

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE VILLAHERMOSA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

“EVALUAR LA FITORREMEDIACIÓN DE LOS SUELOS CONTAMINADOS POR
HIDROCARBUROS A TRAVÉS DE LA RIZOSFERACIÓN DE LA JATROPHA CURCA L”.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:

ING. ADALBERTO JIMÉNEZ HERNÁNDEZ

DIRECTOR DE TESIS

M.I.P.A JOSÉ REYES OSORIO

VILLAHERMOSA, TABASCO.

DICIEMBRE 2016.



Carretera Villahermosa-Frontera km. 3.5 Cd. Industrial C.P. 86010
Apdo. 424 Villahermosa, Tab., México. Tels. 3530259, 3532649, 3530250
www.itvillahermosa.edu.mx



Inicio: 2009.08.05
Recertificación: 2015.07.24
Terminación: 2018.07.24

ÍNDICE.	Pag.
INDICE DE TABLAS	III
INDICE DE GRAFICOS	III
INDICE DE FIGURAS	IV
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
INTRODUCCION	1
OBJETIVO GENERAL	5
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
CAPITULO I. REVISION BIBLIOGRAFICA	6
1.1. Contaminacion de Hidrocarburos en México.	6
1.1.1 Situación de México por contaminacion de hidrocarburos.	6
1.1.2 Contaminacion de hidrocarburos en Tabasco.	7
1.1.3 Características del suelo contaminado por hidrocarburos.	10
1.1.4 Consecuencia de la contaminación por hidrocarburo en el Suelo agrícola.	15
1.1.5 Origen de los derrames de petróleo en suelos del sureste de México.	16
1.2. Composición del petróleo.	19
1.3. Hidrocarburos en sedimentos.	21
1.4. Toxicología de hidrocarburos totales de petróleo.	22
1.5. Fitorremediación.	22
1.5.1 Remediación con plantas (Fitoremediadoras).	25
1.5.1.1. Jatropha curca L.	28
1.5.1.2. Resultados de la Jatropha curca L. como planta fitorremediadora	32

CAPITULO II. METODOLOGÍA	34
2.1. Metodología de fitorremediación de sueloscontaminados por hidrocarburos por semillas <i>Jatropha curca</i> L.	34
2.2. Primera fase Construcción de celdas comparativas.	35
2.3. Segunda fase Identificar las muestras de suelos contaminados.	36
2.3.1. Medición de PH.	36
2.3.1.1. Medición del pH de la muestra.	37
2.3.1.2. Estabilización de PH	38
2.3.2. Análisis de retorta (contenido de líquidos y sólidos).	38
2.3.3. Análisis de extracción de grasas y aceites.	41
2.3.4. Materiales y Métodos de extracción de grasas y aceites.	42
2.3.5. Procedimiento de utilización de equipo Soxthel.	44
2.4 Tercera fase: preparación del suelo contaminado en las celdas comparativas..	47
2.4.1. Procedimiento para la colocación del sustrato (cal dolomita).	47
2.4.2. Preparación de las celdas con estiércol bovino	47
2.5. Cuarta fase: Respuesta de las semillas de <i>Jatropha curcas</i> L. en el suelo contaminado.	49
2.6. Quinta fase: Análisis de respuesta de las plantas de <i>Jatropha curcas</i> L.	51
CAPITULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	55
3.1 Respuesta de las plantas a los hidrocarburos.	54
3.2 Resultados de la celda B	55
3.3 Resultados de la celda C	56
3.4 Resultados de la celda A	57
3.5 Discusión.	59

CONCLUSIONES	60
BIBLIOGRAFIA	61

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites máximos permisibles para fracciones de hidrocarburos en suelo.	20
Tabla 2 Composición de las fracciones químicas que contienen el petróleo. Fuente (TPH Criteria Working Group 1998).	20
Tabla 3. Muestras de inicio.	41
Tabla 4. F: formula química, ϵ :constante dieléctrica, PE: temperatura de ebullición normal, Constantes físicas de los disolventes utilizados (Wade 1993)	42
Tabla 5 Resultados de las celdas B por los equipos de retorta.	55
Tabla. 6. Porcentaje de aceite en la celda C.	56
Tabla. 7. Porcentajes de aceite de la celda A.	57
Tabla 8. Media muestral del volumen de aceite de las celdas comparativas	59
Tabla 9. Media muestral de los resultado, de las celdas comparativas	59

ÍNDICE DE GRAFICOS.

Grafica 1.Medición de los niveles de aceite en las celdas comparativas	60
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Distribución del aire y el agua en el suelo.	12
Figura 1.2. Derivados de petróleo. Fuente: (API)	18
Figura1.3. Tipos de degradación (paulo J. C y col 2006)	26
Figura1.4. Semillas de Jatropha Curca L.	29
Figura1.5.Planta Jatropha Curca L	31
Figura 2.1.Diagrama de flujo en las fases de Fitorremediación.	34
Figura2.2. Celdas comparativas A, B y C	35
Figura2.3. Terreno de la Ranchería barranquilla del municipio del centro.	36
Figura2.4. Extracción para la toma de muestras.	36
Figura2.5. Recolección de tierracontaminada con Hidrocarburos.	37
Figura2.6. Medidor de pH.	37
Figura2.7. Muestra de caldolomita.	38
Figura2.8. Equipo de retorta.	40
Figura2.9. Presentación de aceite obtenido de suelo contaminado.	40
Figura2.10. Colocación de cartuchos de celulosa	44
Figura2.11. Equipo Soxthel armado.	44
Figura2.12. 200 kilogramos de tierra para colocarlas en las celdas comparativas.	45
Figura2.13. El suelo contaminado se coloca en las celdas de una forma homogéneas	45
Figura2.14. El suelo contaminado se coloca en las celdas de una forma homogénea.	45
Figura 2.15.Agregado y mezcla de la celda comparativa	47
Figura 2.16.Agregado y mezcla de la celda comparativa	47
Figura 2.17.Preparación del estiércol de ganado bovino.	47
Figura 2.18. Homogenización del estiércol de ganado en la celda comparativa.	48
Figura 2.19.Semillas y siembra de Jatropha curca L. en la celda comparativa	48

Figura 2.20. Brote de las semillas de <i>Jatropha curca</i> L.	49
Figura 2.21 Respuesta del 80 % a 35 días.	49
Figura 2.22. Al cuadrar la celdas se puede tener una aproximado de la respuesta de las semillas de un incrementó de la tallo de 10 cm a una fecha de 35 días.	50
Figura2.23. Plántulas en las celdas comparativa	50
Figura2.24. Celda a. con nueve áreas analizar.	51
Figura2.25.Extracción de la suelo alrededor de las plántulas	52
Figura 2.26.Extracción de la suelo alrededor de las plántulas	52
Figura 2.27. Preparación en las capsulas de los 100 g de las celdas de Retorta.	53
Figura 2.28.Se ve la diferencia ya que el líquido de color mas trasparente será el agua y liquido oscuro o amarillento es el aceite.	53
Figura2.29. Tomando las muestras del equipo de retorta,	54

RESUMEN

Los suelos contaminados por petróleo, diesel y otros aceites provocados por derrames en zonas productoras de energía por combustibles fósiles como el Estado de Tabasco no pueden utilizarse para fines agrícolas debido a la toxicidad de los hidrocarburos. Un Suelo contaminado por hidrocarburos induce toxicidad que afecta la germinación, crecimiento y productividad. Se han propuesto varias tecnologías para la biorremediación de sitios contaminados con hidrocarburos de las cuales la Fitorremediación de suelo contaminado con plantas no comestibles como *Jatropha curcas* ofrece un método rentable y amigable con el medio ambiente para la remediación del suelo contaminado. En el presente estudio, la fitorremediación de suelos contaminados con residuos de hidrocarburos de una zona del municipio de Frontera, Tabasco se determinó bajo estudios experimentales empleando *J. curcas* agregando estiércol de ganado bovino, un sustrato llamado caldolomita y en siembra directa desde las semillas en celdas comparativas en las cuales se pudo experimentar con diferentes cantidades de abono y sustrato. La fitorremediación se llevó a cabo durante un período de 180 días bajo condiciones de la planta a través de su crecimiento exponencial en una celda comparativa de 60 cm por 130 cm y una profundidad de 20 cm. Mediante análisis Soxhlet y de Retorta se pudo determinar que la raíz de *Jatropha* no acumuló hidrocarburos del suelo, sin embargo el número de hidrocarburos utilizado por bacterias fue alto en la rizosfera de la planta *Jatropha curcas* L. lo que sugiere que el mecanismo de la degradación del aceite fue a través de la Rizosferización de las plantas. Se obtuvieron niveles de aceite en el suelo aceptables de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000. Los estudios demostraron que la *Jatropha curcas* L. combinada con abono orgánico tiene un potencial de recuperación de suelos contaminados con hidrocarburos.

ABSTRACT

Soils contaminated by petroleum as the Tabasco State cannot be used for agricultural purposes due to hydrocarbon toxicity. Oil contaminated soil induces toxicity affecting germination, growth and productivity. Several technologies have been proposed for bioremediation of oil contaminated sites, which phytoremediation of soil contaminated with non-edible plants such as *Jatropha curcas* offers a user-friendly and cost-effective method for remediation of contaminated soil. In this study, phytoremediation of soil contaminated with traces of hydrocarbons in an area of the municipality of Frontera, Tabasco was determined under experimental studies using *Jatropha. Curcas L.* adding manure from cattle, a substrate called "caldolomita" and in direct seeding from the seeds in comparative cells which could experiment with different amounts of fertiliser and substrate. The phytoremediation was undertaken for a period of 180 days under conditions of the plant through its growth exponential in a cell comparative of 60 cm by 130 cm and a depth of 20 cm. Analysis Soxthel and retort it was determined that the *Jatropha* root did not accumulate hydrocarbons from the soil, but the number of hydrocarbon utilizing bacteria was high in the Rhizosphere of the *Jatropha* plant, thus suggesting that the mechanism of the oil degradation was via Rhizodegradation. Acceptable levels of oil in the ground according to the NOM-021-RECNAT-2000 were obtained. These studies have proven that *Jatropha. curcas* with organic amendment has a potential in reclaiming hydrocarbon-contaminated soil.

SEP

SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
Instituto Tecnológico de Villahermosa

Dependencia: Div. De Estudios de Posgrado e Investigación
Oficio núm.: DEPI/393/2016
Asunto: Autorización de impresión
Fecha: 19 de octubre 2016

**C. ADALBERTO JIMENEZ HERNANDEZ
ESTUDIANTE DE LA MAESTRIA EN INGENIERIA
PRESENTE**

De acuerdo al fallo emitido por la Comisión Revisora, integrada por los **CC.M.I. JOSE REYES OSORIO, DR. JUAN MANUEL URRIETA SALTIJERAL, MC. NORA ALICIA PURATA PEREZ Y EL MC. ROBERTO MORALES CRUZ**, y considerando que cubre con todos los requisitos del Reglamento de Titulación en vigor, damos a usted nuestra **Autorización** para que proceda a imprimir su Trabajo Profesional Titulado:

“EVALUAR LA FITORREMEDIACION DE LOS SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS A TRAVES DE LA RIZOSFERACION DE LA JATROPHA CURCA I”

Hago de su conocimiento lo anterior para los efectos y fines correspondientes.

**Atentamente
Tierra, Tiempo, Trabajo y Tecnología.**

**M.C. CARLOS MARIO MARTÍNEZ IZQUIERDO.
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACION.**



SECRETARIA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE VILLAHERMOSA
DIVISIÓN DE
ESTUDIOS DE POSGRADO
E INVESTIGACION

C.c.p. Archivo

MA/CMMI/L/



Carretera Villahermosa-Frontera Km. 3.5, Cd. Industrial. C.P. 86010
Apdo. 424 Villahermosa, Tab., México. Tels. 3530259, 3532649, 3530250
www.itvillahermosa.edu.mx



RSGC 544



Inicio: 2009.08.05
Recertificación: 2015.07.24
Terminación: 2018.07.24

Agradecimiento.

A mis hijos Abraham y Valeria.

Hola de esta manera les enseño por este trabajo lo que es el estudio que, no hay imposible, ustedes deben saber que nunca piensen y hagan caso a rumores que dicen no puedes, no sabes y no hay quien te ayude. Solo ustedes son únicos que pueden trazar su futuro y que a través de ello pueden, saben y lo hacen. Que en un tiempo ustedes repitan estas palabras y pueda decir que MIS hijos son los mejores....

Gracias a:

Los que se tomaron la gentileza de pensar que no podía, y de ellos midieron la Fortaleza de terminar bien.

Los profesores que a través de su tiempo y dedicación pudieron apoyar nos en esta delicada misión.

Dios por darme la fuerza, valor y sabiduría en este trabajo.

