

RECUPERACIÓN DE ÁREAS VERDES
URBANAS CONTAMINADAS CON ACEITE
DE MOTOR USADO
RECOVERY OF URBAN GREEN AREAS CONTAMINATED
WITH USED MOTOR OIL

HUMBERTO RAMÓN PÉREZ-FIGUEREDO ⁽¹⁾

RESUMEN

La actividad del hombre da origen con frecuencia a consecuencias ambientales observables en el suelo, por ser este el primer punto de contacto de una fuga accidental de sustancias líquidas o sólidas que pueden ser tóxicas. La industria automovilística ha crecido vertiginosamente en los últimos años y cada año se extrae cerca de un millón de toneladas de aceite para motor de manera de cubrir el mantenimiento de los vehículos. Esto ha incrementado los establecimientos de cambios de aceites y la mayoría vierten los residuos en las áreas verdes urbanas a sus alrededores, provocando su contaminación. Para recuperar estas áreas se desarrolló este trabajo, con el objetivo de caracterizar una muestra de suelo contaminado con aceite quemado de motor, proveniente de un sistema en actividad y determinar la capacidad de la comunidad biótica existente utilizando al corocillo (*Cyperus rotundus*, L.), como cobertura vegetal y la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*, SAV.) como mejorador del suelo. Los resultados fueron una cobertura vegetal y actividad biológica estable en el suelo. Se concluye que las características físicas, químicas y microbiológicas del suelo indicaron que es factible se realice una biorremediación eficiente de los hidrocarburos presentes en el suelo de las áreas verdes urbanas.

Palabras claves: Biorremediación, aceite usado, suelos contaminados.

ABSTRACT

Human activity often gives rise to observable environmental consequences on the ground, as this is the first point of contact of accidental leakage of liquid or solid substances that can be toxic. The automotive industry has grown rapidly in recent years and every year about one million tons of engine oil is extracted in order to cover the maintenance of vehicles. This has increased the local oil changes and most dumped waste in urban green areas around, causing contamination. To retrieve these areas this work was developed with the aim of characterizing a sample of soil contaminated with burnt motor oil, from a system activity and determine the capacity of the existing biotic community using the corocillo (*Cyperus rotundus* L.) such as vegetation cover and the California red worm (*Eisenia foetida*, SAV.) as a soil improver. The results were a stable vegetation cover and soil biological activity. We conclude that the physical, chemical and microbiological characteristics of the soil indicated that it is feasible efficient bioremediation of hydrocarbons takes place on the floor of urban green areas.

Key words: Bioremediation, used oil, contaminated soils.

(*) Recibido: 24/04/2015

Aceptado: 04/09/2015

(1) Universidad Politécnica Territorial de Falcón Alonso Gamero, Municipio Miranda. Estado Falcón

(2) Universidad de Granma. Granma, Cuba

INTRODUCCIÓN

La actividad del hombre da origen con frecuencia a consecuencias ambientales, especialmente observables en el suelo, por ser este el primer punto de contacto de una fuga accidental de sustancias líquidas o sólidas que pueden ser tóxicas. La industria automovilística ha crecido vertiginosamente en los últimos años y cada año se extrae cerca de un millón de toneladas de aceite para motor de manera de cubrir el mantenimiento de los vehículos. Esto ha incrementado los establecimientos de cambios de aceites y la mayoría vierten los residuos en las áreas verdes urbanas a sus alrededores, provocando su contaminación.

Hoy en día los derrames de hidrocarburos y demás sustancias químicas se consideran como emergencias ambientales debido al riesgo de poner en peligro la salud humana y los recursos naturales. Los impactos aunque pueden no tener efectos muy drásticos en ocasiones son muy severos al grado de que hábitats completos se afectan en forma importante y su recuperación requiere periodos extremadamente largos, pues la degradación natural de la más simple de estas sustancias puede llevarse decenas de años (Flores *et al.* 2004).

