

ORIGINAL ARTICLE

OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE LANDFARMING PARA MEJORAR LA FUNCIONALIDAD DEL TRATAMIENTO DE SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS MEDIANTE LA ADICIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

Ing. Carla Patricia Ariza
Magister en Gestión y Auditorías Ambientales
Ingeniera del Medio Ambiente
Docente
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Ambiental
Universidad de La Guajira, Sede Fonseca
La Guajira, Colombia
cpariza@uniguajira.edu.co

Ing. Samuel Alfredo Mejía Carrillo
Magister en Gestión y Auditorías Ambientales
Ingeniero del Medio Ambiente
Universidad de La Guajira
La Guajira, Colombia
samuelito_mejia@yahoo.com

Resumen

Landfarming es una tecnología para la remediación de suelos que reduce las concentraciones de hidrocarburos de petróleo por biodegradación. Esta tecnología implica generalmente el arar los suelos contaminados (cuando la contaminación es superficial) o removerlos y depositarlos en la superficie del sitio o sus inmediaciones en una capa delgada y el estimular la actividad microbiana aeróbica dentro de los suelos a través de la aireación por arado con la adición de nutrientes y de la humedad necesaria. Para este proyecto, se contó con la construcción de eras para el proceso de landfarming; consecuente a esto, se realizó la toma de la muestra y el envío de la misma a laboratorio. La mezcla de los lodos contaminados y la materia orgánica se hace de forma mecánica utilizando un minicargador, luego se procede a realizar las eras con las siguientes dimensiones: 10 metros de largo con 40 cm de ancho y 30 cm de alto, con una era de relación 3:2:1. Esta relación consiste en tomar una muestra con 3 partes de material contaminado, dos muestras de material de enriquecido (material que ya ha cumplido su ciclo de biodegradación) y una muestra con materia orgánica.

Palabras claves: landfarming, biorremediación, suelos contaminados, hidrocarburos, materia orgánica

Abstract

Landfarming is a technology for soil remediation that reduces the concentrations of petroleum hydrocarbons by biodegradation. This technology generally involves plowing contaminated soils (when contamination is superficial) or removing and depositing them on the surface of the site or its vicinity in a thin layer and stimulating aerobic microbial activity within the soils through aeration by plowing with the addition of nutrients and the necessary moisture. For this project, the eras for the landfarming process were built; consequent to this, the sample was taken and sent to the laboratory. The mixture of the contaminated sludge and the organic matter is done mechanically using a Skid Steer Loader, then the eras are performed with the following dimensions: 10 meters long with 40 cm wide and 30 cm high, with an era of relationship 3:2:1. This relationship consists of taking a sample with 3 parts of contaminated material, two samples of enriched material (material that has already completed its biodegradation cycle) and a sample with organic matter.

Keywords: landfarming, bioremediation, contaminated soils, hydrocarbons, organic matter

INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental forma parte de la vida moderna, una de las causas principales es el uso de los hidrocarburos y sus derivados; en el pasado esto no fue complicado, progreso era sinónimo de bienestar social, las industrias no tenían mayor problema para deshacerse de sus residuos puesto que eran vertidos en los cauces de los ríos, enterrados o dejados a la intemperie, sin embargo, con la velocidad de integración al ambiente, surgió la contaminación que se ha agudizado gradualmente en la ciudades industrializadas donde se observa en todas sus modalidades: en el aire, el agua y el suelo. De esta manera, comienza la búsqueda de soluciones; donde se promueve las prácticas que contribuyan a la disminución de dicha problemática, surgiendo así técnicas como biorremediación que consisten 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.

Por otra parte, se puede decir que la industria minera, preocupada por cambiar el concepto de minería y sus derivados, viene aunando esfuerzos que se reflejan en los diferentes tratamientos para una buena disposición de sus residuos. Uno de estos tratamientos consiste en la biorrecuperación de suelos contaminados por hidrocarburos, donde se necesita de una extensión

de terreno para disponer de ese material contaminado y este material contaminado es, con el paso del tiempo, biodegradado por microorganismos presentes en el suelo. Este proceso necesita de ayudantes, tales como adición de caldos de bacterias biodegradadores de grasas y otros similares, restos de material vegetal o resto de actividades de poda y jardinería.

