de Bouyoucos (SARH 1985), Materia Orgánica (Walkley y Black modificado 1934), método de Kjeldahl (Etchevers y *et al*, 1971), y extracto de la pasta de saturación (Jackson, 1964; Richards 1990). Se sacaron una muestra de cada tratamiento incluyendo el testigo, las muestras se obtuvieron desde el inicio del experimento que fue el 07 y 08 de junio del 2006. Posteriormente se obtuvo una muestra cada mes: el 07 y 08 de julio, 07 y 08 de agosto, 07 y 08 de septiembre del 2006. Las muestras fueron trasladados al laboratorio de suelos de la UAAAN – UL, en dicho laboratorio se determinó la concentración de: Carbono (%), Nitrógeno (%) y la relación carbono

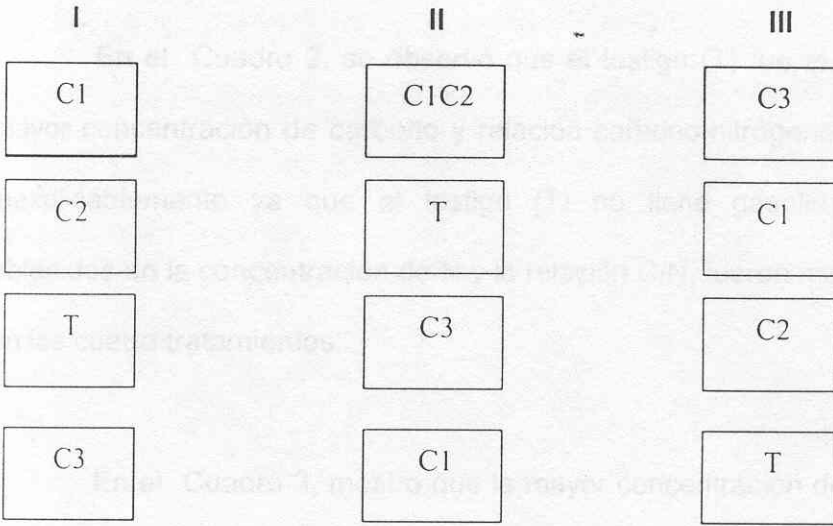
nitrógeno. Los datos obtenidos de la relación C: N se tomó en cuenta para la determinación del grado de destrucción de hidrocarburos por parte de los microorganismos. Para ello se restó el valor obtenido del testigo con los valores del tratamiento. El criterio seguido, es que valores menores a 150 que presente cada tratamiento indicará que hubo degradación, entre menor sea el valor obtenido mas degradación de hidrocarburos se detectarán (Burmeier, 1988).



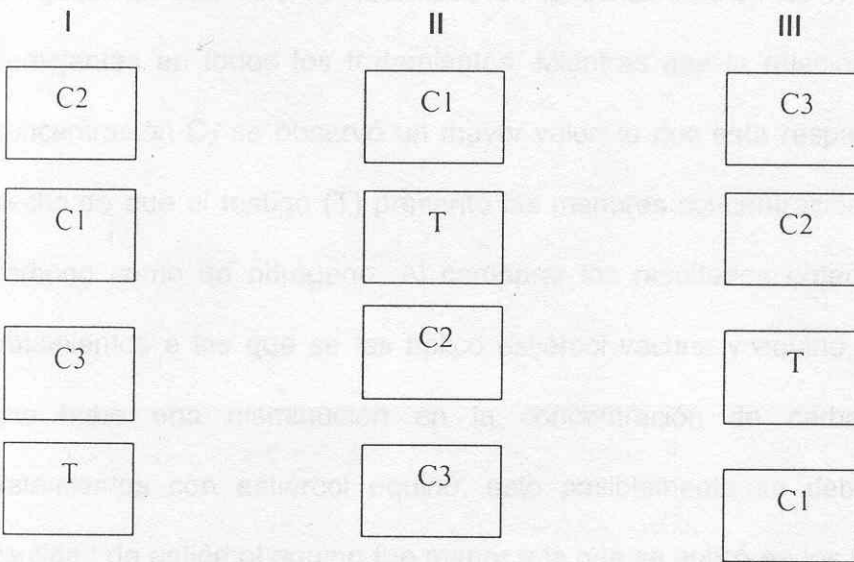
C1 = 0 Litros de gasolina  
C2 = 10 Litros de gasolina  
C3 = 15 Litros de gasolina  
1 m<sup>2</sup>

