

Evaluar la fitorremediación de los suelos contaminados por hidrocarburos a través de la rizosferación de la *Jatropha Curca L.*

Evaluate the phytoremediation of soils contaminated by hydrocarbons through the rhizosphereation of *Jatropha Curca L.*

Adalberto Jimenez Hernández^{1*}, Olvia Maygualida Rodríguez Angulo¹
y Héctor Emilio Samaniego Morales¹

¹*Tecnológico Nacional de México campus Villahermosa, Km. 3.5 carretera, Villahermosa-Frontera, Ciudad Industrial, CP 86010, Villahermosa, Tabasco, México.*

*Corresponding author:
adalberto.jh@villahermosa.tecnm.mx

Resumen: Los suelos contaminados por hidrocarburo provocados por derrames en zonas del Estado de Tabasco no pueden utilizarse para fines agrícolas debido a los compuestos de los hidrocarburos. Un suelo contaminado por hidrocarburos induce a la toxicidad que afecta la germinación, crecimiento y productividad de los suelos. Algunas de las metodologías propuesta para esta problemática es la fitorremediación por plantas no comestibles como la *Jatropha*. En el presente estudio, la fitorremediación de suelos contaminados de hidrocarburos de una zona del municipio de Frontera, Tabasco se determinó que el mecanismo de la degradación del aceite fue a través de la Rizosferación de las plantas. y Se obtuvieron niveles de aceite en el suelo aceptables de acuerdo a la NOM-021- REC/NAT-2000.

Palabras clave: suelos contaminados, hidrocarburos, fitorremediación.

Abstract: Soils contaminated by hydrocarbons caused by spills in areas of the State of Tabasco cannot be used for agricultural purposes due to the hydrocarbon

compounds. A soil contaminated by hydrocarbons induces toxicity that affects the germination, growth and productivity of the soil. Some of the methodologies proposed for this problem are phytoremediation by non-edible plants such as *Jatropha*. In the present study, the phytoremediation of soils contaminated with hydrocarbons in an area of the municipality of Frontera, Tabasco, it was determined that the mechanism of oil degradation was through the Rhizosphereation of plants. and Acceptable oil levels in the soil were obtained according to NOM-021-REC/NAT- 2000.

Keywords: contaminated soils, hydrocarbons, phytoremediation.

I. 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 contaminantes, 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 translocación de *Jatropha curcas L.* en lodos 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.

A. Objetivo general

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

B. Objetivos específicos

- (1) Identificar un suelo contaminado por hidrocarburos en el estado de Tabasco municipio de Frontera.
- (2) 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.
- (3) Caracterizar los parámetros de clasificación de fertilidad en los especificados en la norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000.
- (4) Adicionar sustratos al suelo contaminado para su remediación.
- (5) Sembrar las semillas de *Jatropha curcas L.* (piñón) para la fitorremediación del suelo contaminado.
- (6) Determinar en las celdas comparativas los diferentes volúmenes de sustratos hasta obtener un volumen aceptado para la fitorremediación por rizosferación.

C. Características del suelo contaminado por hidrocarburos

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 tóxicas para los organismos del suelo. Se trata de una degradación química que provoca la pérdida parcial o total de la productividad 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 crítica 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).

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.

D. 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 tóxicos para los seres vivos ya que son mutagénicos y cancerígenos.

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.

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).

E. 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.).

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.

F. 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.

Rizofiltración (Rhizofiltration). 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.

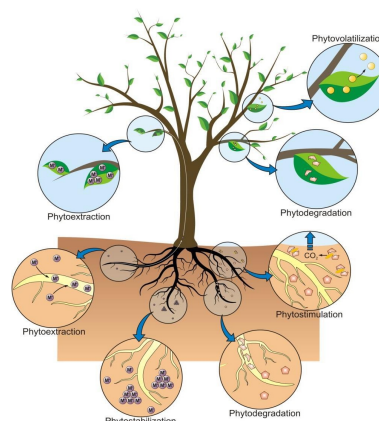


Figura 1. Tipos de degradación. Fuente: Paulo J.C. y Col (2006).

Fitoextracción (phytoextraccion) 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.

Fitoestabilización. (phytoestabilizacion) 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 (phytoestimulacion) 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.

Fitodegradación, (phytodegradacion) 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, nitrobeneno, nitrotolueno) atrazinas solventes clorados DDT, pesticidas fosfatados fenoles y nitrilos.

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

G. *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).

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 2. Semillas en crecimiento de la *Jatropha curcas L.* Fuente: 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.*

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

Las diversas investigaciones realizadas con las 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).

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.

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.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

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

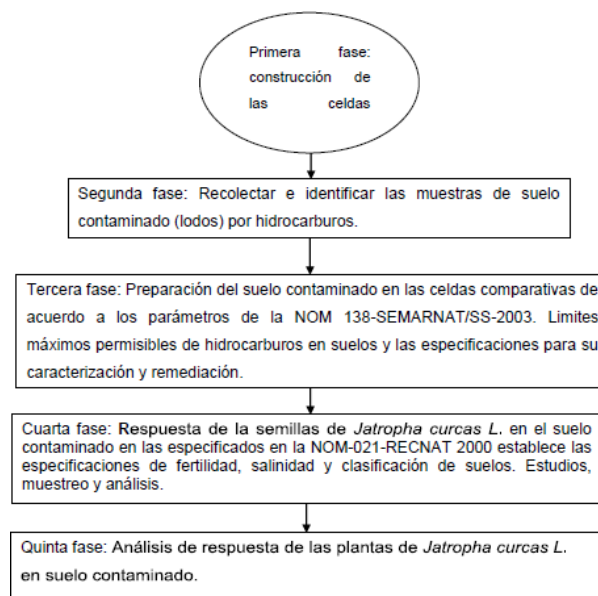


Figura 2. Diagrama de flujo en las fases de fitorremediación. Fuente: Autor M.I Adalberto Jiménez Hernández.