INTRODUCCIÓN.

El principal problema para el suelo agrícola impactado constantemente con hidrocarburos por actividad humana, ya sea por fugas, derrames etc., es que a la larga se convierten en suelos infértiles incapaces de recuperarse por sí solos, en muchas ocasiones tardarían cientos de años en remediarse para volver a ser suelos agrícolas, la disminución de nutrientes esenciales para que las plantas sobrevivan se ven limitadas por los metales pesados, en otras se dejan muchas trazas contaminantes (María Regla Soroa Bell, Margarita Ramírez Gotario. 2010). La contaminación accidental más frecuente de suelos en nuestro país se verifica con hidrocarburos provenientes de instalaciones fijas como destilerías de petróleo, tanques subterráneos de estaciones de servicio o producidos por siniestros en rutas con derrame de derivados del petróleo. (Corona-Ramírez, Iturbe-Argüelles., 2007).

En objetivo de esta investigación plantea remediar suelos contaminantes por hidrocarburos en el estado de Tabasco, México utilizando un sistema de fitorremediación por medio de la rizosferación, con la planta *Jatropha curcas L.*

El objetivo principal de la remediación en el sureste Mexicano es fortalecer, el suelo dañado por derrame de hidrocarburo, y mejorar los sistemas biogeoquímicos de los suelos a la competitividad con todos los actores en ella, para ir tomando así la gestión ambiental para preservar la biodiversidad del sureste. En este sentido y como parte de las actividades específicas sobre la que se enfoca el sistema de remediación, se diseña la presente caracterización para el desarrollo en suelos contaminados a través del uso de sustratos y del piñón *Jatropha curcas L.*, lo que tiene como propósito integrar los resultados en la información que permita entender y actuar hacia el desarrollo de este tipo de fitorremediación.

El estudio fitorremediación, alternativa ante suelos contaminados Por hidrocarburos realizado por Soroa Ramírez, (2010) en donde la fitorremediación, alternativa ante suelos contaminados por hidrocarburos. Que considerando la utilidad de las plantas para eliminar o acumular contaminantes para el entorno, se ha estimado en suelos tratados para su biorremediación. El objetivo de este trabajo fue caracterizar la rizosfera de la *Gerbera jamesonii* cv Bolus en cuanto a géneros bacterianos y especies de micorrizas (HMA) predominantes en las condiciones edafoclimáticas del estudio. Era que esta especie podría ser una excelente propuesta para emplearse en suelos degradados por hidrocarburos como etapa final de la biorremediación. Uno de los estudios fue la biorremediación de suelos contaminados con petróleo para combatir la toxicidad *Withania somnifera* mediante cebado de semillas con biosurfactante produciendo rizobacterias que promueven el crecimiento de las plantas en el presente estudio, la eficacia del cebado de la semilla sobre el crecimiento y el pigmento de *Withania Somnifera* bajo la toxicidad del petróleo se explora. Se sembraron semillas de *W. somnifera* con biosurfactante.

La investigación por Kavitha Kadirvel K. (2014) en la fitorremediación de Mercurio y acumulación de Cadmio en las plantas de mala hierba seleccionadas: implicaciones para la fitorremediación. En este trabajo se reporta una evaluación de la eliminación de cromo hexavalente del suelo con y sin enmienda de compost por *Pterocarpus indicus* y *Jatropha curcas*. Se llevó a cabo el experimento de efecto invernadero y consistió en la prueba de determinación del intervalo y prueba definitiva para varias concentraciones de cromo hexavalente. Estos sugirieron que la *Jatropha curcas* fue más eficaz para remediar cromo hexavalente contaminado del suelo.

Sarwoko Mangkoedihardjo (2012) estudio la *Jatropha curcas L.* para la fitorremediación de plomo y cadmio contaminada del suelo, en donde la *Jatropha curcas L.* fue investigada por su capacidad para remediar cadmio y plomo en suelos contaminados. Los niveles de contaminantes individuales y mixtos fueron expuestos a la planta para obtener más de un mes. Esta Prueba de determinación de la gama se realizó con el fin de conocer el nivel de contaminantes que podrían ser remediador. En la presencia de ambos contaminante, ningún efecto adverso sobre la materia seca de la planta se encontró que podría ser debido al efecto sinérgico de plomo.

Esta investigación dio pauta para que se realizaran las siguientes acciones en el estudio de la fitorremediación en suelos contaminados por Hidrocarburos.

En la fitoestabilización potencial de *Jatropha curcas L.* por Qihang Wu. (2011). en ácido polimetálica de relaves mineros, llevo a cabo experimentos en macetas de efecto invernadero para determinar la respuesta de crecimiento, la tolerancia metal, y el potencial fitoestabilizador de *Jatropha curcas L.* Las plantas fueron cultivadas en diferentes grados de metal contaminados suelos ácidos de minas con o sin enmiendas calizas. El desempeño del crecimiento de *Jatropha curcas L.* era mejorado debido al aumento de la pH del suelo y la disminución en el suelo phytoavailable Al (95%), Zn (~ 75%), y Cu (~ 65%) contenidos en el 0.50% de la adición de cal.

La estabilización de la *Jatropha curcas L.* dio la oportunidad a Jyoti Luhach (2012), en el estudio de las plántulas de *Jatropha curcas L.* plantaron en el medio de crecimiento (suelo) a los seis niveles de tratamiento con lodos.

Las plántulas mostraron los resultados del crecimiento comparable al de control en los tres primeros tratamientos en términos de altura de los brotes, número de hojas y longitud de la raíz.

Entre los diferentes tratamientos, la biomasa de la planta más alta se registró en tratamiento, que representa su tolerancia en suelos contaminados metal al ser una planta de biodiesel y no comestible, la *Jatropha curcas L.* puede ser una opción ideal para ser cultivada para la fitorremediación en sitios contaminados y para mitigar la contaminación del suelo para la sostenibilidad de los recursos de tierras.

Para estos proyectos ya fueron aceptados los resultados anteriores y se pudo constatar la absorción de metales pesados y la translación de *Jatropha curcas L.* en todos aserrín contaminado suelos. Por Ni M. Majad, la cual la fitorremediación potencial de *Jatropha curcas L.* fueron sembradas en el medio de crecimiento: Las plántulas mostraron el mejor desempeño del crecimiento en el tratamiento en términos de altura, diámetro basal y número de hojas. La *Jatropha curcas L.* tiene un alto potencial para acumular grandes cantidades de Cobre, Hierro, Aluminio, Plomo y Zinc en sus raíces, hojas y tallos. La Planta en el control a los suelos contaminados mostró máximo factor de traslación. La especie fue capaz de tolerar y acumular una alta concentración de metales pesados.

Por lo anterior el objetivo del presente estudio, plantea que al ser una planta no alimentaria y que uno de sus diversas características, es la producción de biodiesel, la *Jatropha curcas L.* se puede tomar en cuenta en ser una ideal opción ya que se cultiva para la fitorremediación en sitios contaminados por derrames de hidrocarburos y mitigar la contaminación del suelo.

Objetivo general

Evaluar el comportamiento de la *Jatropha curcas L.* como planta fitorremediadora de suelos contaminados por hidrocarburos y analizarlos que cumpla con los parámetros de la Norma Oficial Mexicana.138-SEMARNAT/SS-2003.

Objetivos específicos.

- Identificar un suelo contaminado por hidrocarburos en el estado de Tabasco municipio de Frontera.
- Analizar el suelo contaminado para validar el porcentaje del grado de remediación de acuerdo a los parámetros la Norma Oficial Mexicana 138-SEMARNAT/SS-2003.
- Caracterizar los parámetros de clasificación de fertilidad en los especificados en la norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000.
- Adicionar sustratos al suelo contaminado para su remediación.
- Sembrar las semillas de *Jatropha curcas L.*, (piñón) para la fitorremediación del suelo contaminado.
- Determinar en las celdas comparativas los diferentes volúmenes de sustratos hasta obtener un volumen aceptado para la fitorremediación por rizosferación.

CAPITULO I REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

1.1. Contaminacion de Hidrocarburos en México.

1.1.1 Situación de México por contaminación de hidrocarburos.

Las fuentes más importantes de residuos peligrosos en México son la industria (77%), seguida del sector minero y petrolero (11%). La problemática asociada a los residuos peligrosos tiene dos grandes líneas, por un lado, la que se deriva de la presencia de sitios ya contaminados y que requieren remediación, y por el otro, aquella orientada a la prevención.

La industria petroquímica es la responsable de problemas ambientales. Lo que causado los grandes problemas en suelos y zonas de ríos y lagunas (CENAPRED 2001 Y PROFEPA 2002).

- Falta de mantenimiento en las instalaciones petroleras.
- Explosiones en instalaciones en áreas de poblaciones.
- Fugas en líneas de conducción.
- Derrames de hidrocarburos.

Los estudios estadísticos de la Procuraduría Federal de la Protección al Ambiente (PROFEPA 2002). Muestran que cada año en México ocurren un promedio de 550 accidentes ambientales asociados con materiales y residuos peligrosos. Los compuestos involucrados en emergencias ambientales son el petróleo y sus derivados; gasolina, diesel y combustóleo.

En el inventario de la PEMEX del 2001 reportan la generación de más de 270 toneladas de residuos peligrosos de los cuales el 86 % de los residuos corresponden a lodos y recortes de perforación (72%), lodos aceitosos (8%) y aceites gastados (6%).

De los cuales en el año 2001 se sucito un total de derrames de 8,031 toneladas hidrocarburos (crudo, diesel y gasolina) derramados en la mayoría en la tierra, en el año 2006 se sucitarona 25,707 barriles de derrames de hidrocarburos en ductos y en instalaciones de PEMEX.

1.1.2 Contaminación de hidrocarburos en Tabasco.

La expansion acelerada de las actividades petroleras coinciden en Tabasco con la etapa final de un proceso de degradacion de un proceso a partir de la crisis platanera ya atraves de los distintos cambios estruturales sufridos por el sistema. Los efectos de la degradacion ambiental que fueron resultados sobre todo de una intensa deforestacion y de la transformacion de regimen hidrológico regional, coincidieron con aquellos derivados de la intensificacion de la accion petrolera. La opinión pública regional y nacional estableció de manera inmediata una relacion de causa efecto entre el auge petrolero y la totalidad de los problemas ambientales que empezaron a evidenciarse en Tabasco en este período la realidad era por supuesto bastante compleja en este período.

Las actividades petroleras no determinaron a traves de una casualidad mecanica de los problemas ambientales que hoy afectan a la region pero tampoco fueron ajenas a la forma específica en que se manifestaron en la ultima decada. En un medio ambiente muy degradado, la intervenció petrolera actuo como agente, desencadenante de una fase del periodo del medio físico. Sus efectos directos fueron puntuales, los indirectos abarcaron una escala espacial muy amplia (Toledo 1983).

El problema de la contaminacion petrolera es mas complicado en los grandes complejos petroquímicos y las refinarias. Entre otras, se producen emisiones aéreas que generan precipitacion ácida. Además de las emisiones gaseosas.

Por su parte las baterías de separación, donde confluye la producción de los distintos campos explotación y se separa el aceite crudo del generaron problemas de contaminación de suelos y cuerpos de agua, al verterse descargas de aguas residuales aceitosas a zonas aledañas, sin ningún tratamiento.

En la década de los 60' se perforó una importante cantidad de pozos petroleros lacustres, dragándose canales lagunas y zonas adyacentes, lo que causo un impacto ambiental, propiciando procesos de azolvamiento de la contaminación tal es el caso de los campos cinco presidentes en Cardenas, Arrastradero, Comalcalco, Hormiguero y usumancita en Centla, por señalar algunos.

Mención especial se merece el Complejo Petroquímico (CPQ) de ciudad PEMEX, que hasta febrero de 1994 vertió sus desechos con residuos aceitosos y metales pesados a la laguna el limon en Macuspana (PEMEX-GPB, 1994), y la unidad Petroquímica (UPQ) la venta en Huimanguillo, que aun utiliza como cuerpo receptor el pantano La venta y el río tonalá con la consecuente degradación ambiental de estos ecosistemas que hoy en día aun estan pendientes de restaurar ambas instalaciones iniciaron su operación a fines de la década de los años 50'.

Desde hace casi dos décadas, Petróleos Mexicanos ha incorporado la variable ambiental dentro de sus planes de desarrollo, de tal manera que hoy en día, la perforación de pozos petroleros se realiza cuidando no causar alteraciones al ambiente, evitando el vertido de residuo solidos o líquidos en su entorno.

Como consecuencia de la actividad petrolera, el territorio tabasqueño ha sido impactado en distinta medida por derrames, fugas o vertimiento de hidrocarburos, provenientes de oleoductos de distinto diámetro, principalmente las líneas de descarga de los pozos, las cuales en el caso de las instalaciones más antiguas.