Figura 3. Diseño experimental empleado para medir la degradación de hidrocarburos en la mezcla de suelo y eslien de vacuno y equino.

### Estiércol vacuno



### Estiércol Equino



C<sub>1</sub> = 5 Litros de gasolina

C<sub>2</sub> = 10 Litros de gasolina

C<sub>3</sub> = 15 Litros de gasolina


 = 1 m<sup>2</sup>

Figura 2. Diseño experimental empleado para medir la degradación de hidrocarburos en la mezcla de suelo y estiércol vacuno y equino.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2, se observó que el testigo (T) fue el que presentó mayor concentración de carbono y relación carbono-nitrógeno. Siendo esto inexplicablemente ya que el testigo (T) no tiene gasolina. Los datos obtenidos en la concentración de N y la relación C/N, fueron muy semejantes en los cuatro tratamientos.

En el Cuadro 3, mostró que la mayor concentración de carbono fue el tratamiento C<sub>3</sub>, lo cual es lógico ya que se le adicionó la mayor cantidad de gasolina. Los valores obtenidos en la concentración de N fueron muy semejantes en todos los tratamientos. Mientras que la relación C/N en la concentración C<sub>3</sub> se observó un mayor valor, lo que está respaldado por el hecho de que el testigo (T) presentó las menores concentraciones tanto de carbono como de nitrógeno. Al comparar los resultados obtenidos en los tratamientos a los que se les aplicó estiércol vacuno y equino, se observó que hubo una disminución en la concentración de carbono en los tratamientos con estiércol equino, esto posiblemente se deba a que la cantidad de estiércol equino fue menor a la que se aplicó en los tratamientos que contienen estiércol vacuno (Cuadro 2 y 3).

En el Cuadro 4, muestra que en los tratamientos a los que se aplicó estiércol vacuno a los 30 días la relación C/N, fue más alta en la C<sub>1</sub> y el T. A los 60 días fue en la C<sub>2</sub> y enseguida en el T, a los 90 días el T fue el que alcanzó mayor valor y enseguida la C<sub>3</sub>.

En el Cuadro 5, muestra que en los tratamientos a los que se aplicó estiércol equino a los 30 días la relación C/N, fue más alta en el T siguiendo la C<sub>2</sub>. A los 60 días fue en el T y enseguida la C<sub>2</sub>, a los 90 días la C<sub>2</sub> fue la que alcanzó mayor valor y enseguida el T.

CUADRO 2. CONCENTRACIÓN DE C (%), N (%) Y LA RELACIÓN C/N, EN LOS TRATAMIENTOS DE DISTINTAS CANTIDADES DE GASOLINA A LOS QUE SE APLICÓ ESTIÉRCOL VACUNO. 7 JUNIO DE 2006.

Tratamientos	C %	N %	C/N
C <sub>1</sub>	10.80	0.278	38.84
C <sub>2</sub>	5.37	0.347	15.47
C <sub>3</sub>	11.24	0.208	54.03
T	14.62	0.347	42.13

CUADRO 3. CONCENTRACIÓN DE C (%), N (%) Y LA RELACIÓN C/N, EN LOS TRATAMIENTOS DE DISTINTAS CANTIDADES DE GASOLINA A LOS QUE SE APLICÓ ESTIÉRCO EQUINO. 8 JUNIO DE 2006.