Para la contaminación de suelos contaminados por hidrocarburos, en el mundo se han implementado diversos métodos de descontaminación de suelos. El más empleado es en el que se aplican técnicas fisicoquímicas, con la desventaja de ser muy costoso y que puede emplear mucho tiempo en ver resultados. El landfarming es una técnica de bajos costos pero, con la diferencia a otras, esta demora en el tiempo de degradación de los contaminantes, la generación de lodos contaminados es alta y se tiene que evacuar de forma eficaz y eficiente.

Analizando las afectaciones de todas estas actividades, muchas empresas se han preocupado por buscar soluciones amigables con el medio ambiente; por parte de Cerrejón, en los procesos de recuperación de suelos es muy activo, implementa técnicas en sus diferentes áreas, una de ellas es talleres permanentes donde se realiza la estandarización de los vehículos de la operación minera. En este proceso, se realiza un lavado de estos vehículos y el material resultante de los lavados es colectado en estos sitios, son conducidos a través de estructuras de concreto hacia separadores de aceite y lodos (piscina de retención y trampas de aceite), y los lodos aceitosos que resultan de estas trampas de grasas son llevados a la zona de biorremediación.

Los procesos de biorremediación son vistos como una alternativa ambiental para mejorar las condiciones de los suelos contaminados. Estos procesos permiten utilizar hongos, bacterias y levaduras presentes de forma natural en el suelo; estos se encargan de la oxidación biológica de los hidrocarburos contenidos en el suelo.

Landfarming es una tecnología para la remediación de suelos que reduce las concentraciones de hidrocarburos de petróleo por biodegradación. Esta tecnología implica, generalmente, el arar los suelos contaminados (cuando la contaminación es superficial) o removerlos y depositarlos en la superficie del sitio o sus inmediaciones en una capa delgada y el estimular la actividad microbiana aeróbica dentro de los suelos a través de la aireación por arado con la adición de nutrientes y de la humedad necesaria.

El propósito de este estudio es la optimización del proceso de landfarming para mejorar la funcionalidad del tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos mediante la adición

de materia orgánica en el complejo carbonífero Cerrejón. Para lograrlo, se contó con la construcción de eras para el proceso de landfarming, se trabajó, además, en la recepción de las podas y selección de la materia orgánica más adecuada, que nos proporcionara esponjosidad y permitiera una mejor circulación de aire e hiciera que el proceso tuviera lugar en presencia de oxígeno. Además de asegurar la calidad del material, éste debe estar exento de restos no orgánicos (latas, plásticos, cristales, hierros, etc.), por lo que fue necesaria una selección previa de la materia orgánica en origen para realizar la mezcla con el lodo contaminado. Consecuente a esto, se realizó la toma de la muestra y el envío de la misma a laboratorio.

La mezcla de los lodos contaminados y la materia orgánica se hace de forma mecánica utilizando un minicargador. Luego, se procede a realizar las eras con las siguientes dimensiones: 10 metros de largo con 40 cm de ancho y 30 cm de alto, con una era de relación 3:2:1. Esta relación consiste en tomar 1 muestra con 3 partes de material contaminado, 2 muestras de material de enriquecido (material que ya ha cumplido su ciclo de biodegradación) y 1 muestra con materia orgánica.

REFERENTE TEÓRICO

Estudios previos han puesto de relieve que la técnica de landfarming resulta eficaz para la degradación de hidrocarburos, particularmente los de tipo alifático; hecho éste ya observado por otros autores en ambientes semiáridos (Marin et al., 2006). Como es lógico, la velocidad de degradación de los hidrocarburos estará condicionada por el carácter más o menos aromático de los mismos. Las prácticas de biorremediación consisten en el uso de microorganismos como plantas, hongos y 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.

Landfarming es una técnica de biorremediación que puede ser utilizada para descontaminación tanto “in situ” como “ex situ”, y consiste en provocar la oxidación biológica de los hidrocarburos contenidos en el suelo, por medio de la estimulación de la microflora natural que se encuentra en el suelo (levaduras, hongos o bacterias) mediante el agregado de fertilizantes, arado y riego superficial (Figura 1). En el fondo, se trata de una bioestimulación de las poblaciones necesarias que interesa activar.