Presentan un avanzado grado de corrosión por lo que fácilmente se fracturan al realizarse trabajos agrícolas, por el pastoreo de animales o simplemente por falla de la tubería al no soportar la presión de operación (CIMADES, 2001).

Como consecuencia de la actividad petrolera, el territorio Tabasqueño ha sido impactado en distinta medida por derrames, fugas o vertimiento de hidrocarburos, provenientes de oleoductos de distintos diámetros, principalmente las líneas de descarga de los pozos, las cuales en el caso de las instalaciones más antiguas, presentan un avanzado grado de corrosión por lo que fácilmente se fracturan al realizarse trabajos agrícolas, por el pastoreo de animales o simplemente por falla de la tubería al no soportar la presión de operación (CIMADES, 2001).

Durante el periodo 1995-2001, solo la CIMADES realizó 753 inspecciones de campo, que involucraron 90 comunidades de 11 municipios, resultando solo 274 contingencias menores reales, lo que representa un 36.38 % y el restante, falsas alarmas; estos datos denotan que con frecuencia se exagera en el campo tabasqueño y en algunas ocasiones en los medios de comunicación, el impacto de la actividad petrolera sobre el ambiente.

1.1.3 Características del suelo contaminado por hidrocarburos.

El suelo está integrado por fases; la fase sólida compuesta a su vez por la fracción mineral y la orgánica; la fase líquida; y la fase gaseosa que ocupa el espacio de la fase líquida que deja libre la porosidad del suelo en el suelo.

Por lo cual se tienen la materia orgánica constituye el 5% del suelo, el 25 % de agua el aire el otro 25 % mientras que la fracción minerales está presente con un 45 %.

El suelo constituye un recurso natural que desempeña diversas funciones en la superficie de la tierra, proporcionando un soporte mecánico así como nutrientes para el crecimiento de plantas y microorganismos. La matriz del suelo está formada por cinco componentes principales: minerales, aire, agua, materia orgánica y organismos vivos. Los materiales minerales son los principales componentes estructurales y constituyen más del 50% del volumen total del suelo. El aire y el agua juntos ocupan el volumen de los espacios, y usualmente conforman de 25 a 50% del volumen total. La proporción relativa de aire/agua fluctúa considerablemente con el contenido de humedad del suelo. El material orgánico ocupa entre 3 y 6% del volumen promedio, mientras que los organismos vivos constituyen menos del 1% (Eweis y col., 1998).

Todos estos factores definen el tipo de suelo, que junto con las condiciones particulares de un sitio frecuentemente pueden limitar la selección de un proceso de tratamiento en particular. Por otra parte, la posibilidad de usar una tecnología de tratamiento, puede eliminarse en base a la clasificación del suelo u otras características propias de éste. (Deuren y col, 1997).

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.

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 (Deuren y col, 1998).

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 (Deuren y col, 1997).

La 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. (Deuren y col 1997). En el caso de la masa, esta se conoce pesando la muestra (terrón) y en el caso del volumen, este es determinado de manera indirecta recubriendo el terrón con una capa de parafina y pesándolo sumergido en un líquido agua NOM-021-RECNAT.

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.

El suelo puede tener diferentes tamaños de poros, para los cuales tienen una fuerza de adhesión del agua, para los cuales hay dos tipos de poros los cuales los poros gruesos permiten un mayor movimiento del agua en el suelo y los poros finos lo retienen. Figura 1.1.

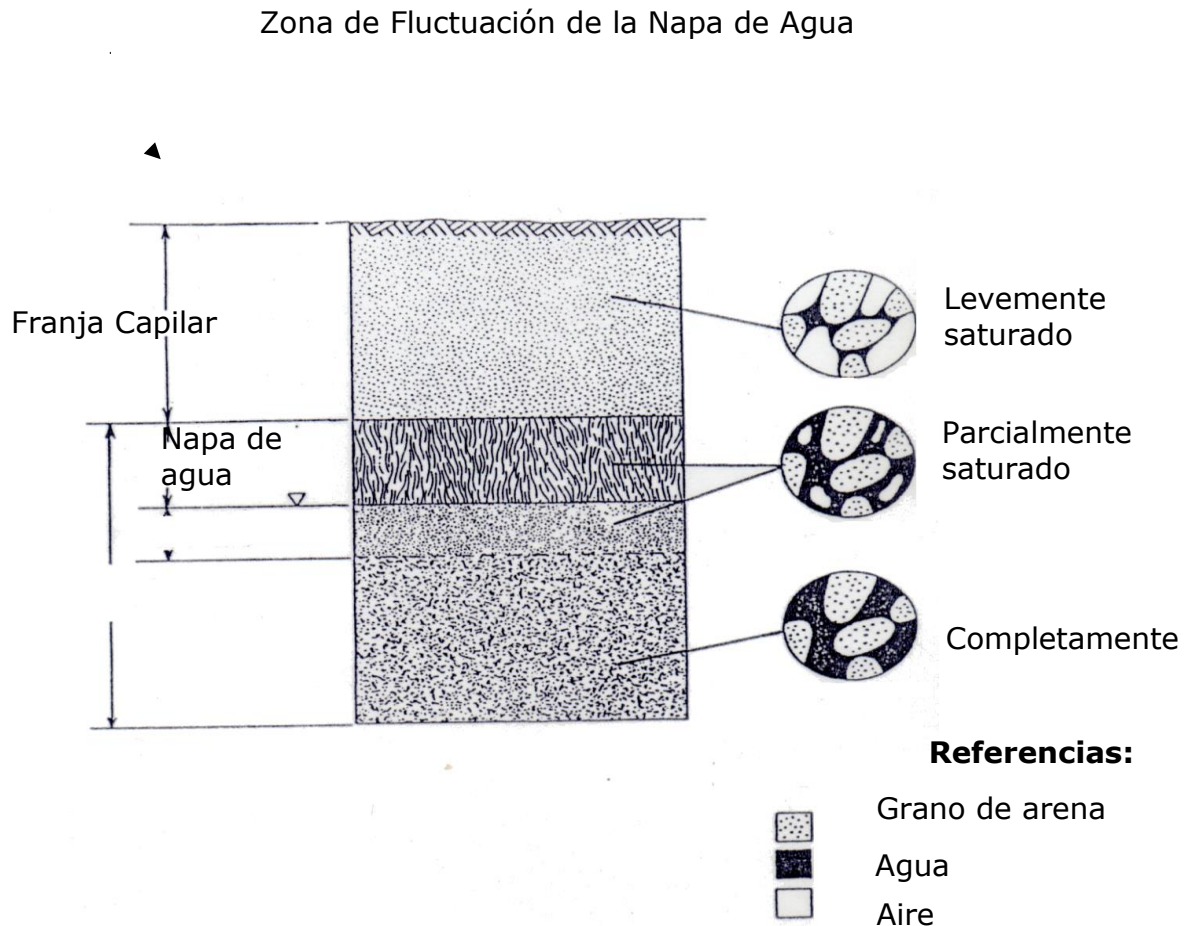


Figura 1.1 Distribución del aire y el agua en el suelo.

La resistencia mecánica es la denominación que se hace para calificar la fuerza que es necesaria para destruir sus agregados. La permeabilidad del suelo se refiere a la factibilidad con la que un líquido, a través de un medio permeable, siendo uno de los factores que controla la efectividad de las tecnologías de remediación de suelo sea, biorremediación y fitorremediación.

La matriz de un suelo esta integrado por cinco componentes principales.

- Minerales (50% del volumen total).
- Aire y agua (25 a 50 % de volumen).
- Materia orgánica (3 % del volumen).
- Organismo vivos (1 % del volumen) (Eweis, 1998).

Respecto a su naturaleza química, existe una relación entre el tamaño y composición química en el cual el suelo medianamente maduro, como resultado de los procesos de formación que lo originan, la fracción de las arcillas está formadas principalmente por silicatos de aluminio e hierro, las arenas son granos de cuarzo con algunas micas.

El tamaño pequeño de los granos de arcilla hace que una fracción del suelo tenga una gran superficie por unidad de masa. Otra propiedad característica de las arcillas es que fluyen cuando se encuentran sometidas a presión.

Unos suelos pueden degradarse al acumularse en las sustancias como Hidrocarburos Totales de Petróleo de los niveles tales que negativamente en el comportamiento de los suelos. Dichas sustancias, a esos niveles de concentración, se vuelven toxicas para los organismo del suelo. Se trata de una degradación química que provoca la pérdida parcial o total de la productividad del suelo.

Las causas mas frecuentes de contaminación son debidas a la actuación antropogénica, que al desarrollarse sin la necesidad de planificación producen un cambio negativo a las propiedades del suelo.

En los estudio de la contaminación, no basta con detectar la presencia de contaminantes sino que se deben definir los máximos niveles admisibles y además se deben analizar posibles factores que pueden influir en la respuesta del suelo a los agentes contaminantes como son; vulnerabilidad, poder de amortiguamiento, movilidad, disponibilidad, persistencia y carga critica que pueden modificar los máximos niveles de la toxicidad para la estimación de los impactos potenciales y la planificación de las actividades permitidas y prohibidas en cada tipo de medio (Dorronsoro y Garcia 2004).

Este grado de contaminación en el suelo contaminado depende de la intensidad de afectación. Los efectos indeseables que se manifiestan en los cambios de secuencia en las propiedades de los suelos en respuesta al impacto de los contaminantes.

Un suelo contaminado es aquel que ha superado su capacidad de amortiguamiento para una o varias sustancias y como consecuencia, pasa de actuar como un sistema protector a ser causa de problemas para el agua, la atmósfera y los organismos. Al mismo tiempo se modifican sus equilibrios biogeoquímicos y aparecen cantidades anómalas determinados componentes que originan modificaciones importantes en las propiedades químicas y biológicas del suelo.

El grado de contaminación de un suelo puede ser estimado los valores totales de los contaminantes, sino que deben considerar la biodisponibilidad, movilidad y persistencia.

La contaminación es básicamente un cambio indeseable en las características físicas, químicas o biológicas del ambiente natural, producido sobre toda la actividad humana, incluido la contaminación de las aguas superficiales y freáticas del suelo y del aire.

La variedad y cantidad de los productos contaminantes de un suelo es muy variable, pero lo de mayor relevancia son;

- Metales pesados
- Sustancias orgánicas
- Sustancias inorgánicas

Estos efectos contaminantes el suelo tienen efectos nocivos para el hombre la flora y vegetación los cuales dependerán de la toxicidad de cada contaminante y de la concentración del mismo.

1.1.4 Consecuencia de la contaminación por hidrocarburo en el suelo agrícola.

La contaminación de los suelos por hidrocarburo tiene un importante efecto sobre las propiedades física y químicas de los suelos, pudiendo impedir o retardar el crecimiento de la vegetación sobre el área contaminada. Los hidrocarburos compuestos son tóxico para los seres vivos ya que son mutagénicos y cancerígenos.

La contaminación por petróleo se caracteriza por su presencia en el ecosistema, a pesar de lo procesos de degradación natural y/o antrópica a que pueden ser sometidos. Determinó efectos de los hidrocarburos en algunas propiedades mecánicas del suelo como la cohesión. Simultáneamente de los efectos en las propiedades química y físicas del suelo. Suceden cambios en las condiciones de la fertilidad, donde se observaron incrementos en nitrógeno y contenido en materia orgánica (Plice 1948). De manera similar (Dobson y Wilson 1964) observaron mayor actividad microbiana en suelos impregnados con hidrocarburos que en suelo libres del mismo.

Factor determinante en los posibles efectos por hidrocarburo, es la textura del suelo, es decir por la presencia proporcional de partículas como arenas, limas o arcillas.

Es importante conocer las características físicas y químicas de un suelo que sea impactado por hidrocarburos cuando se requiere diseñar alguna tecnología de restauración, así como por ejemplo; la porosidad, pH, humedad, temperatura y contenido de nutrientes son indispensable para los procesos de biorremediación (Morgan y Watkinson, 1989).

1.1.5 Origen de los derrames de petróleo en suelos del sureste de México.

Una de las fuentes de contaminación en suelos en el sureste de México son las fugas, de los hidrocarburos que están presentes de acuerdo a las características del petróleo como son, combustóleo, coque y diesel. Los lugares en los que la transferencia y manejo de crudo, líneas de combustión, válvulas de interconexión. Son las causas en que las fugas son causadas por un mal conocimiento por el personal y robos en las fugas son las principales causas de derrames en suelo.