Según Rosales (2008), los derivados del petróleo como los aceites lubricantes automotrices usados, son peligrosos para el ambiente debido a su persistencia y diseminación en suelos, por el contenido de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos y metales pesados, que afectan la fertilidad del suelo. Sin embargo Windevoxhel *et al.* (2013), consideran que los aceites usados no constituyen un riesgo de inflamación ya que arden a temperaturas por encima de los 150 °C, sin embargo se convierten en un peligro cuando se mezclan con aserrín, y recomienda el uso de arena para su recolección y manejo de forma segura. Pit y Quarry (2000), demostraron que los lubricantes se contaminan durante su utilización con productos orgánicos de oxidación y otras materias tales como carbón, productos de desgaste de los metales y otros sólidos y Windevoxhel *et al.* (2013), afirma que cuando la cantidad de estos contaminantes es excesiva el lubricante no cumple lo que de él se demandaba y debe ser reemplazado por otro nuevo.

Según Romay y López, (2008) estos son los llamados Aceites usados, de desecho y deben ser recogidos y reciclados para evitar la contaminación del medio ambiente. Estos se generan con frecuencia en establecimientos de cambio de aceite, y una vez cumpla su vida útil debe ser dispuesto de manera adecuada para no generar problemas a la salud de la población y al medio ambiente. En este sentido, Benavente, (1999) afirma que adquiere concentraciones elevadas de metales pesados, producto del desgaste del motor, y al perder también sus propiedades lo convierte en un desecho tóxico que debe ser reemplazado.

En los suelos, las consecuencias ambientales que se presentan después de un evento de contaminación por hidrocarburos son la reducción o inhibición del desarrollo de la cobertura vegetal en el lugar del derrame, cambios en la dinámica poblacional de la fauna, de la biota microbiana y contaminación por infiltración a cuerpos de agua subterráneos (Pardo *et al.*, 2004). Además del impacto ambiental negativo, los derrames de hidrocarburos generan impactos de tipo económico, social y de salud pública en las zonas aledañas al lugar afectado (Ñustez, 2012). Si el sustrato cuenta con una densidad de población degradadora muy baja será conveniente incrementarla mediante bioaumentación con cultivos nativos, y en caso de no detectarse la presencia de microorganismos degradadores se recurrirá a la inoculación con cultivos exógenos de actividad degradadora comprobada (Atlas y Bartha, 2002; US EPA, 2003; Gómez *et al.*, 2009; Ming-Ming y Qiu-Yu, 2009).

El aceite lubricante de motor gastado ha sido eliminado por muchos años en el suelo, sin un control de su destino final. Por su composición, el aceite contiene una gran cantidad de hidrocarburos persistentes (Hernández *et al.*, 2000). Para desintoxicar suelos y aguas contaminados con hidrocarburos, se aprovecha la capacidad metabólica de algunos microorganismos nativos del suelo en la degradación de contaminantes. Los problemas para la biodegradación incluyen la biodisponibilidad del contaminante. Así como la cantidad de otros nutrientes presentes (Grimberg *et al.*, 1996). La adición de nutrientes (bioestimulación) o la adición de bacterias degradadoras de hidrocarburos (bioaumentación), ha sido utilizada como estrate-

gias en la degradación de hidrocarburos en el suelo (Thouand *et al.*, 1999).

La mayoría de los investigadores utilizan bacteria para recuperar los suelos contaminados hidrocarburos y sus derivados, pocos utilizan organismos vivos nativos del suelo ya sean estas especies de plantas o animales los cuales pueden ser utilizados como biorremediadores, bioestimuladores, o bioaumentación, biofitomejoradores. Existe un gran número de sitios contaminados que requieren ser saneados, lo cual implica un gran costo para llevarse a cabo; esto obliga a buscar técnicas menos costosas por lo que la más acorde con este tipo de necesidades es la biorremediación, que posee características que benefician tanto a la economía como al ambiente (Flores *et al.*, 2004).