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.



Figura 3. Celdas comparativas A, B y C
Fuente: Autor M.I Adalberto Jiménez Hernández.

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

Se identificó el sitio contaminado Figura 4 a través de una visita en la ranchería Barranquilla del municipio de Centla, en el cual se pudo ver un árbol de válvulas. Figura 5 y 6, En lo que se identificó 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 profundidad de más de 15 cm.



Figura 4. Terreno de la Ranchería Barranquilla del municipio del centro. Fuente: Autor M.I Adalberto Jiménez Hernández.



Figura 5. Extracción para la toma de muestras
Fuente: Autor M.I Adalberto Jiménez Hernández.



Figura 6. Recolección de tierra contaminada con Hidrocarburos. Fuente: Autor M.I Adalberto Jiménez Hernández.

A. 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 Soxhlet, empleando el método EPA 3540C (1996), disolventes de distinta polaridad y aplicando diferentes tiempos de extracción. Se presenta el sistema Soxhlet, 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.

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). 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 llevó a cabo la determinación.

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, 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.

Se colocó el suelo contaminado en las celdas comparativas un aproximado de 60 kilogramos para cubrir un área de 60 x 80, y por cada celda que se menciona como celda; A, B y C. Figura 7 y 8.



Figura 7. El suelo contaminado. Fuente: Autor M.I Adalberto Jiménez Hernández.



Figura 8. El suelo contaminado se coloca en las celdas de una forma homogénea. Fuente: Autor M.I Adalberto Jiménez Hernández.

Procedimiento para la colocación del sustrato.

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 9.



Figura.9. Agregado y mezcla de la celda comparativa. Fuente: Autor M.I Adalberto Jiménez Hernández.

Preparación de las celdas con estiércol de bovino.

Después 24 horas de haber agregado sustrato 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 10)



Figura 10. Preparación del estiércol de ganado bovino. Fuente: Autor M.I Adalberto Jiménez Hernández.

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. Figura 11.



Figura. 11 semillas y Siembra de *Jatropha curcas L.* en las celdas comparativas. Fuente: Autor M.I Adalberto Jiménez Hernández.

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

Se pudo empezar a notar la reacción de las semillas en el suelo contaminado empezando a brotar las plantas Figura 12.



Figura 12. Brote de las semillas de *Jatropha curcas L.* Fuente: Autor M.I Adalberto Jiménez Hernández.

Para el crecimiento se manifestó en el crecimiento las plántulas de mayor tamaño, en respuesta de la fitorremediación en las celdas comparativas. Ffigura 13



Figura 13. Respuesta de crecimiento de las semillas.
Fuente: Autor M.I Adalberto Jiménez Hernández.

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 14.



Figura 14. Plántulas en las celdas comparativas.
Fuente: Autor M.I Adalberto Jiménez Hernández.

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



Figura 15. Tomando las muestras del equipo de retorta. Fuente: Autor M.I Adalberto Jiménez Hernández.

III. RESULTADOS Y DISCUSION

A. 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).

B. 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 1. La estos resultados fueron a través de los equipos de retorta por el cual iniciamos en la celda B, en sus nueve cuadrantes.

Tabla 1. Resultados de las celdas B por los equipos de retorta. Fuente: Autor M.I Adalberto Jiménez Hernández.

celda	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	
	0.2	0.1	0.3	0.2	0.25
	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 en Figura 16.



Figura 16. Las nueve muestras de la celda B. Fuente: Autor M.I Adalberto Jiménez Hernández.

C. Resultados de las 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 2).

Tabla. 2. Porcentajes de aceite en la celda C.
Fuente: Autor M.I Adalberto Jiménez Hernández.

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	
	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	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 (ver Figura 17).



Figura 17. Las 12 muestras de la celda C. Fuente: Autor M.I Adalberto Jiménez Hernández.

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 fueron diferentes. (Tabla 3)

Tabla. 3 porcentajes de aceite en las celdas A.
Fuente: Autor M.I Adalberto Jiménez Hernández.

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	0.2	0.4	0.4	0.3	
	0.2	0.3	0.4	0.2	0.3	0.4
	0.4	0.3	0.5	0.3	0.5	



Figura 18. Las 12 muestras de la celda A. Fuente: Elaboración propia.

Estos resultados fueron obtenidos de la Tabla 4, que fueron realizados por el equipo de retorta cuando el material fue extraído en las celdas comparativas que tiene un volumen de aceite en las tres celdas fue de 1.3 ml.

Tabla 4. Media muestral del volumen de aceite de la celda comparativa. Fuente: Autor M.I Adalberto Jiménez Hernández.

Celdas comparativas	Aceite ml
A	1.3
B	1.2
C	1.3

En la Tabla 5 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 Rizosferación en un tiempo de ocho meses cumple con un resultado aceptable.

Tabla 5. Media muestral de los Resultado, de las celdas comparativas. Fuente:

Autor M.I Adalberto Jiménez Hernández.

MI 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

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.

IV. CONCLUSIONES

Jatropha. Curcas L. mostró un potencial para soportar el mínimo concentración (1% y 2,5%, w/w) de aceite 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 materia orgánica y sustrato, 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.

REFERENCIAS

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;172 269- 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 Luhach* *Is 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 Chaudhry* *is 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). Churrucá, No. 481, e/ Vía Blanca y Washington, Cerro. La Habana. 2010 2 Oficina Central de la Unión Cubapetróleo. (CUPET). Oficinas

No. 154, e/. Amargura y Teniente Rey, Habana Vieja. La Habana. e mail: Iresobell@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 l.* 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