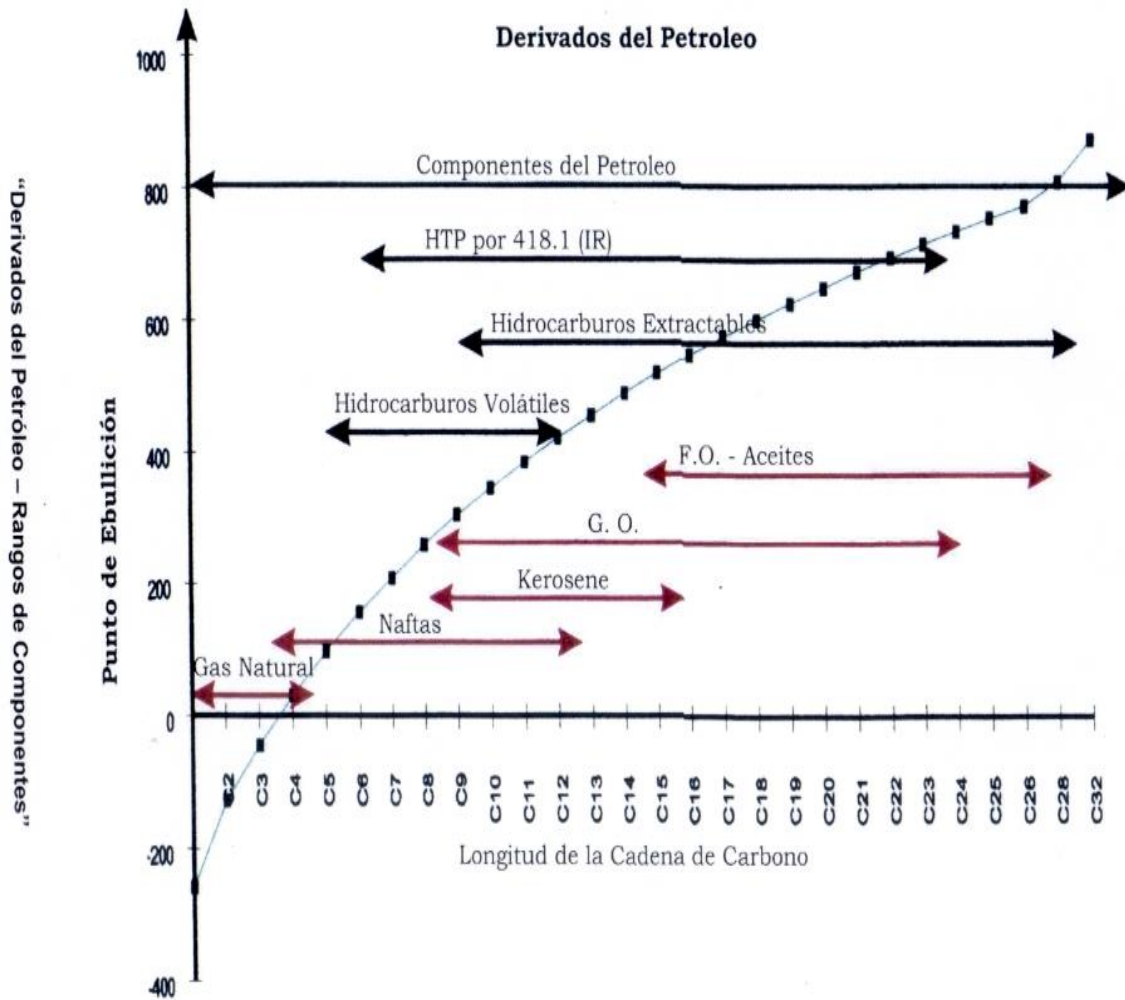
El petróleo es un proceso natural no removible que aporta el mayor porcentaje del total de la energía que se consume en el mundo, corresponde al energético más importante que se consume en el mundo.

El petróleo contiene tal diversidad de componentes que difícilmente se encuentran dos tipos idénticos. Existen parámetros internacionales, tal como el Americano Institute del petróleo (API) que indican las diferencias sus cualidades y por lo tanto su valor. Así, entre más grados API tenga un petróleo, mejor será su calidad.

Los petróleos de mejor calidad son aquellos que se clasifican como “livianos” y/o “subes” y “dulces”. Los llamados livianos son aquellos que tienen más de 26

grados API, los intermedios se sitúan entre 20 ° y 26 ° API, y los pesados por debajo de 20 ° API. Figura 1.2.

En la actualidad la actividad petrolera, las disposiciones y el manejo habitual de hidrocarburos y combustibles, en algunos casos conlleva a la contaminación del suelo cuando tanques, oleoductos y diversas instalaciones sufren daños o fugas. Los líquidos migran al suelo y sub suelo (zonas vadosas), hacia aguas subterráneas (zonas saturadas–acuíferos) o superficialmente hacia un bajo topográfico o curso de suelo.



Figuras 1.2 Derivados de petróleo. Fuente: (API, 2007)

La industria petrolera en su conjunto ha tenido un gran impacto negativo en materia ambiental.

Por la amplia gama de productos derivados del petróleo, no ha sido posible evaluar cuantitativamente la contaminación involucrada desde la fase de explotación hasta la obtención de los petroquímicos básicos, la infraestructura petrolera esta integrada por:

- Pozos.
- Baterías de separación.
- Complejos procesadores de gas.
- Centrales de almacenamiento y bombeo.
- Red de ductos y piletas para el confinamiento de desechos sólidos y líquidos procedentes de la perforación y mantenimiento de pozos.

Estas instalaciones poseen riesgo inherentes de fugas de petróleo, diesel y gasolina por rupturas de ductos, por filtraciones de aguas aceitosas desde las presas y por los derrames del agua aceitosa de las presas por las inundaciones durante el periodo de lluvias (Vasallo y Herrera, 2002).

1.2 Composición del petróleo.

El petróleo es un líquido negro, viscoso y con una composición química sumamente compleja, básicamente de la familia de los hidrocarburos los cuales se componen de la familia con mas compuestos, por lo que constituye uno de los grupos de contaminantes más importantes.

La composición del petróleo esta relacionado por la mayoría de los compuestos, tipo hidrocarburo: 84-87 % de carbón, 11-14 % de hidrogeno, 0-8 % de azufre y de 0-4 % de oxigeno, nitrógeno, metales como el níquel y el vanadio (Clark y Brown, 1977), los principales componentes se subdividen en distintas fracciones. Tabla 1.

Los asfáltenos son menos abundantes y consisten en compuestos polares, pudiéndose encontrar hidrocarburos heterocíclicos, hidrocarburos oxigenados y agregados de alto peso molecular (Speight, 1991).

Tabla 1. Composición de las fracciones químicas que contienen el petróleo.

Fuente (TPH Criteria Working Group 1998).

Fracción	Composición
Saturados	n-alcanos, alcanos de cadena ramificados e isoprenoides y cicloparafinas o cicloalcanos
Aromáticos	Hidrocarburos monocromáticos, dicromáticos y aromáticos policíclicos (HAP`s)
Resinas	Agregados de piridina, quinolinas, carbazoles, tiofenos, sulfoxidos y amidas.
Asfáltenos	Agregados de HAP`s, ácidos nafténicos, sulfuros, ácidos grasos. Metaloporfirinas, fenoles polihidratados.

La industria petrolera de acuerdo a su densidad (API) a clasificado los hidrocarburos. En sus parámetros de acuerdo al Instituto Americano del Petróleo, que diferencia las calidades del crudo, Tabla 2.

Tabla 2. Tipos de degradación del petróleo de acuerdo a su densidad Fuente (API)

Aceite crudo	Densidad (g/cm ³)	Densidad grados API
Extrapesado	>1	10
Pesado	1- 0.92	10-22.3
Mediano	0.92-0.87	22.3-31.1
Ligero	0.87-0.83	31.1-39
Superligero	<0.83	>39

Para exportación, en México se preparan tres variedades del petróleo crudo:

Istmo: Ligero de densidad de 33.6 grados API y 1.3 % de Azufre de peso.

Maya; pesado con densidad de 22 grados API y 3.3 % de azufre en peso.

Olmeca: superligero con densidad de 39.3 grados API y 0.8 % de azufre en peso.

1.3 Hidrocarburos en sedimentos.

Los procesos físicos, químicos y biológicos constituyen considerablemente a remover muchos constituyentes del petróleo cuando este se derrama en áreas agrícolas. Después de una rápida evaporación y de la pérdida de fracciones ligeras en su mayor parte el petróleo permanece en sedimentos, sujeto en la degradación microbiana y a otros procesos, en general lentos, los procesos de sedimentos todo el petróleo tienen un destino final los sedimentos.

El petróleo y sus componentes pueden permanecer en los sedimentos durante grandes periodos y de lo cual la lentitud de la biodegradación; en ellos tienen mayor importancia la presencia de compuestos aromáticos cuyos efectos son nocivos para la biota y la salud pública (Mayo y col., 1978). Este autor también señala que el interperismo físico del petróleo por proceso de evaporación y disolución durante la descarga o el derrame y el tiempo de sedimentación, se determina en gran medida por la distribución de los hidrocarburos en el sedimento; así una vez incorporado (Christensen y Larsen, 1993).

Describe la degradación microbiana puede tardar aproximadamente 20 años para que algunos compuestos sean completamente degradados.

En México hay un gran número de sitios contaminados, principalmente con hidrocarburos del petróleo, este hecho ha generado, en los últimos años, interés de las estancias gubernamentales y privadas por la legislación y remediación de estos sitios.

El conocimiento del tipo de contaminante y su concentración es fundamental para establecer las condiciones del sitio, así como el riesgo que representa y la selección de posibles tecnologías de recuperación.

1.4 Toxicología de hidrocarburos totales de petróleo.

Los Hidrocarburos Totales del Petróleo (TPH) pueden entrar al ambiente a raíz de accidentes, de liberaciones industriales, o como subproductos de uso comercial o privado.

- Los TPH pueden ser liberados directamente al agua por escapes o derrames.
- Cierta fracción de los TPH flotarán en agua y formarán una capa superficial.
- Otras fracciones de los TPH se depositarán en los sedimentos del fondo.
- Bacterias y microorganismos en el agua pueden degradar ciertas fracciones de los TPH.
- Ciertas fracciones de los TPH se adherirán a partículas en el suelo donde permanecer por más tiempo.

1.5 Fitorremediación.

La fitorremediación consiste en el uso de microorganismos como plantas, hongos, bacterias naturales o modificadas genéticamente para neutralizar sustancias tóxicas, transformándolas en sustancias menos tóxicas o convirtiéndolas en inocuas para el ambiente y la salud humana. (Benavides, 2004.).

La fitorremediación puede clasificarse de acuerdo al organismo que efectúa la degradación del compuesto xenobiótico. La fitorremediación, es el uso de plantas para la remoción de contaminantes de suelo y aguas, es una técnica apropiada para la remoción de metales pesados y radio nucleos.

Sin embargo, no se conoce sobre la habilidad de esta en el tratamiento de suelos con contaminantes orgánicos persistentes, un ejemplo lo constituye la especie *Thlaspi caurulencens* en suelos contaminados con Zinc y Cadmio donde se encontró que los eliminaba del suelo agrícola (Schmidt, 2000).

La fitorremediación es una ecotecnología, basada en la capacidad de algunas plantas y microorganismos asociados a la raíz para remover, absorber, degradar, transformar o acumular sustancias contaminantes localizadas en suelos, sedimentos, acuíferos, cuerpos de agua e incluso en la atmósfera que en la actualidad está siendo aplicada en diversos países para recuperar suelos contaminados tanto con compuestos orgánicos como inorgánicos.

Frente a las tradicionales técnicas físico-químicas, la fitorremediación presenta diversas ventajas entre las que se puede destacar su menor coste económico, su aproximación más respetuosa con los procesos ecológicos del ecosistema edáfico, y el hecho de ser una tecnología social, estética y ambientalmente más aceptada.

Es importante recordar que el término fitorremediación engloba una serie de fitotecnologías diferentes en lo concerniente, sobre todo, a los mecanismos fisiológicos implicados en la recuperación de los suelos contaminados (por ejemplo: fitoextracción, fitovolatilización, fitodegradación, rizofiltración, fitoestabilización, fitoestimulación etc.).

La *fitoextracción* se basa en el hecho de que, mediante diversos procesos fisiológicos, las plantas pueden actuar como bombas de succión, alimentadas por energía solar a través de la fotosíntesis, que literalmente extraen los metales pesados (Cadmio, Cobalto, Cromo, Níquel, Mercurio, Plomo, Selenio y Zinc) los cuales a través de sus raíces para después acumularlos en sus tejidos aéreos. Una vez que las plantas han acumulado los metales en sus tejidos aéreos, se cosechan y posteriormente se transportan para su deposición en un vertedero controlado, su incineración o su compostaje.