Las lombrices de tierra, junto con otros organismos macrodescomponedores, están entre los organismos más importantes del suelo. Esto se debe a la capacidad de descomponer la materia orgánica, reciclamiento de nutrientes y formación de suelo (Raty y Huhta, 2004). Esta importante función puede ser afectada por la presencia de elementos químicos tóxicos en el suelo (Spurgeon *et al.*, 1994). La mayoría de las lombrices de tierra, de las cuales existen más de 1,000 especies del *Phylum Annelida* (Bravo-Varas, 1996), están adaptadas a un hábitat específico, sin embargo, se ha demostrado que ciertas especies se pueden reproducir fuera de estas condiciones naturales, ya que presentan una alta capacidad de adaptación y una gran velocidad de reproducción, ejemplo de esta, la lombriz *Eisenia foetida* (Paoletti, 1999), debido que las lombrices de tierra utiliza en el proceso de vermicomposteo muchos residuos orgánicos (Bansal y Kapoor, 2000).

Una aproximación en la evaluación de los efectos de los agentes tóxicos en suelos se realiza mediante bioensayos de toxicidad. Para ello se han desarrollado metodologías estandarizadas (Organisation for Economic Cooperation and Development, 1984, 2000), las cuales se llevan a cabo para determinar los efectos agudos y crónicos en lombrices de tierra. Estas pruebas evalúan la contaminación del suelo, a través de indicadores como mortalidad, reproducción u otra respuesta subletal en los organismos de prueba.

En Chile, De Gregori *et al.*, (2000); Badilla-Ohlbaum *et al.*, (2001); Ginocchio *et al.*, (2002) relacionan elementos traza con organismos asociados al suelo están referidos sólo a plantas que son cultivadas en suelos agrícolas. En estos estudios se ha analizado la transferencia de cobre a tejidos, en diversas especies de hortalizas. Es importante destacar la creciente utilización de bioensayos de ecotoxicidad con lombrices de tierra, especialmente en Europa (Spurgeon *et al.*, 2003). Sin embargo, en Chile no existen estudios donde se utilicen estas metodologías biológicas (Ávila *et al.*, 2007). Butt, (1999) y Paoletti, (1999) consideran que las lombrices más utilizadas para vermicomposteo son *Eisenia foetida* y *Lumbricus rubellus*. La crianza requiere de un esfuerzo mínimo, ya que, en ausencia de los riesgos que habitualmente enfrentan dentro de los hábitats naturales, crecen más rápido, se mantienen más saludables, viven más tiempo, y se reproducen a una mayor velocidad.

Considerando la utilización de la lombriz de tierra como alternativa para recuperar los suelos degradados con aceite lubricante usado y tomando en cuenta que ha sido comprobado que la ciperácea *Cyperus rotundus* L., conocida en nuestro país como corocillo o coquito, catalogada como la peor maleza del mundo por ser causante de problemas en más de noventa países del trópico y subtrópico, tiene una rápida ocupación del suelo y alta capacidad de diseminación por medio de tubérculos, existen evidencias de que fenómenos de alelopatía contribuyen con su capacidad de establecimiento en agrosistemas (Layne-Garsaball y Méndez-Natera, 2006) dándole la capacidad de sobrevivir en diferentes ambientes adversos (Castro *et al.*, 1983; Guedes *et al.*, 2002), por estas razones se consideró como cobertura vegetal en la remediación de suelos contaminados con aceite usado.

Para recuperar estas áreas contaminadas con aceite de motor usado se desarrolló este trabajo, con el objetivo de evaluar un suelo contaminado con aceite de motor usado presentes en los sedimentos de un área verde urbana, generados en una estación de servicio de cambio de aceite y determinar la capacidad de la comunidad biótica existente utilizando al corocillo (*Cyperus rotundus*, L.), como cobertura vegetal y a la lombriz roja cali-

forniana (*Eisenia foetida*, SAV.) como mejorador del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en 5 establecimientos de mantenimiento y cambio de aceite de motor usado, ubicados en 5 diferentes sitios de la localidad de Barinas, Parroquia Rómulo Gallegos, Municipio Barinas del Estado Barinas, durante los años 2009-2011.