Tratamientos	C %	N %	C/N
C <sub>1</sub>	7.5	0.208	36.05
C <sub>2</sub>	8.03	0.208	38.60
C <sub>3</sub>	8.90	0.139	64.02
T	6.56	0.069	95.07



CUADRO 4. CONCENTRACIÓN C (%), N (%) Y RELACIÓN C/N EN LOS TRATAMIENTOS DE DISTINTAS CANTIDADES DE GASOLINA A LOS QUE SE APLICÓ ESTIÉRCOL VACUNO A LOS 30, 60 Y 90 DIAS DE INICIADO EL EXPERIMENTO. UAAAN – UL. 2006.

TRATAMI ENTOS	30 DIAS			60 DIAS			90 DIAS		
	C (%)	N (%)	C/N	C (%)	N (%)	C/N	C (%)	N (%)	C/N
C <sub>1</sub>	8.03	0.27	28.8	9.32	0.27	33.5	7.2	0.27	26.1
C <sub>2</sub>	6.64	0.34	19.1	11.5	0.20	55.7	14.4	0.34	41.5
C <sub>3</sub>	6.99	0.83	8.38	15.6	0.76	20.4	11.5	0.20	55.2
T	7.86	0.27	28.2	16.4	0.34	47.2	15.7	0.23	65.6

CUADRO 5. CONCENTRACIÓN C (%), N (%) Y RELACIÓN C/N EN LOS TRATAMIENTOS DE DISTINTAS CANTIDADES DE GASOLINA A LOS QUE SE APLICÓ ESTIÉRCOL EQUINO A LOS 30, 60 Y 90 DIAS DE INICIADO EL EXPERIMENTO. UAAAN – UL. 2006.

TRATAMI ENTOS	30 DIAS			60 DIAS			90 DIAS		
	C (%)	N (%)	C/N	C (%)	N (%)	C/N	C (%)	N (%)	C/N
C <sub>1</sub>	11.3	0.48	23.3	6.71	0.27	24.1	4.37	0.41	10.4
C <sub>2</sub>	9.44	0.34	27.2	9.32	0.34	26.8	7.66	0.34	22.0
C <sub>3</sub>	13.2	0.55	23.8	8.57	0.55	15.4	3.83	0.41	9.18
T	16.6	0.33	48.9	5.96	0.13	42.8	3.64	0.20	17.5

CUADRO 6. DEGRADACIÓN DE HIDROCARBUROS EN LOS TRATAMIENTOS (C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> Y C<sub>3</sub>) CON ESTIÉRCOL VACUNO A LOS 30, 60 Y 90 DIAS. UAAAN – UL. 2006

Tratamientos	30 (Días)	60 (Días)	90 (días)	Promedio (X)
C	0.61	13.77	39.54	17.56
C <sub>2</sub>	9.14	8.28	24.14	13.85
C <sub>3</sub>	19.88	26.82	10.41	19.03
Promedio (X)	9.9	16.3	24.7	

CUADRO 7. DEGRADACIÓN DE HIDROCARBUROS EN LOS TRATAMIENTOS (C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> Y C<sub>3</sub>) CON ESTIÉRCOL VACUNO A LOS 30, 60 Y 90 DIAS. UAAAN – UL. 2006

Tratamientos	30(días)	60 (días)	90 (días)	Promedio (X)
C <sub>1</sub>	25.67	18.74	7.03	17.14
C <sub>2</sub>	21.79	16.02	4.57	14.12
C <sub>3</sub>	25.11	27.46	8.32	20.29
Promedio (X)	24.2	20.7	6.64	

CUADRO 8 COMPARACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE HIDROCARBUROS EN LOS TRATAMIENTOS (C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> Y C<sub>3</sub>) CON ESTIÉRCOL VACUNO Y EQUINO, UAAAN – UL. 2006.