Las plantas con mayor potencial para la *fitoextracción* de metales son las especies metalofitas, plantas que gracias a diversos mecanismos fisiológicos sobreviven, muchas veces de forma endémica, en suelos que presentan niveles elevados de metales. Dentro de ellas, las plantas denominadas hiperacumuladoras son de gran interés pues presentan de forma natural una impresionante capacidad para tolerar, absorber y acumular elevadas concentraciones de metales en sus tejidos.

La *fitoestabilización* se basa en la inmovilización de los metales, para así disminuir su biodisponibilidad (accesibilidad a los organismos vivos) y evitar su transporte a otros compartimentos ambientales, en las raíces de las plantas. De esta forma, los metales quedan localizados en el emplazamiento contaminado y, al haberse disminuido su biodisponibilidad, se minimiza mucho el impacto ambiental que estos contaminantes pueden causar en el ecosistema edáfico presenta un gran potencial para la revegetación y recuperación de emplazamientos contaminados con metales.

La *rizofiltración* utiliza los procesos en la utilización de las raíces de las plantas se usan para absorber, precipitar y concentrar metales pesados a partir de efluentes líquidos contaminados y degradar compuestos orgánicos. Por lo cual los metales que tratan son; Cadmio, Cobalto, Cromo, Níquel, Mercurio, Plomo, Selenio, Zinc, isotopos radiactivos y compuestos fenólicos.

En la *fitodegradación*, de las plantas acuáticas y terrestres captan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos orgánicos menos tóxicos o no tóxicos. Ya que los contaminantes a tratar son; Municiones (TNT, DNT, RDX, nitrobenzeno, nitrotolueno) atrazina, solventes clorados DDT, pesticidas, fosfatados, fenoles y nitrilos.

En relación con la fitorremediación, y al igual que sucede con cualquier otra tecnología de recuperación de suelos contaminados, es necesario enfatizar que el objetivo último de estas fitotecnologías no debe ser solamente eliminar el contaminante o, en su defecto, reducir su concentración hasta límites marcados en la legislación, sino sobre todo recuperar la salud del suelo, entendida ésta como la capacidad de este recurso para realizar sus funciones (proveer sus servicios) de forma sostenible desde una doble perspectiva antropocéntrica-ecocéntrica.

1.5.1 Remediación con plantas (Fitoremediadoras)

La fitorremediación es el uso de plantas para limpiar ambientes contaminados. Aunque se encuentra en desarrollo, constituye una estrategia muy interesante, debido a la capacidad que tienen algunas especies vegetales de absorber, acumular y/o tolerar altas concentraciones de contaminantes como metales pesados, compuestos orgánicos y radioactivos. La fitorremediación ofrece algunas ventajas y desventajas.

Ventajas:

- Las plantas pueden ser utilizadas como bombas extractoras de bajo costo para depurar suelos y aguas contaminadas.
- Algunos procesos degradativos ocurren en forma más rápida con plantas que con microorganismos.
- Es un método apropiado para descontaminar superficies grandes o para finalizar la descontaminación de áreas restringidas en plazos largos.

Limitaciones:

- El proceso se limita a la profundidad de penetración de las raíces o aguas poco profundas.
- Los tiempos del proceso pueden ser muy prolongados.
- La biodisponibilidad de los compuestos o metales es un factor limitante de la captación.

En la siguiente figura se muestra las formas de degradación que consisten en la fitorremediación siendo una de ellas la particularidad en la que trabaja la planta.

Figura 1.3.

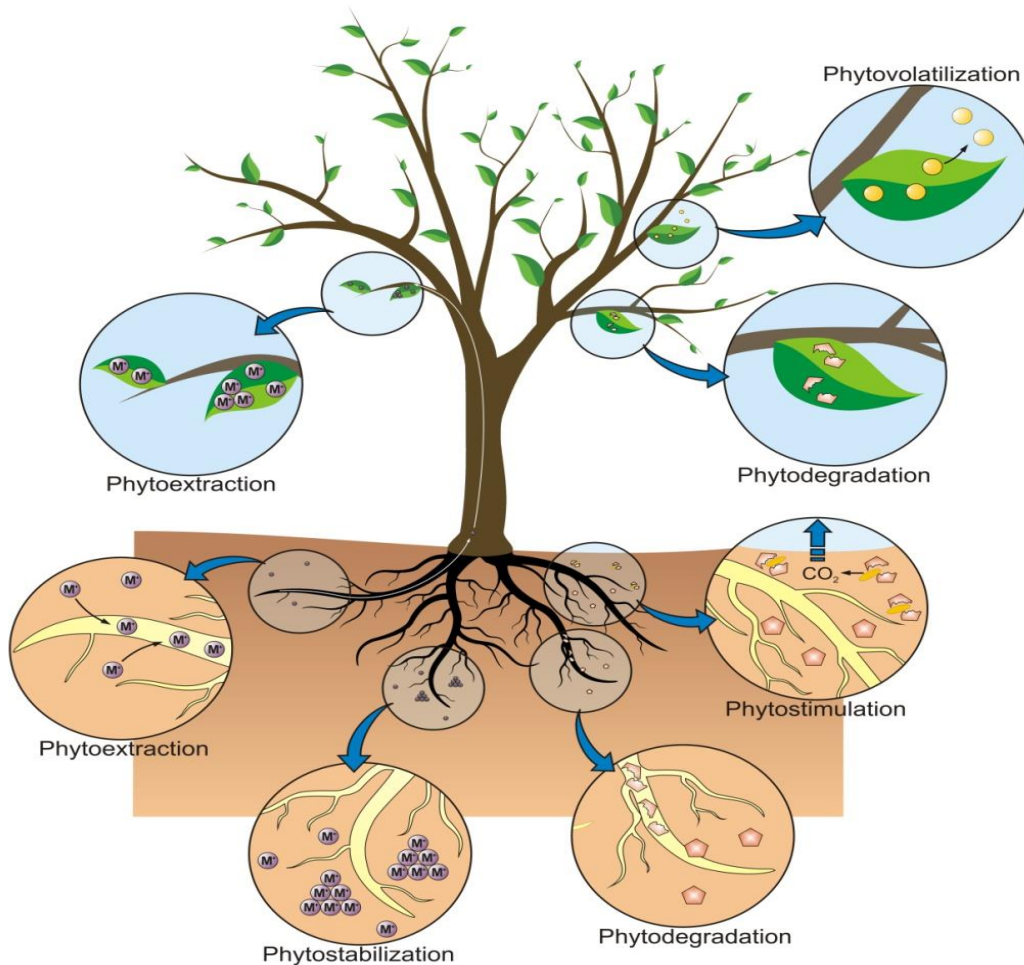


Figura 1.3. Tipos de degradación. (Paulo J.C. y col 2006)

Fitoextracción esta en el proceso de las plantas que se usan para concentrar metales en las partes cosechable (hojas y raíces), los cuales adsorben los metales

pesados como son el Cadmio, Cobalto, Cromo, Níquel, Mercurio, Plomo, Plomo Selenio y Zinc.

Rizofiltración. Utilizan las raíces de las plantas que se usan para absorber, precipitar y concentrar metales pesados a partir de efluentes líquidos contaminados y degradar compuestos orgánicos, y degradan los metales de Cadmio, Cobalto, Cromo, Níquel, Mercurio, Plomo, Plomo Selenio Zinc, isotopos radiactivos y compuestos fenólicos.

Fitoestabilización. Las plantas a metales se usan para reducir la movilidad de los mismos y evitar el pasaje a napas subterráneas al aire, principalmente en los desechos de yacimientos mineros con los propuestos para fenólicos y compuestos clorados.

Fitoestimulación se usan los exuda radiculares para promover el desarrollo de microorganismos degradativos (bacterias y hongos), y es utilizado en los hidrocarburos derivados del petróleo y poliaromáticos, benceno, tolueno y atrazina.

Fitovolatilización, a través de las plantas captan y modifican metales pesados o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera con la transpiración del mercurio selenio y solventes clorados (tetraclorometano y triclorometano).

Fitodegradación, a través de las plantas acuáticas y terrestres que captan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos menos tóxicos o no tóxicos, y degradan las municiones (TNT, DNT, RDX, nitrobenzeno, nitrotolueno) atrazina solventes clorados DDT, pesticidas fosfatados fenoles y nitrilos.

1.5.1.1 *Jatropha curcas L.*

La planta de *Jatropha curcas* L. pertenece a la familia de las Euphorbiaceae, nativa de México y Centroamérica, pero es ampliamente cultivada en Centro América, África y Asia. La planta de *Jatropha curcas* L. es resistente a la sequía y crece en suelos pobres y arenosos, en climas tropicales y semitropicales, en altitudes que van desde los 0-1500 msnm, el látex de sus hojas, se ha utilizado en medicina tradicional y también como cerca viva, protegiendo de la erosión (Makkar y col. 1998).

La popularidad actual de la planta se debe al uso del aceite. *Jatropha curcas* L. es única entre todas las fuentes de energía renovable en términos del gran número de posibilidades de utilización que pueden realizarse. Su cultivo requiere de simple tecnología, y comparativamente modesto capital de inversión (Francis y col. 2005).

El rendimiento de semilla reportado para *Jatropha curcas* L. varía de 0.5 a 12 ton/año/Ha, dependiendo del tipo de suelo, fertilización y condiciones de riego. El arbusto de *Jatropha curcas* L. tiene un periodo productivo de más de 40 años. Un promedio anual de producción de semilla alrededor de 5 Ton/Ha puede esperarse en excelentes tierras y precipitaciones de 900-1200 mm (Francis y col 2005).

Las semillas de *Jatropha curcas* L., (Figura 2.4) de México contienen 55-60% de aceite que puede ser convertido a biodiesel por un proceso llamado transesterificación. La conveniencia de conversión del aceite de *Jatropha curcas* L. a biodiesel ha sido claramente demostrada por diversos investigadores. Con rendimientos del 92% de conversión.



Figura 1.4. Semillas en crecimiento de la *Jatropha curcas L* (Paulo J.C. y col 2006) .

Las propiedades fisicoquímicas del biodiesel obtenido de *Jatropha. curcas L.*, cumple con los estándares internacionales europeos, además presenta ventajas sobre el diesel pues disminuye la emisión de una variedad de contaminantes. Las emisiones de dióxido de carbono no han sido todavía medidas para *Jatropha curcas L.*

Sin embargo, se ha demostrado en los Estados Unidos que el uso del biodiesel obtenido a partir del aceite de soya reduce las emisiones de CO₂ y SO en un 80 y 100%, respectivamente comparado con el petro-diesel (Francis y col, 2005).

La pasta residual, obtenida después de la extracción de aceite, contiene un 50 - 60% de proteína cruda comparada con el 45% de la harina de soya. En México, existen variedades denominadas como “no tóxicas” pues no presentan los ésteres de formol, responsables de la toxicidad y son utilizadas en varias regiones en la preparación de diversos platillos tradicionales, por lo que su empleo en la alimentación humana y/o animal es posible. Aunado a esto, la cáscara del fruto, puede ser utilizada para la producción a biogás (Schmook y col 1997).

Características de la planta *Jatropha curcas L.*

- 1.- Altura: 4 a 8 metros de altura.
- 2.- Vida productiva: 45 a 50 años.
- 3.- Tallos: erguido y ramas gruesas.
- 4.- Madera del árbol: ligera.
- 5.- Hojas verdes: 6 a 15 cm largo y ancho.
- 6.- Fruto oval 30 mm. Longitud aproximadamente.
- 7.- Cada fruto contiene de 2 a 3 semillas.
- 8.- Semillas de color negro: Longitud de 17 a 20 mm. Ancho 10 a 12 mm.
- 9.- Semillas un kilo: 1700 aproximado.
- 10.- Aceite de semillas: 30 a 40 % (52 % en municipio de Sinaloa de Leyva).
- 11.- Ramas contienen un látex blanquizco.
- 12.- Cinco raíces en semilla germinada.
- 13.- Una raíz central y cuatro pivotantes (lados).
- 14.- Se defolia (caída de hojas) en sequía e invierno su desarrollo queda latente.
- 15.- No soporta bajas temperaturas (bajo cero) prolongadas.
- 16.- Principales aceites: oleico y linoleico principalmente.

Ficha técnica de la *Jatropha curcas* L. Figura 1.5

Nombre Científico: *Jatropha curcas* L

Nombre Común: Piñón, Tempate, Piñón Botija, Piñón de leche, Coquito, etc.