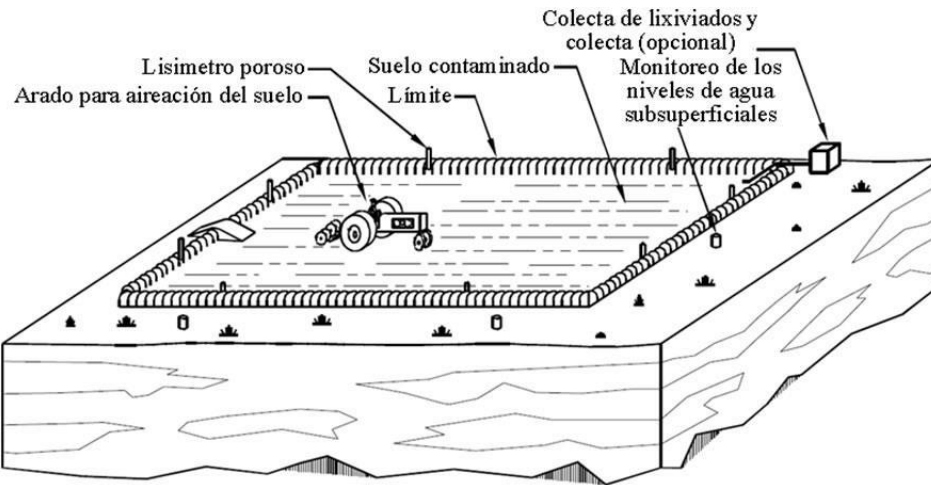


Figura 1. Técnica de Landfarming

Fuente: US Environmental Protection Agency (EPA). (1994). How To Evaluate Alternative Cleanup Technologies For Underground Storage Tank Sites: A Guide For Corrective Action Plan Reviewers. Chapter V: Landfarming. Recuperado de: http://www.epa.gov/oust/pubs/tum_ch5.pdf

MÉTODOS

Área de estudio

El Complejo minero de Cerrejón está localizado en el Departamento de La Guajira, al noreste de Colombia (Figura 2). Los depósitos de carbón se encuentran en una extensión de 69000 hectáreas en los municipios de Albania, Hatonuevo, Maicao y Barrancas, dentro de la cual se identifican las zonas: Zona Centro-sur y Zona Norte. El área minera se extiende a lo largo de 50 kilómetros del valle del río Ranchería, entre la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de Perijá, cubriendo una superficie de 69000 hectáreas, con recursos probados cercanos a 1.961 millones de toneladas de carbón.

Los yacimientos de carbón del Cerrejón están localizados en la parte septentrional del valle del río Ranchería, limitados al suroeste por las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta, al sureste por la Serranía del Perijá. Esta es una planicie estrecha y elongada, de 50 km de largo por 7.5 km de ancho, constituida por rocas sedimentarias de edad Mesozoica y Cenozoica, cubiertas discordantemente por depósitos aluviales recientes.

El clima es tropical semiárido, con un promedio de precipitaciones de 900 mm anuales y una temperatura promedio de 27°C y 30°C, con máximas de hasta 45°C. En la parte montañosa, la temperatura mínima llega hasta los 3°C. Hay sólo lluvias entre septiembre y diciembre.