Tratamientos	Estiércol vacuno	Estiércol equino
C <sub>1</sub>	17.56	17.14
C <sub>2</sub>	13.85	14.12
C <sub>3</sub>	19.03	20.3
Promedio (X)	50.44	51.96

En el Cuadro 6, se observó que la mayor degradación de hidrocarburos aplicando estiércol vacuno fue en la C<sub>1</sub>, (0.61) a los 30 días. Enseguida a los 60 días en la C<sub>2</sub> (8.28). Cabe mencionar que a los 30 días la C<sub>2</sub> presentó una alta degradación que fue de (9.14). En términos generales se observó que la menor degradación se obtuvo a los 90 días en la C<sub>1</sub> (39.5). Para las 3 concentraciones la mayor degradación en promedio se obtuvo a los 30 días (9.9) y la menor degradación fue a los 90 días (24.7). El promedio de degradación para cada tratamiento considerando el total de días, en la concentración C<sub>3</sub> fue la que mayor degradación de hidrocarburos hubo (13.85). Mientras que la menor degradación se obtuvo en la C<sub>3</sub> (19.03)

En el Cuadro 7, se observó que la mayor degradación de hidrocarburos aplicando estiércol equino fue en la C<sub>2</sub>, (4.57) enseguida la C<sub>1</sub> y la C<sub>3</sub> a los 90 días. Cabe mencionar que a los 60 días la C<sub>2</sub> presentó una alta degradación que fue de (16.02). En términos generales se observó que

la menor degradación se obtuvo a los 60 días en la C<sub>3</sub> (27.46). Para las 3 concentraciones la mayor degradación en promedio se obtuvo a los 90 días (6.64) y la menor degradación fue a los 30 días (24.19). El promedio de degradación para cada tratamiento considerando el total de días, la concentración C<sub>2</sub> fue la que mayor degradación de hidrocarburos hubo (14.12). Mientras que la menor degradación se obtuvo en la C<sub>3</sub> (20.29).

En el Cuadro 8, se comparó la degradación de hidrocarburos obtenidos en el estiércol vacuno y equino y se observó que la mayor degradación se obtuvo en el estiércol vacuno con (50.44) y la menor degradación en el estiércol equino con (51.96). Aunque fue poca la diferencia encontrada.

## CONCLUSIONES

Por los resultados obtenidos se acepta que hubo biodegradación de gasolina en los diferentes tratamientos a la cual se les aplicó estiércol vacuno y equino. En este trabajo se observó que el estiércol vacuno aunque con poca diferencia es más eficiente que el estiércol equino. Posiblemente por que en el estiércol vacuno fue mayor cantidad de estiércol en comparación con el equino.

La mayor biodegradación de gasolina se obtuvo a los 30 días en la C<sub>1</sub> aplicando estiércol vacuno. La menor biodegradación de gasolina se obtuvo a los 60 días en la C<sub>3</sub> aplicando estiércol vacuno.

La mayor biodegradación de gasolina con la aplicación de estiércol equino se obtuvo a los 90 días en la C<sub>2</sub> y la menor biodegradación de gasolina fue a los 60 días en la C<sub>3</sub>.

## SUGERENCIAS Y RECOMENDACIONES

Es necesario hacer mas muestreos en diferentes fechas y tratamientos, posiblemente que se le de mas aireación al suelo, ya que es un factor importante para la proliferación de los microorganismos.

Comprobar esta teoría con otros tipos de estiércol como la del conejo, cabras, pollos, etc. Posiblemente con otras cantidades de gasolina.

## REFERENCIAS

Abiola y Olnyk, 1997. Effects of amend surfactants on bioremediation of hydrocarbon contaminated soil by composting 34 th annual soil science.

Adams Schoroeder 1999. Bioremediation potential of oil impacted soil and water in the Mexican Tropics, pp. 159 – 174.

Al – daher, R, 1999. Bioremediation of oil contaminated soil in Kuwait (part 2): exsitu biological treatment technologies. The fifth international insitu and on site bioremediation symposia siebe et al.

Álvarez M. A. y Díaz Eduardo, 1997. Alternativas para la remediación de ecosistemas contaminados por hidrocarburos, Centro de Investigación del Petróleo, ciudad de la Habana Cuba.