Reino: Plantae

Subreino: Tracheobionta

División: Embryophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Rosidae

Orden: Malpighiales

Familia: Euphorbiales

Subfamilia: Crotonoideae

Tribu: Jatropeae

Género: *Jatropha*

Especie: *J. curcas*



Figura 1.5. Planta de *Jatropha curcas* L. (Paulo J.C. y col 2006)

1.5.1.2. Resultados de la *Jatropha curca* L. como planta fitorremediadora.

Las diversas investigaciones realizadas con la plantas *Jatropha curca* L. como planta remediadora de suelos contaminados por metales como el Cadmio, Zinc, Mercurio y Cobalto han trabajado como una planta potencial de biocombustibles para el desarrollo sostenible (Vimal Chandra Pandey y col 2011). En lo cual la plantean como planta tropical única y potencial para aumentar las fuentes de energía debido a sus diversos méritos por los que merece ser considerado como único candidato en la tangibles e intangibles de la ecología y el medio ambiente y es considerando un segundo punto para su inmenso papel en la producción de biodiesel un combustible ecológico, biodegradable, Renovables y no tóxicos en comparación con el petro-diesel, a excepción de pocos compuestos cancerígenos encontrados.

La investigación de la Biorremediación de suelos contaminados con petróleo para combatir la toxicidad *Withania somnifera* mediante cebado de semillas con biosurfactante produciendo rizobacterias que promueven el crecimiento de las plantas. Amar Jyoti Das, Rajesh Kumar (2015). En esta investigación el suelo contaminado con petróleo no puede ser utilizado para fines agrícolas debido a hidrocarburos toxicidad. El suelo contaminado con aceite induce toxicidad que afecta la germinación, el crecimiento y la productividad. Varios se han propuesto tecnologías para la biorremediación de sitios contaminados con petróleo, pero la Biosurfactante que produce rizobacterias de promontorio de crecimiento de plantas (PGPR) es considerado prometedores. En el presente estudio, la eficacia del cebado de semillas sobre el crecimiento y el pigmento de *Withania Somnifera* bajo la toxicidad del petróleo se explora. Se sembraron semillas de *W. somnifera* con biosurfactante produciendo *Pseudomonas* sp. AJ15 con rasgos promotores del crecimiento de las plantas que tienen potencialidad para utilizar petróleo como fuente de carbono. Los resultados indican que la planta surgió de cebado semillas bajo varios

La concentración expresó altos valores para todos los parámetros estudiados, a saber, la germinación, la longitud de los brotes, longitud de la raíz, peso fresco y seco y pigmentos (clorofila y carotenoide) en comparación con los no cebados de semillas. Por lo tanto, el presente estudio significa que la degradación del petróleo biosurfactante productores PGPR podría ser utilizados para el manejo y desintoxicación de suelos contaminados con petróleo para cultivos económicamente importantes.

Algunas de estas investigaciones plantean que la Fitorremediación del suelo contaminado con aceite lubricante usado utilizando *Jatropha curcas*. P. Agamuthua y col 2010. En la cual la contaminación del suelo por el aceite lubricante usado de los automóviles es una preocupación creciente en muchos países, especialmente en los continentes asiático y africano. Fitorremediación de este suelo contaminado con plantas no comestibles como *Jatropha curcas* ofrece un medio ambiente amigable y rentable método para remediar la contaminación del suelo. En este estudio se llevó a cabo durante un período de 180 días bajo condiciones de habitación. 56,6% Y 67,3% de pérdida de aceite lubricante residual se registró en *Jatropha* suelo remediado sin enmienda orgánica Para el 2,5% y 1% de contaminación, respectivamente. Sin embargo, la adición de residuos orgánicos. La remediación aumenta rápidamente la eliminación de residuos de aceite lubricante a 89,6% y 96,6% en suelo contaminado, con 2,5% y 1% de aceite, respectivamente. La raíz de *Jatropha* no acumulaba hidrocarburos del suelo. El número de hidrocarburos que utilizan las bacterias fue alto en la rizosfera de la planta de *Jatropha*, lo que sugiere que el mecanismo de la degradación del aceite fue a través de la rizodegradación. Estos estudios han demostrado que *J. curcas* con enmienda orgánica tiene un potencial en la recuperación de suelos contaminados con hidrocarburos.

CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS.

2.1 Metodología de fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos por semillas *Jatropha curca* L.

La presente investigación se desarrolló en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Villahermosa (ITVH) y en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG) en las cinco fases que se aprecian en la Figura 2.1.

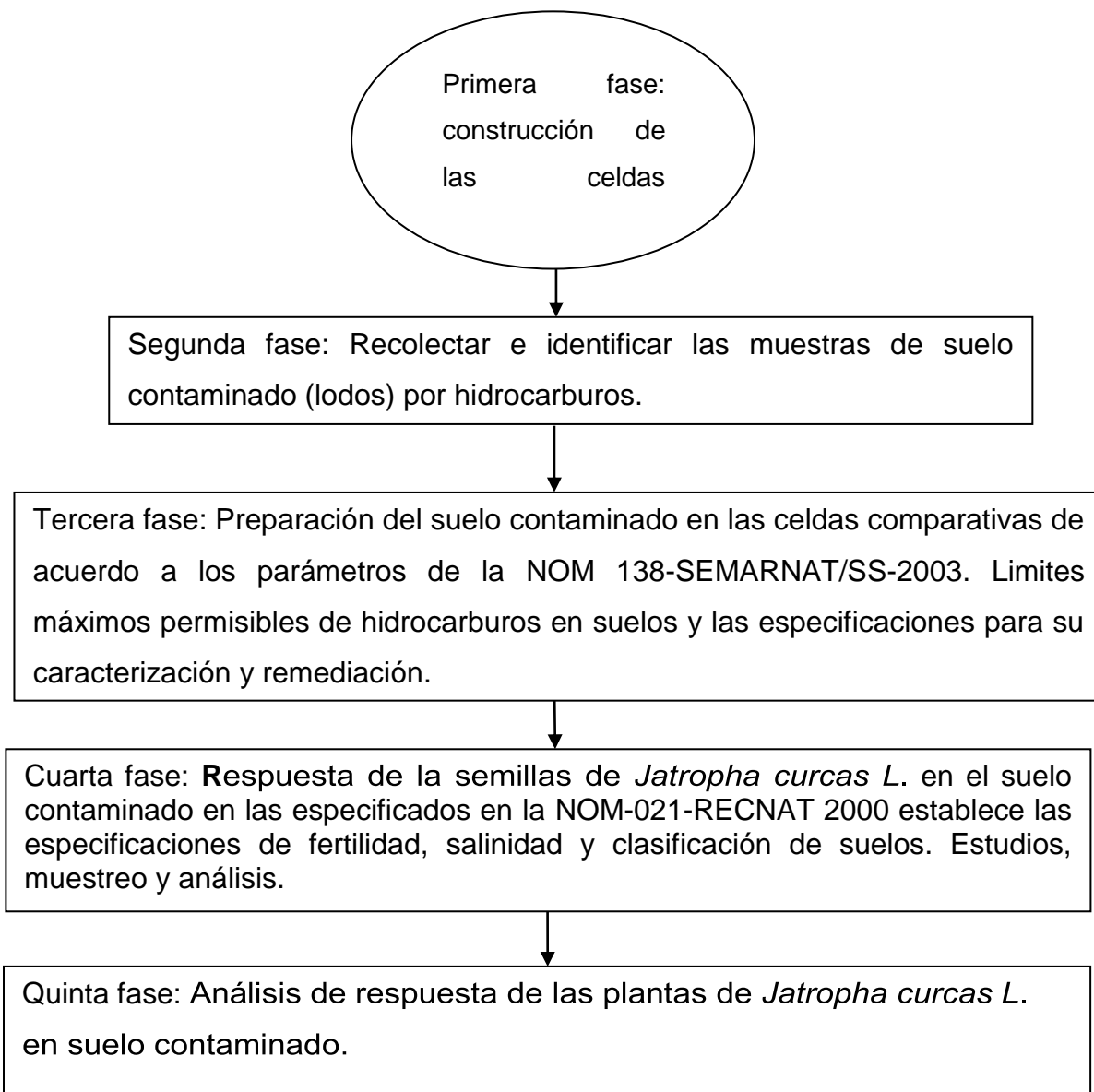


Figura 2.1 Diagrama de flujo en las fases de fitorremediación.

2.2 Primera fase: construcción de celdas comparativas.

En la primera fase se construyó la celda comparativa de madera con tres celdas de mediciones de 60 cm de ancho por 28 cm de alto y 130 cm de largo, en la cual se colocó en el fondo una protección de plástico propileno oscuro en las celdas A, B y C como se muestra en la figura 2.2.



Figura 2.2. Celdas comparativas A, B y C

2.3. Segunda fase: Recolectar e identificar las muestras de suelo contaminado (lodos) por hidrocarburos.

Se Identificó el sitio contaminado Figura 2.3 a través de una visita en la ranchería Barranquilla del municipio de Centla, en el cual se pudo ver un árbol de válvulas. En lo que se identifico derrames en la zona a través de que en las fechas que se fue a reconocer el lugar se pudo encontrar un área de pantano y se encontró un espejo de aceite en los alrededores de la estación de válvulas de PEMEX, y se extrajeron muestras aleatorias a una profundidades de más de 15 cm (Figura 2.4).



Figura 2.3. Terreno de la Rancharía Barranquilla del municipio del centro.



Figura 2.4. Extracción para la toma de muestras

La recolección de las muestras fue a través de costales en los cuales se almacenó el suelo extraído y se transportó. Figura 2.5.



Figura 2.5. Recolección de tierra contaminada con Hidrocarburos.

Las muestras del suelo fueron tomadas dentro de cada bolsa plástica para el análisis del hidrocarburo total del petróleo (TPH).

2.3.1 Medición de pH.

2.3.1.1 Medición del pH de la muestra.

Se calibró el medidor de pH y se agitó nuevamente la suspensión se introdujo el electrodo en la suspensión. Se registró el pH al momento en que la lectura se estabilizó. (Figura 2.6).



Figura 2.6. Medidor de pH.

2.3.1.2 Estabilización de pH

Para neutralizar el pH, se le agrego el sustrato, compuesto materia orgánica (caldolomita, como se ve en la figura 2.7) que utiliza para agregarle nutrientes naturales al suelo y estabilizar el pH.



Figura 2. 7. Muestra de caldolomita.

2.3.2. Análisis de retorta (contenido de líquidos y sólidos).

Se desmonto el equipo de retorta y se lubricaron las roscas del vaso de muestras con grasa para altas temperaturas a continuación se lleno el vaso de muestra con el fluido a aprobar casi hasta el nivel máximo. Se coloco la tapa del vaso de muestra girando firmemente y escurriendo el exceso de fluido para obtener el volumen exacto, se requiere un volumen de 10, 20 o 50 ml. Se limpio el fluido derramado sobre la tapa y las roscas. Se lleno la cámara de expansión superior con virutas finas de acero y luego se atornillo el vaso de muestra a la cámara de expansión.

Las virutas de acero deberán atrapar los sólidos extraídos por ebullición. Mantener el montaje vertical para evitar que el lodo fluya dentro del tubo de drenaje. Se introdujo la muestra y se atornillo el tubo de drenaje dentro del orificio en la extremidad del condensador, se asentó firmemente el cilindro graduado que esta calibrado para leer en porcentajes debería estar sujetado al condensador con abrazaderas.

Se conectó con el cable de alimentación en el voltaje correcto y se mantuvo la unidad encendida hasta que terminó la destilación, lo cual tardó 25 minutos según las características del contenido de petróleo, agua y sólidos. Se dejó enfriar el destilado a la temperatura ambiente. Posteriormente el porcentaje de agua, petróleo y sólidos directamente en la probeta graduada, petróleo-agua, después el porcentaje de sólidos. Al final de la prueba, se enfrió completamente, se limpió y seco el montaje de retorta.

Se usa una retorta de lodo con capacidad de calefacción en el “horno” para determinar la cantidad de líquidos y sólidos contenidos en un fluido de perforación. No se recomienda el uso de retortas calefactoras de sonda interna.

Se coloca una muestra de lodo (retortas de 10, 20 o 50 ml están disponibles) dentro del vaso y se añade la tapa para expulsar parte del líquido.

Esto garantiza un volumen correcto. La muestra es calentada hasta que los componentes líquidos se vaporicen. Los vapores pasan a través de un condensador y se recogen en un cilindro graduado que suele ser graduado en porcentajes. El volumen de líquido, petróleo y agua se mide directamente en porcentajes. (Manual m-1, Waco).

La estructura es la agregación de las partículas del suelo, que se pueden encontrar en distintas formas y proporciones, se separan casi de manera imperceptible de acuerdo a la estructura que presente el tipo de suelo, puede afectar la penetración del agua, el drenaje, la aireación y desarrollo de raíces.

Se hizo circular un producto limpiador de tubos atreves del orificio del condensador y del tubo de drenaje de la retorta para limpiar y mantener integro el calibre de los orificios. Figura 2.8.



Figura 2.8. Equipo de Retorta

Por el equipo de Retorta se puede separar el aceite y agua. Donde podemos identificar el volumen de aceite en una muestra de 100 g, de suelo. Figura 2.9.



Figura 2.9. Presentación de aceite obtenido de suelo contaminado.