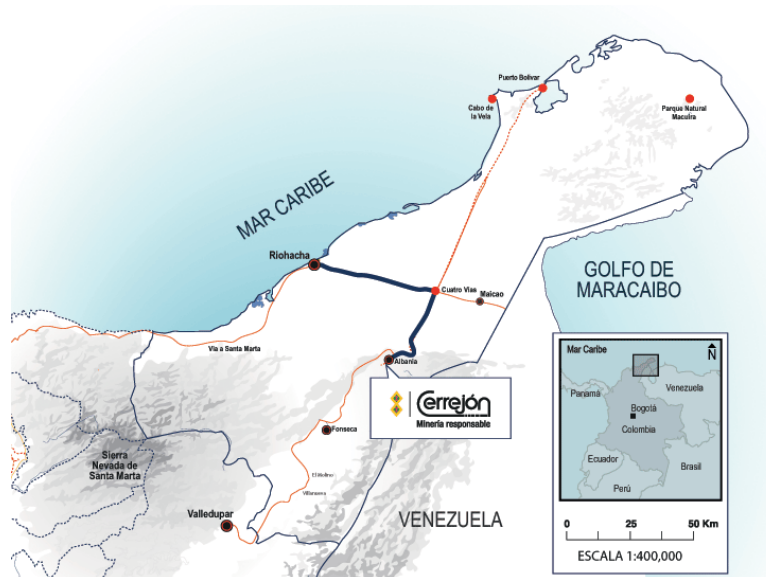


Figura 2. Ubicación geográfica del complejo carbonífero el Cerrejón

Fuente: Cerrejón LLC. (2007). Actualización del plan de manejo ambiental unificado (PMAU) de acuerdo a las resoluciones 2097/2005 y 1632/2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

El clima de La Guajira ha generado una vegetación muy típica, con arbustos espinosos y cactus. Es la zona más seca de Colombia. Cerrejón cuenta con una operación integrada, mina, ferrocarril y puerto, con una línea férrea de 150 kilómetros que une la Mina con el puerto de exportación, Puerto Bolívar. Su minería es a cielo abierto y el carbón posee un alto valor calorífico, bajo azufre y baja ceniza. Carbones del Cerrejón LLC es una empresa privada, de responsabilidad limitada, constituida de conformidad con las leyes de Anguilla, Indias Occidentales Británicas. Son propietarias de Cerrejón, en tres partes iguales, compañías subsidiarias de BHP Billiton plc, Anglo American plc y XStrata. El proyecto de landfarming se está desarrollando dentro del complejo carbonífero, en el área de la mina, ubicado en el nivel 140 vía los visitantes hacia zona sur.

Muestra

Se trabajó en la recepción de las podas y selección del material más adecuado y que proporcionara cierta esponjosidad al contenido, lo que permitiría una mejor circulación de aire. Además de revisar y retirar restos no orgánicos como latas, plásticos, cristales, hierros, etc., se procedió a la toma de las muestras aleatorias en las 41 eras de landfarming del complejo

carbonífero Cerrejón LLC, tomando muestras en tres puntos diferentes en cada era para, posteriormente, mezclar y homogenizar las tres porciones para constituir, al final, una sola muestra. Resultaron ocho (8) muestras de suelo contaminado con hidrocarburos proveniente de las eras de landfarming. A una de estas muestras se le adicionó materia orgánica en una relación 3:2:1 (3 partes de material contaminado, 2 material de enriquecido, 1 con materia orgánica), teniendo así, 300kg de material contaminado, 200 kg de material enriquecido y 100 kg de materia orgánica correspondiente a restos de poda proveniente de los procedimientos de jardinería llevados a cabo en las instalaciones del campamento del complejo carbonífero (aproximadamente 45000 kg de poda mensuales). En laboratorio, se les realizó un análisis de parámetros como temperatura, humedad, pH, hidrocarburos, basado en las siguientes técnicas de medición:

- Análisis del hidrocarburos totales es gravimétrico - standard methods examinations water and waste – AWWA, APHA, WEF -5520 (ED 21.2005).
- Humedad % - gravimétrico - métodos analíticos de laboratorio de suelos, instituto geográficos agustin codazzi IGAC (ED 6, 2006).
- Materia orgánica oxidable total % - Digestión vía húmeda, método analítico de laboratorio de suelos, instituto geográficos agustin codazzi IGAC (ED 6, 2006).
- pH Unidades - Electrométricos, United States Enviromental Protection Agency (U.S. EPA) 90450 revisión 4-2004-11.