Álvarez González José A., 2004. Biorremediación de suelos impactados por hidrocarburos, en Línea: [http://www.monografias.com/trabajos25/biorremediacion\\_suelos/biorremediacion-suelos.shtml](http://www.monografias.com/trabajos25/biorremediacion_suelos/biorremediacion-suelos.shtml), fecha de recuperación 01 de marzo del 2006.

Alexander, M, 1994. Biodegradation and bioremediation, academic press, san Diego, pp. 302 – 308.

Bartha, R. 1986. Biotechnology of petroleum pollutant biodegradation, microbial ecology vol. 12, pp. 115 – 172.

Bedair, H. M. y H. T. Al-Saad 1992. *Dissolved and Particulate Adsorbed Hydrocarbons in Water of Shatt Al-Arab River, Iraq. Water, Air, Soil Pollution* 61:397-408.er.

Bidleman, T. F.; A. A. Castleberry; W. T. Foreman; M. T. Zaransk & D. W. Wall. 1990. *Petroleum Hydrocarbons in the Surface Water of Two Studies in the Southeastern United States*. Est. Coast Shelf Science. 30:91-109.

Bohorquez, S. S. 1998. La reparación del daño. Aspectos Técnicos: Remediación y Restauración, pp. 209 – 235.

Burmeir H. 1998. Bioremediation of soil. In kassem A. and P. naminpieri. *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. Academic press. London Inglaterra

Carls, M. G. 2001. persistence of oiling in mussel beds after the Exxon Valdez oil spill. *Marine environmental research* 51 (2):167-190.

Contreras Araneda Patricia Alejandra, 2005. Suelos Contaminados con Hidrocarburos: RNA 16s, como indicador de impacto, 1- 75

Cortinas de Nava Cristina y Cintia Mosler G. 2002. Gestión de residuos peligrosos. Universidad Autónoma de México, D.F,

Chappin, R. G. y L. R. Summerlin 1988. *Química*. Publicaciones Culturales. México.

Díaz, D. M. 1995. El Régimen Jurídico Ambiental del Subsuelo en México. PEMEX: Ambiente y Energía Los retos del futuro Instituto de Investigaciones Jurídicas UNAM-PEMEX. México. pp 35-55.

Eduardo Enríquez, 2003. Remediación de suelos, en Línea: <http://www.monografias.com/trabajos20/remediacion-suelos/remediacion-suelos.shtml>, fecha de recuperación 20 de junio del 2006.

Enríquez Eduardo, (2003) [http://www. Monografias. Com/trabajos20/remediación\\_suelos/remediación-suelos.shtml](http://www.monografias.com/trabajos20/remediación_suelos/remediación-suelos.shtml), fecha de recuperación 04 de febrero del 2004

Eweis, J.B., Ergas, S.J., Chang, D.P y Schroeder, E.D. 1998. Bioremediation Principles. McGraw-Hill International Editions. 296 pp.

Federico Gabriel, P. . 1992, Innovative technologies for contaminated site remediation : focus on bioremediation on bioremediation: the state of practice in Hazardous waste remediation operations, un seminaries en directo Via satellite, patrician pore AWMA y HWAc, 9 de enero.

INE – SEMARNAT, 2002. Tecnologías de Remediación para suelos contaminados, en línea: <http://www.imp.mx/investigacion/biotecno.htm>, fecha de recuperación 08 de junio del 2006.

Jackson, M. L. 1964. Análisis Químico de suelos. Traducción en español de J. Beltrán. Omega Barcelona España.

Jorge Luque, Viviana Nakamatsu, Nicolas caiano , 1996. Uso de Maquinarias Agrícolas en la recuperacion de suelos afectados por derrames de petróleo, pp. 1-4.

Luque J. 1995. Características Edáficas de suelos afectados por derrames de petróleo.

LGEEPA, 1996. Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.

Lesser, I. J. M. 1995. Prospección de contaminación de acuíferos por hidrocarburos. Geólogos. 5 ' 8.

Leopoldo de la Fuente Silva. 2004. El suelo, universidad Autónoma de Tamaulipas, México D. F.