Los datos del volumen de aceite obtenidos de las muestras de las celdas A, B, y C. se podrán indicar en la Tabla 3.

Tabla 3. Muestras de inicio

Muestras	Aceite ml
Muestra A	
Muestra B	
Muestra C	

2.3.3. Análisis de Extracción de grasas y aceites.

El análisis de los contenidos totales de hidrocarburos en suelos con características físicas y químicas diferentes se realizó mediante extracción de reflujo Soxthel, empleando el método EPA 3540C (1996), disolventes de distinta polaridad y aplicando diferentes tiempos de extracción. Se presenta el sistema Soxthel, que se empleó para la extracción.

Las propiedades físicas de los disolventes empleados en este trabajo se mencionan en las propiedades de los suelos. Este método de extracción asegura el contacto íntimo de la matriz de la muestra con el disolvente.

Para la óptima extracción de los compuestos orgánicos, el suelo se pulverizó en partículas pequeñas, para asegurar un mejor contacto con el disolvente, y así logran una extracción más eficiente.

El disolvente fue evaporado y el extracto orgánico extraído obtenido se cuantificó gravimétricamente. El resultado se reporta como porcentaje de la muestra total en base peso seco.

Las propiedades físicas de los disolventes empleados en este trabajo están listadas en la Tabla 2.3. El criterio para la selección de los disolventes de extracción, se basó en la constante dieléctrica, la cual se tomó como medida de la polaridad del disolvente (Wade, 1993), lo que permitió elegir tres disolventes de polaridad constante.

Tabla 4. F: fórmula química, ϵ : constante dieléctrica, PE: temperatura de ebullición normal, Constantes físicas de los disolventes utilizados (Wade, 1993)

Solvente	F	ϵ	PE(°C)	Características
Metanol	CH ₃ OH	24.30	69	Toxico e inflamable
Hexano	C ₆ H ₁₄	1.89	80	Toxico e inflamable
Diclorometano	CH ₂ Cl ₂	8.90	40	Toxico e ligeramente inflamable

Para extraer los hidrocarburos de suelos contaminados se utiliza el método de reflujo con equipo Soxthel, tomando como referencia los métodos D5369-93 de la ASTM (2003) y 3540C y 3541 de la US EPA (1996, 1994).

2.3.4 Materiales y Métodos de Extracción de grasas y aceites

Equipo reflujo Soxthel

Papel filtro

Balanza analítica

Hexano

Partes que componen un equipo de extracción Soxthel.

1. Brazo para ascenso del vapor
2. Cartucho de extracción o cartucho sote
3. Muestra (residuo)
4. Entrada sifón
5. Descarga de sifón
6. Adaptador
7. Refrigerante (condensador)
8. Entrada de agua refrigeración
9. Salida de agua refrigeración.

En el procedimiento, los sedimentos extraídos de las celdas comparativas A, B y C, fueron analizados a fin de evaluar la cantidad en ppm de hidrocarburos totales del petróleo que dichas muestras contienen y el método por el que se llevo a cabo la determinación.

La extracción de hidrocarburos del petróleo por Soxthel fracciones de C_6 a C_{50} . El desarrollo del método de extracción Soxthel incluye encontrar un solvente mezclas solventes que tengan una alta afinidad por los analitos y una baja afinidad por la matriz de la muestras solida.

Este método consiste en extraer los hidrocarburos contenidos en el suelo mediante la acción de un disolvente orgánico volátil apropiado, que es extraído de la muestras varias veces durante el tiempo determinado.

El disolvente es evaporado y posteriormente condensado en un refrigerante se le hace pasar por la muestra y se le regresa al origen para se nuevamente evaporado.

La muestra solida es mezclada con sulfato de sodio anhidro para eliminar el agua residual, se coloca en un dedal de o cartucho de papel o fibra de vidrio y se usa un solvente orgánico apropiado en este caso fue de hexano para su extracción en un equipo Soxthel. Mediante los reflujos del solvente y la temperatura se permite el contacto intimo de la muestras. El extracto orgánico fue evaporado para realizar el intercambio de solvente, acorde al método de cuantificación.

2.3.5 Procedimiento de utilización equipo Soxthel.

- 1) Colocar tres gramos de suelo seco y finamente molido en un cartucho de celulosa o fibra de vidrio, Figura 2.10



Figura 2.10. Colocación de cartuchos de celulosa

2) Equipo Soxthel figura 2.11 e iniciar el calentamiento



Figura 2.11. Equipo Soxthel armado

- 3) Mantener el reflujo en estas condiciones durante 4 horas, de tal manera que se efectuó entre 6 y 8 reflujos por hora lo que permitirá la liberación de los analitos.
- 4) Después de 4 horas, el extracto orgánico contendrá todos los hidrocarburos solubles en diclorometano.
- 5) Recuperar el concentrado en un vial de 20 ml y dejar en la campana para que se evapore los solventes y posteriormente pesar nuevamente los frascos que se tenían a peso constante para obtener la diferencia de peso.

2.4 Tercera fase: preparación del suelo contaminado en las celdas comparativas.

El primero paso fue la colocación de las muestras del sitio contaminado, tomando muestras aleatorias, Figura 2.12, Se trabajó con base en la norma NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.



Figuras 2.12. 200 kilogramos de tierra contaminada para colocarlas en las celdas comparativas.

Se colocó el suelo contaminado en las celdas comparativas un aproximado de 60 kilogramos para cubrir una área de 60 x 80, Figura 2.13 y por cada celda que se menciona como celda; A, B y C. Figura 14.



Figura 2.13



Figura 2.14

Figuras 2.13, 2.14 El suelo contaminado se coloca en las celdas de una forma homogénea.

2.4.1 Procedimiento para la colocación del sustrato (caldolomita).

Se trabajaron por cada celda de capacidad de un litro. En la primera celda (a) con una relación de 6000 g de suelo, 2000 g del sustrato de cal (CaCO_3). Se procedió a la mezcla homogénea del mismo. En la segunda celda (b) con una relación de 6000 g de suelo, 3500 g del sustrato (CaCO_3). En la celda (c) con una relación de 6000 g de suelo y 4500 g de sustratos (CaCO_3) procedió a la mezcla con agua. Se dejó en reposo de 24 horas. Figuras 2.15, 2.16.



Figura 2.15



Figura 2.16.

Figura.2.15, 2.16. Agregado y mezcla de la celda comparativa

2.3.2. Preparación de las celdas con estiércol de bovino.

Después 24 horas de haber agregado la caldolomita, se les agrego el estiércol de ganado bovino figura 2.17, se revolvió de forma homogénea; celda A, 5000 g, celda B 4000 g, celda C 3000 g, (Figura 2.18).



Figura 2.17. Preparación del estiércol de ganado bovino.



Figura 2.18. Homogenización del estiércol de ganado en la celda comparativa.

Se prepararon las semillas de *Jatropha curcas L.*, para ser sembradas en las celdas comparativas en las cuales se sembraron directamente 15 semillas en cada celda, con fecha del 1 de Noviembre del 2015. Figura 2.19.

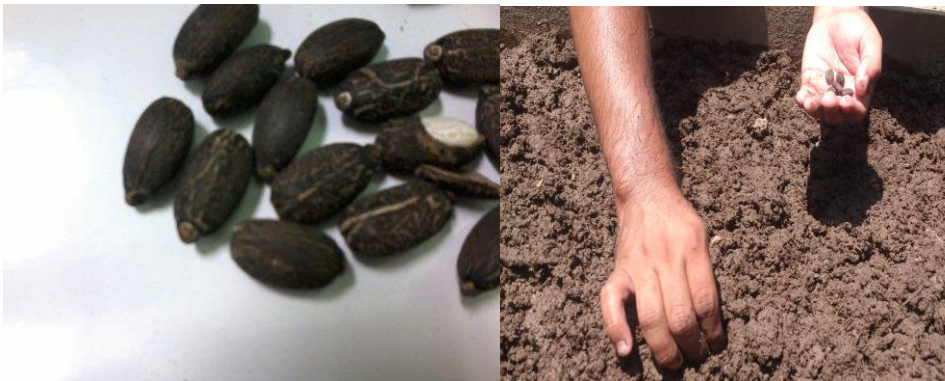


Figura. 2.19 semillas y Siembra de *Jatropha curcas L.* en las celdas comparativas.

2.5. Cuarta fase: Respuesta de las plantas de *Jatropha curcas L.* en el suelo contaminado.

Se tienen que el día 6 de Noviembre se pudo empezar a notar la reacción de las semillas en el suelo contaminado empezando a brotar las plantas Figura 2.20.



Figura 2.20. Brote de las semillas de *Jatropha curcas L.*

Para fechas del los primero 35 días se pudo observar que las semillas brotaron Figura 2.21 ya estaban a una altura considerable figura 2.22.



2.21. Respuesta de crecimiento de las semillas.



Figura. 2.22. Al cuadrar la celdas se puede tener una aproximado de la respuesta de las semillas de un incrementó del tallo.

Para un tiempo de 90 días (Figura 2.23) el crecimiento se manifestó en el crecimiento las plántulas de mayor tamaño, en respuesta de la fitorremediación en las celdas comparativas.



Figura 2.23. Plántulas en las celdas comparativas

2.5. Quinta fase: Análisis de respuesta de las plantas de *Jatropha curcas L* en suelo contaminado.

Al cumplir los 120 días desde la siembra, se inicia con el análisis del suelo. Por medio del equipo de retorta en el Instituto Tecnológico de Villahermosa se calculó el porcentaje de aceite y agua en una muestra de 150 g como se muestra en la figura 2.24.



Figuras. 2.24 Celda a. con nueve áreas analizar.

A 120 días desde la siembra se comenzó a analizar el suelo con un tubo de PVC, de 6 cm de diámetro y 20 cm de largo (Figura 2.25, 2.26), se inicio en la celda b, que tienen seis cuadros donde se observó que el crecimiento es aceptable. Se introdujo el tubo hasta el fondo de la tabla aproximadamente a 12 cm, para luego retirarlo con la muestra en el interior.



Figura 2.25



Figura 2.26

Figuras. 2.25, 2.26. Extracción de la suelo alrededor de las plántulas.

Se colocaron las muestras para luego introducirla en capsulas de metal de 150 g (Figura 2.27), para la preparación por medio sólido marcado cada una de las áreas de la celda comparativa.



Figuras 2.27. Preparación en las capsulas de los 100 g de las celdas de Retorta.

Se colocaron probetas para capturar el líquido en la tercera fase de sólido a gas, en tubo de probeta un tiempo de 20 minutos para empezar a descargar agua y aceite. Figuras 2.28 y 2.29.



Figuras 2.28 Comparación de muestras

Una vez tomadas las nueve muestras de aceite se empezó a realizar conteo para determinar el porcentaje de aceite. Figura 2.29



Figura 2.29 Tomando las muestras del equipo de retorta.

CAPITULO III RESULTADOS Y DISCUSION.

3.1 Respuesta de las plantas a los hidrocarburos.

La aparición de las plantas de *Jatropha* en respuesta a diversas concentraciones de hidrocarburos fue supervisada a través de los 150 días del experimento; no se registró ninguna muerte vegetal en todos los tratamientos de suelos contaminados con residuos de hidrocarburos, sin embargo algunas de las plantas mostraron signos de fitotoxicidad como la coloración amarillenta de las hojas, estos resultados están en acuerdo con los hallazgos reportados por Agamuthu y col, (2010).

3.2. Resultados de la celda B

En ocho meses después de la siembra se tuvo un resultado en el que se señala el sistema de rizosferación de la *Jatropha curcas L.* en los parámetros en la Tabla 5. La estos resultados fueron atraves de los equipos de retorta por el cual iniciamos en la celda B, en sus nueve cuadrantes.

Tabla 5. Resultados de las celdas B por los equipos de retorta.

Celdas	ml Aceite en cuadrante 1a	ml Aceite en cuadrante 2b	ml Aceite en cuadrante 3c	Media muestra	Media total, ml
B	0.2	0.2	0.4	0.2	0.25
	0.2	0.1	0.3	0.2	
	0.4	0.3	0.2	0.3	

Los cuadrantes de las celdas comparativa B, se observan los niveles de volúmenes de aceite y agua. Figura 3.30



Figura 3.30. Las nueve muestras de la celda B.

3.3. Resultados de la muestras C.

En la celda C, se realizó un análisis por medio del equipo de retorta se obtuvieron los resultados menos cantidad de sustratos en la celda C, fue diferente que en las celdas A y B, (ver Tabla 6).

Tabla. 6. Porcentajes de aceite en la celda C.

celda	ml. Aceite en cuadrante 1a	ml. aceite en cuadrante 2b	ml. aceite en cuadrante 2c	ml. aceite en cuadrante 3d	Media muestra de los cuadrantes	Media total
C	0.3	0.3	0.5	0.9	0.3	0.3
	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	
	0.4	0.3	0.2	0.3	0.3	

Datos de la celda C comparativa C se pueden ver los mililitros de agua y aceite. Figura 3.31.