RESULTADOS

La biorremediación de suelos contaminados es una técnica de tratamiento que tiene como objetivo utilizar el potencial de la micro biota autóctona o exógena, para degradar los compuestos orgánicos constituyentes de los residuos, con la consecuente disminución de la toxicidad. Esta tecnología está influenciada por factores internos y externos. Entre los factores internos se destaca el genotipo de los microorganismos y, entre los externos, la temperatura, la aireación, el tipo y la concentración de los contaminantes, su grado de intemperismo, así como las fuentes y las concentraciones de los macronutrientes (Huang, 2004; Zahed, 2010). Para la determinación de HTP y sus fracciones fueron utilizados los criterios de muestreo aplicables a la restauración de suelos contaminados (CIRS), emitidos por la PFPA (1998), que sugieren un valor de 2,000 mg/kg como HTP para suelos de tipo industria.

DISCUSIÓN

El landfarming es una técnica de descontaminación tanto “in situ” como “ex situ”, que logra la oxidación biológica de los hidrocarburos contenidos en el suelo, mediante la estimulación de la microflora natural que se encuentra en el suelo. Además, si al proceso se le incorporan agregados que bioestimulen las poblaciones microbianas, se pueden lograr mejores resultados en el proceso. En el complejo carbonífero Cerrejón, en el área del nivel 140, donde se ubica el área de landfarming, se desarrollaron 41 eras sin adición de materia orgánica y una era con la adición de materia orgánica. De ahí, se tomaron 8 muestras, siete en condiciones normales y una con adición de restos de poda. Se realizó monitoreo en dos periodos de tiempo: octubre y noviembre, haciendo análisis físico-químicos de pH, materia orgánica oxidable e hidrocarburos totales, teniendo referencia de los valores promedios para cada muestra (Tablas 1 y 2). La adición de materia orgánica (restos de poda) logró porcentajes de remoción del 11,06% frente a 6,84% removido en la muestra sin adición de materia orgánica, en un periodo de 51 días, logrando una eficacia de remoción de hasta un 76% más que cuando no se le adiciona materia orgánica (Tabla 3). Los restos de poda logran mayor efectividad al mejorar las condiciones de desarrollo de los microorganismos, aumentar la concentración de nutrientes y favorecer la circulación de aire en el proceso.

Para la optimización del proceso de landfarming y para mejorar la funcionalidad del tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos en el complejo carbonífero Cerrejón, se recomienda adicionar fracciones de materia orgánica, proveniente de los restos de podas del área residencial del complejo, logrando con esta estrategia mejorar las condiciones del suelo y, a la vez, darle un uso eficiente a los residuos de poda que generalmente logran ocupar grandes volúmenes.

Tabla 1. Registro de datos de muestreo realizado en octubre

MUESTREO OCTUBRE								
Análisis Físicoquímico	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Hidrocarburos totales (mg/Kg)	64247,83	128235,1	137732	128125	139157,7	128956,7	126254,8	121570
Humedad (%)	5,17	5,01	6,22	8,9	6,06	4,05	4,08	5,17
Materia orgánica oxidable (%)	0,4	1,53	1,5	1,1	0,97	1,15	0,4	0,4
pH (unid.)	7,28	7,24	7,3	7,45	7,45	7,02	7,03	7,26

Tabla 2. Registro de datos de muestreo realizado en noviembre

MUESTREO NOVIEMBRE								
Análisis Físicoquímico	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Hidrocarburos totales (mg/Kg)	85795,05	94424,4	97085,15	121518,3	127475,46	101370,7	126967,0	108122,18
Humedad (%)	17,64	5,71	4,65	6,98	3,64	9,76	7,21	4,4
Materia orgánica oxidable (%)	3,26	0,84	1,4	1,65	1,4	2,72	2,27	1,65
pH (unid.)	7,5	7,31	7,3	7,29	7,25	7,29	7,29	7,0

Tabla 3. Comparación de muestras analizadas con adición de materia orgánica (restos de poda) entre octubre y noviembre

Comparación de la Muestra 8	Muestra analizada adición de materia orgánica (octubre)	Muestra analizada adición de materia orgánica (noviembre)	Diferencias en el tiempo
Hidrocarburos totales mg/Kg	121570	108122,18	13447,82
Humedad relativa %	5,17	4,4	0,77
Materia orgánica oxidable %	0,4	1,65	-1,25
pH unidades	7,26	7,07	0,19