Ma. Del C. Gutiérrez C. y J. Zavala C. 2001. Rasgos hidromorficos de suelos tropicales contaminados con hidrocarburos



M. Martínez Alonso, N. Gaju. 2004. el papel de los tapetes microbianos en la biorrecuperación de zonas litorales sometidas a la contaminación por vertidos de petróleo.

M. Leal Castillo, 2000. Biorremediación de ambientes impactados con hidrocarburos, pp. 1-12.

Michael Grega D , Buckingham Phillip y L. Evans Jeffrey C, 2000. Gestión de residuos tóxicos. Tratamiento, eliminación y recuperación de suelos, Mc Graw Hill, México,

Norma Oficial Mexicana, NOM 138 SEMARNAT SS 2003. Límites Máximos Permisibles de Hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación.

PEMEX 1988. *El Petróleo*. Gerencia de Información y Relaciones Públicas. México.

Richards. L. A. 1990. Diagnóstico y Rehabilitación de suelos salinos y sódicos 6ª edición, departamento de Agricultura Estados Unidos de América. México D.F.

Ruberto, Lucas; Vázquez, Susana; Lo Balbo, Alfredo; Mac Cormack, Walter. 2003. Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos utilizando bacterias antárticas psicrotolerantes, Buenos Aires Argentina.

Saval Bohórquez Susana. 1995. Biorremediación de suelos y acuíferos. Situación actual y perspectivas en México. Sociedad mexicana de Biotecnologías y bioingeniería A. C. Vol 3.

SARH, Subdirección de agro ecología, 1985. Interpretaciones agronómicas del suelo S.

Santschi, P. H. 2001. Historical contamination of PAHS, PCBs, DDTs, and heavy metals in Mississippi River Delta, Galveston Bay and Tampa Bay sediment cores. *Marine Environmental Research* 52 (1): 51-79

Seller K, 1999. *Conservación y restauración de suelos* editorial UNAM. México D.F.

SEMARNAT; 2002. *Tecnologías de Remediación en México*, en Línea: <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/372/tecomexico.html>, fecha de recuperación 11 de septiembre del 2006.

SEMARNAT. 2005. *Restauración de suelos contaminados con hidrocarburos de tabasco*, México D. F.

Siebe, M. L. 1999. *Análisis Químico de suelos*. Traducción en español de J. Beltrán. Omega Barcelona España.

Vargas M. L. 2004. *Biorremediación de residuos del petróleo*, pp 44-49.

Torras O. S. 2004. *Medidas de mitigación para uso de suelos contaminados por derrames de hidrocarburos en infraestructura de transporte terrestre*, Publicación Técnica No 257, Sanfandila, Qro, pp 1-83. Sanfandila, Qro, pp 1-83.

Pitter, P. Y Chudoba Menzie J. 1990. *Biodegradability of organic substances in the Aquatic Environment*, CRC Press.

Juan Antonio Velasco y Tania Lorena Volke Sepúlveda. 2003. *El composteo: Una alternativa tecnología para la biorremediación de suelos en México*, Gaceta Ecológica enero- marzo, número 066, Instituto Nacional de Ecología, Distrito Federal México.

Tania Lorena Volke Sepúlveda y Juan Antonio Velasco. 2003. *El composteo: Una alternativa tecnología para la biorremediación de suelos en*

México, Gaceta Ecológica enero- marzo, numero 066, Instituto Nacional de Ecología, Distrito Federal México.

Tirado García M, 2005. Biodegradación de hidrocarburos de petróleo y compuestos relacionados, Universidad Tecnológica Nacional, Buenos Aires Argentina .

Van Deuren, J., Wang, Z. Y Ledbetter, J. 1997. Remediation Technologies screening matrix and reference Guide. 3° Ed. Technology Innovation Office, EPA, <http://www.epa.gov/tio/remed.htm>.

Vargas M. L. 2004. Biorremediación de residuos del petróleo, pp 44 49

Walkley y Black, 1934. An Examination of the Deftjaffé Method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 34-39.