Figura 3.31. Las 12 muestras de la celda C.

3.4. Resultados de la celda A.

En la celda A se obtuvo un resultado variable que la celda B y C, ya que los volúmenes de ellas fue diferente. (Tabla 7)

Tabla. 7 Porcentajes de aceite en las celdas A.

celda	ml. aceite en el cuadrante 1a	ml. aceite en el cuadrante 2b	ml. aceite en el cuadrante 3c.	ml aceite en el cuadrante 4d	Media ml. muestra	Media de ml total
A	0.3	0.2	0.4	0.4	0.3	0.4
	0.2	0.3	0.4	0.2	0.3	
	0.4	0.3	0.5	0.3	0.5	

En la Figura 3.32 se puede ver lo valor de aceite y agua en las probetas, estos valor obtenido de las pruebas de retorta.



Figura 3.32. Las 12 muestras de la celda A

3.4. Discusión.

Estos resultados fueron obtenidos de la Tabla 8, que fueron realizados por el equipo de retorta cuando el material fue extraído en las celdas comparativas que tienen un volumen de aceite en las tres celdas de 1.3 ml.

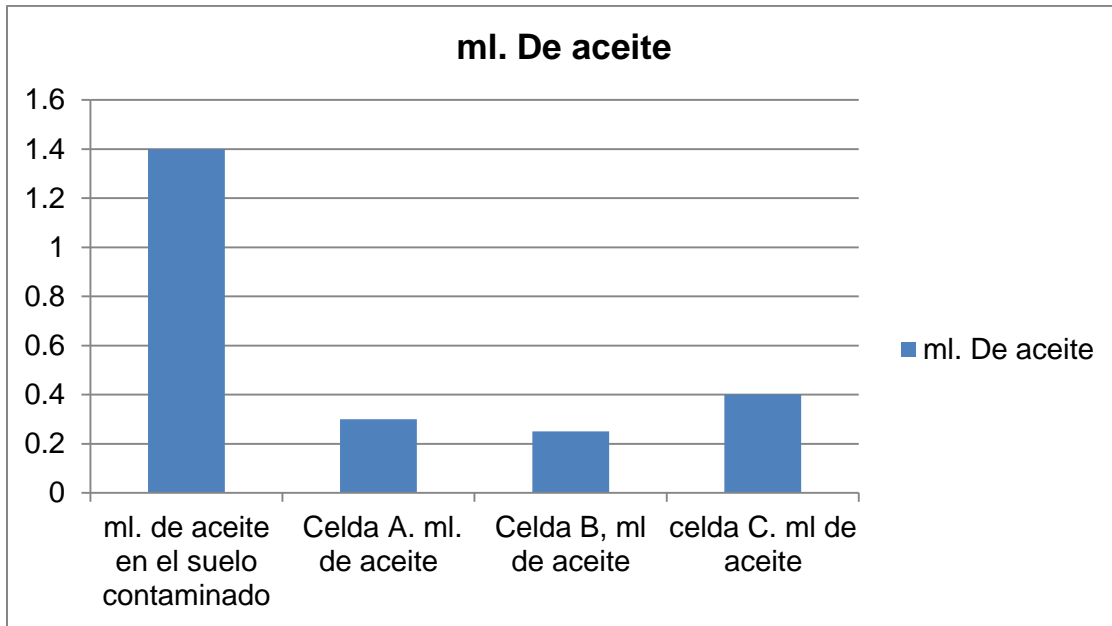
Celdas comparativas	Aceite, ml
A	1.3
B	1.2
C	1.3

Tabla 8 media muestral del volumen de aceite de las celdas comparativas

En la Tabla 9 se muestran los resultados comparativos de las muestras A, B y C, tenemos un resultado de 1.3 ml de aceite en total, de igual manera tenemos los resultados de las celdas ya fitorremediación en lo cual tenemos un valor, donde podemos señalar que la rizosferización en un tiempo de ocho meses cumple con un resultado aceptable.

Tabla 9. Media muestral de los Resultados, de las celdas comparativas.

ml. de aceite en el suelo contaminado	celda A. ml. de aceite	Celda B, ml de aceite	celda C. ml de aceite
1.4	0.3	0.25	0.4



Grafica 1. Medición de los niveles aceite en las celdas comparativas

En el proyecto de Fitorremediación del suelo contaminado con aceite lubricante usado, utilizando *Jatropha curcas*. P. Agamuthua, y col (2010). Esta investigación tiene una respuesta de 180 días de la experimentación no se registró la muerte de la planta en todos los tratamientos de suelo contaminado con 1% de aceite lubricante residual de automóviles. Sin embargo, la adición de residuos orgánicos (BSG) a *Jatropha*. La remediación aumenta rápidamente la eliminación de residuos de aceite lubricante a 89.6% y 96.6% en suelo contaminado. Con 2.5% y 1% de aceite, respectivamente. La raíz de *Jatropha* no acumulaba hidrocarburos del suelo, número de hidrocarburos que utilizan las bacterias fue alto en la rizosfera de la planta de *Jatropha*, lo que sugiere. Que el mecanismo de la degradación del aceite fue vía rizodegradación. Estos estudios han demostrado, que *Jatropha curcas* L. curcas con enmienda orgánica tiene un potencial en la recuperación de suelos contaminados con hidrocarburos.

Conclusiones.

Jatropha. Curcas L. mostró un potencial para soportar el mínimo concentración (1% y 2,5%, w/w) de aceite lubricante usado en el suelo contaminado en el presente estudio (celda B). Sin embargo, no se detectó acumulación de hidrocarburos en el tejido vegetal, pero la rizosfera de la *Jatropha curcas L.* en el tiempo de duración del estudio en las celdas comparativas en su espacio de 15 cm de profundidad ya no pudieron permitir que las raíces y el tallo pudieran desarrollarse más en “in situ”. Por consiguiente, el estudio prueba la viabilidad de utilizar *Jatropha curcas L* con caldolomita para fitorremediar suelos contaminados con hidrocarburos. Esto ofrece un método alternativo para eliminar los contaminantes del petróleo del suelo al mismo tiempo que promueve el crecimiento de plantas económicamente viables como la *Jatropha curca L* cuya semilla se puede utilizar para la producción de biodiésel.

BIBLIOGRAFIA.

Amar Jyoti Das, Rajesh Kumar. Biorremediación de suelos contaminados con petróleo para combatir la toxicidad *Withania somnifera* mediante cebado de semillas con biosurfactante Produciendo rizobacterias que promueven el crecimiento de las plantas 2010. Rhizospheric Biology Laboratory, Department of Environmental Microbiology, School for Environmental Sciences, Babasaheb Bhimrao Ambedkar (A Central) University, VidyaVihar, Raibareli Road, Lucknow 226 025, India.

Corona-Ramírez, L & R Iturbe-Argüelles. (Atenuación natural en suelos contaminados con hidrocarburos). Ing. Inv. y Tec., VI (2): 119-126. 2005 Botello, A, V y S, A Macko 1982, presencia de hidrocarburos fosiles en ecosistemas estuarios del golfo de mexico. Rev Biol Trop.

Cuevas Díaz María del Carmen, Espinosa Reyes Guillermo, Hdez. Cesar Arturo. Y Méndez Cantú Ana. (Métodos eco toxicológicos para la prevención de suelos contaminados con hidrocarburos).Editores PRIMERA EDICION 2012).

Eugenia J. Olguín, María Elizabeth Hernández, Gloria Sánchez-Galván. Contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de biorremediación, fitorremediación y restauración Revista Internacional de Contaminación Ambiental, vol. 23, núm. 3, 2007, pp. 139-154, Universidad Nacional Autónoma de México.

Fernández L., L. C., N. G. Rojas A., T. G. Roldán C., M. E. Ramírez I., H. G. Zegarra M., R. Hernández U., R. J. Reyes A., D. Hernández F., y J. M. Arce O. 2006. Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a

la remediación de sitios contaminados. Instituto Mexicano del Petróleo. México, D. F. 180 p

Fitorremediación de suelos contaminados con metales y metaloides en áreas de minería: potencial de flora nativa.(2006) Paulo J.C. Favas, João Pratas, Mayank Varun, Rohan D'Souza and Manoj S. Paul.

Israa Abdulwahab Al-Baldawi, Siti Rozaimah Sheikh Abdullah, Nurina Anuar
Fitodegradación del hidrocarburo total de petróleo (TPH) en Agua contaminada con *Scirpus grossus*, Fatihah Suja, Idris Mushrifah.

Jamil S, Abhilash P, Singh N, Sharma P.(Importancia química de *Jatropha curcas L* y sus aplicaciones biológicas, farmacológicas e industriales *Jatropha curcas L*. a potential crop for phytoremediation of coal fly ash. J Hazard Mater. 2009;172(1) 269-75.

Jorge Martínez Herrera, Alma L. Martínez Ayala, Gloria Dávila Ortiz (EL PIÑÓN MEXICANO (*JATROPHA CURCAS L.*) FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE) Centro de Desarrollo de Productos Bióticos-IPN 2006

Jyoti Luhach¹is pursuing Ph Potencial fitorremediación de *Jatropha curcas* para eliminación de metales pesados de los lodos de refinería. *Din Environmental Sciences in Kurukshetra University, Kurukshetra, Haryana, India, E-mail: jyoti.luhach@gmail.com Smita Chaudhry²is Professor and Director of Institute of Environmental Studies, Kurukshetra University, Kurukshetra, Haryana, India, E.*

Kavitha Kadirvel K. and M. Jegadeesan Mercurio y acumulación de cadmio en las plantas de malas hierbas seleccionadas: Implicaciones para la fitorremediación. (2014) *Department of Environmental and Herbal Science, Tamil University, Thanjavur, Tamil Nadu, India*

María Regla Soroa Bell, Margarita Ramírez Gotario. fitorremediación, alternativa ante suelos contaminados Por hidrocarburos. 1 Centro de Investigaciones del Petróleo. (CEINPET). Churruca, No. 481, e/ Vía Blanca y Washington, Cerro. La Habana. 2010 2 Oficina Central de la Unión Cubapetróleo. (CUPET). Oficios No. 154, e/. Amargura y Teniente Rey, Habana Vieja. La Habana. e mail: 1resobell@ceinpet.cupet.cu., 2 gotario@union.cupet.cu.

Nik M. Majid, M.M. Islam* and Yumarnis Riasmi La absorción de metales pesados y la translocación de *Jatropha curcas L.* en lodos aserrín contaminado suelos (2012) Department of Forest Management, Faculty of Forestry, Universiti Putra Malaysia, 43400 UPM, Serdang, Selangor, Malaysia. P. Agamuthua, O.P. Abioyea,*, A. Abdul Azizb (2010) Fitorremediación del suelo contaminado con aceite lubricante usado utilizando. *Jatropha curcas* Institute of Biological Sciences, University of Malaya, 50603 Kuala Lumpur, Malaysiab Department of Chemical Engineering, University of Malaya, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia.

Pterocarpus Indicus y Jatropha curcas I. Sarwoko Mangkoedihardjo and Surahmaida. La fitorremediación de cromo hexavalente contaminada del suelo uso, Laboratorio of Ecotoxicology, Departament of Environmental Engineering, Sepuluh Nopember Institute of Technology (ITS), Surabaya 60111, Indonesia.

Sarwoko Mangkoedihardjo, Rhenny Ratnawati and Neni Alfianti (2008). La fitorremediación de cromo hexavalente contaminada del suelo Uso *Pterocarpus indicus y Jatropha curcas L.* Laboratory of Ecotoxicology, Department of Environmental Engineering, Sepuluh Nopember Institute of Technology (ITS), Surabaya 60111, Indonesia Seoanez, C. M. (1999) contaminación del suelo; estudios, tratamiento y gestión, Mundi-prensa. Barcelona

Sun Yat-Sen University, Guangzhou, Fitoestabilización Potencial de *Jatropha curcas* L. en ácido polimetálica (2008) relaves Mineros. 1School of Environmental Science and Engineering, P. R. China, Guangdong Provincial Key Laboratory of Environmental Pollution Control and Remediation Technology, Sun Yat-Sen University, Guangzhou, P. R. China.

Vimal Chandra Pandeya^{a,*}, Kripal Singh^b, Jay Shankar Singh^c, Akhilesh Kumard, Bajrang Singh^b, Rana P. Singha (2010 Una planta potencial de biocombustibles para el desarrollo sostenible Department of Environmental Science, Babasaheb Bhimrao Ambedkar (Central) University, Raibareilly Road, Lucknow 226025, Uttar Pradesh, India.