Se obtuvieron los datos de los principales elementos climáticos de la Estación Barinas Planta Sede; Tipo Agro Meteorológica Serial 3805; Longitud: 70°08'80,9" Latitud: 08°33'591" Altitud: 183 msnm (INIA, 2012). Tomándose el registro climático del periodo de 14 años (1998 a 2011). Se elaboró el Balance Hídrico-Edáfico según Thorntwaite, 1978, citado por Pérez-Figueroa (2013). La evapotranspiración se estimó por el método del evaporímetro de bandeja clase A (Allen et al., 1998, citado por Pérez-Figueroa, (2013) utilizando un coeficiente de cultivo (Kc) de 0,8.

El experimento se realizó con un diseño experimental con parcelas distribuidas en el tiempo y en el espacio las cuales variaban entre 1,5 a 2,5 m ancho por 3,0 a 4,0 m de largo. Los tratamientos fueron distribuidos aleatoriamente en repeticiones contiguas para un valor de análisis de varianza completamente aleatorizado unifactorial con 7 tratamientos y 5 repeticiones. Para la evaluación de los resultados experimentales se utilizó el Software Statistica V-8, en caso de significación se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0,01$).

Las parcelas para los tratamientos se ubicaron en sitios distintos, donde existían los establecimientos de mantenimiento y cambio de aceite para automotores, en áreas de su adyacencia donde eran vertidos los mismos, las cuales eran áreas verdes urbanas del lugar (in situ). Para ello se seleccionaron 5 establecimientos de cambio de aceite tomando el criterio de selección la existencia de un área verde urbana contaminada con aceite de motor usado vertido en la misma a causa de las operaciones propias del establecimiento.

Se preservó la vegetación natural del sitio, en este caso Corocillo (*Cyperus rotundus*, L.), siendo

este cobertura vegetal autóctona del lugar. En ninguno de los tratamientos fue inoculado el sitio con *Cyperus rotundus*, en los 5 sitios seleccionados se encontraban con población escasa de esta especie no encontrando otra especie de planta.

Se añadió un sustrato orgánico apropiado, en este caso humus de lombriz. Se añadió un organismo vivo apropiado, en este caso la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*, SAV.).

El aceite lubricante de motor usado presenta las siguientes características, según Angulo (2006) citado por De Turris (2008), Color oscuro, Punto de inflamación 165 °C, Viscosidad (ASDTM D445) a 100 °C 12,6 cst, H₂O (ASTM D95) 4.5%, Metales 3500 ppm, destilación 224.5 S, Punto final 527.7 S y Volumen destilado 89.0.

Los tratamientos utilizados fueron T1: Testigo (Sin aplicación de humus ni lombriz); T2: Humus de lombriz (2 kg/m²); T3: Humus de lombriz (4 kg/m²); T4: Humus de lombriz (6 kg/m²); T5: Humus de lombriz (2 kg/m²) + Lombriz (500 gr/m²); T6: Humus de lombriz (4 kg/m²) + Lombriz (500 gr/m²); T7: Humus de lombriz (6 kg/m²) + Lombriz (500 gr/m²). La frecuencia y método de medición de las variables fue para la variable Numero de plantas/m², conteo semanalmente y para el crecimiento de las plantas de corocillo, medición con una regla graduada semanalmente.

Las especies de lombriz *Eisenia foetida*, utilizada provienen de lumbricultivos criadas bajo condiciones semi controladas y alimentadas con desechos orgánicas para producir un sustrato orgánico (humus de lombriz), siendo el análisis nutricional de sustrato orgánico (humus de lombriz) proveniente de la especie *Eisenia foetida*, a partir de residuos orgánicos Carbono Organico 1,21%; Nitrogeno 0,72%; Materia Organica 12,43%; relacion C/N 10,01; Fosforo (P) 118 ppm; Potasio (K) 3315 ppm; Magnesio (Mg) 1820 ppm, Calcio (Ca) 1248 ppm; Azufre (S) 2300 ppm; Hierro (Fe) 4000 ppm; Manganeso (Mn) 435 ppm; Cobre (Cu) 440 ppm; Zinc (Zn) 242 ppm; pH (1:2 H₂O) 7,9; Conductividad Electrica (CE) 6,11 mmhoz/cm. Del análisis de la especie de lombriz *Eisenia foetida*, se obtuvo humedad 83%, proteína cruda 63,63%, materia seca 17%, grasa 30%, minerales 23%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todos los tratamientos presentaron un crecimiento de la especie *Cyperus* excepto el testigo, esta condición puede deberse a la capacidad que tienen las *Ciperáceas* de liberar oxígeno en la zona radicular incluso en condiciones de saturación, característica necesaria para el crecimiento de la planta y la actividad microbiana (Wiebner, *et al.*, 2002). Frick *et al.*, (1999), corrobora estos resultados al clasificar las especies *Typha latifolia*, *Phragmites australis* y *Cyperaceas*, como plantas que toleran los Hidrocarburos. Es por esta razón que la especie *Cyperus rotundus* sobreviva al suelo contaminado con aceite de motor usado y le permita la capacidad desarrollarse en este ambiente.