CONCLUSIONES

Al iniciar la presente investigación, se proyectó como objetivo general optimizar el proceso de landfarming para mejorar la funcionalidad del tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos mediante la adición de materia orgánica en el complejo carbonífero Cerrejón. Para ello, debíamos analizar y comparar los resultados que tiene la mezcla de la materia orgánica con el suelo contaminado y los procesos de recuperación de suelos sin la adición de materia orgánica, considerando el efecto del agregado de materia orgánica sobre la eficiencia del proceso de biorremediación. El diseño del sistema de landfarming con adición de materia orgánica (restos de podas) es factible para el saneamiento del suelo contaminado con hidrocarburos totales, ya que ayuda a disminuir la estada del suelo contaminado en su proceso de biorrecuperación, debido a que la muestra con adición de materia orgánica logró una remoción de hasta 76% más que las demás muestras establecidas en el mismo periodo. Los restos de poda contribuyeron a darle esponjosidad al contenido, lo que permitió una mejor circulación de aire en el proceso.

Como valor agregado, con la adición de los restos de poda se logra, además, darle un uso eficiente a los restos provenientes de las podas y jardines del área residencial del Cerrejón. El tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos, antes de constituirse en un cumplimiento de ley, debe considerarse una herramienta de investigación que, además de orientar el desarrollo

de una solución puntual, ofrezca soluciones estratégicas que incorporen procesos más eficientes, sostenibles y con mejores resultado en menor tiempo.

REFERENCIAS

- Atlas, R., Bartha, R. (2002). *Ecología microbiana y microbiología ambiental*. Madrid, España. Ed. Addison Wesley.
- Atlas, R. (1995). Bioremediation of petroleum pollutants. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 35(1-3), 317-327.
- Austin, B., Calomiris, J. J., Walker, J. D., & Colwell, R. R. (1977). Numerical taxonomy and ecology of petroleum-degrading bacteria. *Applied and environmental microbiology*, 34(1), 60-68.
- Borrás, G. (2011). Efectos de los hidrocarburos en la salud humana. Por Gonzalo Borrás Carnero - cetmar. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://econatural-sva.blogspot.com/2011/05/efectos-de-los-hidrocarburos-en-la.html>
- Corrección LLC. (2007). Actualización del plan de manejo ambiental unificado (PMAU) de acuerdo a las resoluciones 2097/2005 y 1632/2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Cunningham, C. J., & Philp, J. C. (2000). Comparison of bioaugmentation and biostimulation in ex situ treatment of diesel contaminated soil. *Land Contamination and Reclamation*, 8(4), 261-9.
- Biotech EU. (2007). Evaluación preliminar de las bacterias presentes en lodos aceitosos y ensayo piloto en campo "Landfarming" en la reserva carbonífera, Corrección, Colombia.
- García, C., Hernández, T., Roldán, A., Albaladejo, J., and Castillo, V. (2000). Organic amendment and micorrhization as a practice in revegetation of soils with *Pinus halepensis* miller: effect on their microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 32(8-9), 1173-1181.
- Huang, X. D., El-Alawi, Y., Penrose, D. M., Glick, B. R., & Greenberg, B. M. (2004). Responses of three grass species to creosote during phytoremediation. *Environmental Pollution*, 130(3), 453-463.
- Marin, J. A., Moreno, J. L., Hernández, T., and García, C. (2006). Bioremediation by composting of heavy oil refinery sludge. *Bioresource Technology*, 17(3), 251-261.
- Ros, M., Hernández, M. T. and García, C. (2003). Biorremediation of soil degraded by sewage sludge: effects on soil properties and erosion losses. *Environmental Management*, 31(6), 741-747.
- US Environmental Protection Agency (EPA). (1994). *How To Evaluate Alternative Cleanup Technologies For Underground Storage Tank Sites: A Guide For Corrective Action Plan Reviewers*. Chapter V: Landfarming. [Tabla]. Recuperado de: http://www.epa.gov/oust/pubs/tum_ch5.pdf
- Zahed, M. A., Aziz, H. A., Isa, M. H., & Mohajeri, L. (2010). Enhancement biodegradation of n-alkanes from crude oil contaminated seawater. *International Journal of Environmental Research*, 4(4), 655-664.

Copyright 2017 Non-Profit Evaluation & Resource Center, Inc.