En las 5 unidades experimentales se dio una tendencia decreciente del HTP en el tiempo; la mayor degradación se dio en la aplicación de humus + lombriz durante el funcionamiento de los tratamientos (Cuadro 1). Estos resultados difieren de las múltiples investigaciones realizadas por otros autores, donde comparan el efecto de las plantas en la fitorremediación de hidrocarburos, obteniendo mayores eficiencias en los sistemas plantados ya que sus raíces airean el suelo y estimulan la actividad microbiana mediante la generación de exudados (Susarla, *et al.*, 2002). En estudios realizados por Sangabriel *et al.* (2006) concluyeron que la presencia de plantas en el suelo contaminado estimulo la proliferación de microorganismos que también fueron estimulados por la presencia del contaminante, Phillips *et al.*, (2006); sugieren que las plantas tie-

nen un alto impacto en la degradación del HTP mediante el incremento de la población microbiana.

En la Cuadro 1, observamos los resultados de la fertilidad del suelo al final del experimento, una vez concluidos los tres años de investigación. El testigo no tuvo respuesta a la fertilidad el cual los elementos esenciales para las plantas se mantuvieron en traza (T). Aunque existe una diferencia significativa en el contenido los nutrientes (N, P₂O₅, K₂O, MgO y Ca), entre cada uno de los tratamientos, en la aplicación de Humus o Humus+Lombriz en el suelo contaminado con el aceite de motor usado, la fertilidad se recuperó, indistintamente la cantidad del nutriente en el suelo.

Al comparar estos resultados con los presentados por García, *et al.* (2000); Moreno-Reséndez y Cano-Ríos (2002); Durán y Henríquez (2009) en cuanto a la fijación de nutrientes al suelo por parte de la lombriz *Eisenia foetida*, encontramos que no hay diferencia debido que el suelo contaminado con residuos de aceite usado es recuperado en su fertilidad.

En los 5 tratamientos se empleó la biorremediación (*Cyperus rotundus* y *Eisenia foetida*) y se logró la disminución del contenido de aceites usado debido a la actividad biológica existente. Esta biodegradación era de esperar ya que se aplicaron las medidas correctivas necesarias para lograr las condiciones adecuadas (pH, temperatura, humedad, condiciones aeróbicas y nutrientes) que incentivan la actividad metabólica de los microorga-

Cuadro 1. Fertilidad del suelo contaminado con aceite de motor usado al final del experimento.

Tratamiento	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	CO	C:N
Humus 6kg/m ² + Lombriz	1,60 b	2,96 c	3,40 b	3,68 b	8,43 b	18,34 b	11,50a
Humus 4kg/m ² + Lombriz	1,51 e	2,01 e	2,31 e	2,15 c	5,43 e	15,04 a	10,40 a
Humus 2kg/m ² + Lombriz	1,10 d	2,20 d	2,20 d	2,00 d	1,11 d	15,11 a	10,00 b
Humus 4kg/m ²	1,33 f	2,00 e	2,30 e	2,36 c	5,86 c	12,05 d	9,10 c
Humus 6kg/m ²	1,70 a	2,54 a	2,88 a	3,25 a	7,00 a	16,16 a	9,90 b
Humus 2kg/m ²	1,50 c	2,96 b	3,06 c	2,50 c	5,71 c	13,30 c	8,90 c
Testigo	T g	T f	T f	T e	T e	T e	T d
R ²	0,99	0,99	0,96	0,95	0,98	0,97	0,97

Medias con una letra común no son significativamente diferentes Tukey (P≤0,01)
Valores en %.

nismos presentes (Cuadro 2). Si comparamos con lo investigado por Bravo-Varas (1996) y Moreno-Reséndez y Cano-Ríos (2002) donde el número de lombrices/m², se estima que, si 1 m² de superficie contiene 50,000 lombrices, de las cuales entre 20 y 25,000 son adultas, cuyo diámetro es 3 a 5 mm, la longitud entre 5 y 9 cm, si cada lombriz demanda 0,5 g de alimento y produce 0,3 g de humus/día, se producirán 7.500 g de humus de lombriz/día, entonces en 1000 m² se obtendrán 7.500 kg de material orgánico (humus)/día. En los tratamientos de Biorremediación se obtuvieron T1: 32.343,30 lombrices/m²; T2: 39.735,30 lombrices/m²; T3: 40.215,30 lombrices/m²; T4: 38.976,30 lombrices/m²; T5: 35.831,30 lombrices/m² significa que en cada tratamiento de recuperación del suelo degradado con el aceite de motor usado, a través de la lombriz *Eisenia foetida* se está aportando T1: 323,43 kg de compuesto orgánico (humus)/ m² aportado al suelo; T2: 397,35 kg de compuesto orgánico (humus)/ m² aportado al suelo; T3: 402,15 kg de compuesto orgánico (humus)/m² aportado al suelo; T4: 389,76 kg de compuesto orgánico (humus)/ m² aportado al suelo; T5: 358,31 kg de compuesto orgánico (humus)/ m² aportado al suelo.

CONCLUSIONES

Actualmente en Venezuela, el desarrollo de tecnologías alternativas biológicas para el tratamiento de sedimentos contaminados con hidrocarburos, como la fitorremediación y la biorremediación, que han sido desarrolladas de manera paulatina en zonas de derrames o fugas de los oleoductos, obteniendo eficiencias significativas; sin embargo, los estudios son pocos y han sido direccionados a resolver la problemática de un solo sector (el petróleo). En el presente estudio se observó que es posible la realización de un proceso de biodegradación de aceite de motor usado en las áreas verdes urbanas estudiada. Esto se ve apoyado por las características físicas y químicas estudiadas en la muestra de suelo, así como también, por el crecimiento de la especie *Cyperus rotundus*, que demostró capacidad de producir biomasa en presencia de aceite lubricante usado y la capacidad de adaptación de la especie de lombriz *Eisenia foetida*.

Con el desarrollo de la presente investigación se evaluó la efectividad de la fitorremediación, como una alternativa viable, para el tratamiento de

Cuadro 2. Comportamiento de las especies *Cyperus rotundus* y *Eisenia foetida* al final del experimento.

Tratamiento	NP	NL	AP (cm)	L (cm)	DL (mm)	PL (g)
Humus 6kg/m ² + Lombriz	172,70 a	177,20 a	19,49 a	7,89 a	3,12 a	0,60 a
Humus 4kg/m ² + Lombriz	150,70 b	125,80 b	16,73 b	6,06 b	2,81 a	0,55 ab
Humus 2kg/m ² + Lombriz	130,40 c	75,10 c	12,73 c	5,66 b	2,75 a	0,52 b
Humus 4kg/m ²	92,30 d	9,40 d	10,96 cd	4,42 c	1,68 b	0,19 c
Humus 6kg/m ²	86,80 d	7,20 de	9,71 d	3,62 c	1,41 b	0,18 c
Humus 2kg/m ²	78,70 e	5,30 e	9,53 d	3,57 c	1,28 b	0,16 c
Testigo	25,20 f	0,00 f	6,67 e	0,00 d	0,00 c	0,00 d
R ²	0,99	0,99	0,93	0,94	0,84	0,97
CV	4,18	3,90	9,12	12,95	25,53	12,17

Medias con una letra común no son significativamente diferentes Tukey (P≤0,01)

sedimentos contaminados con hidrocarburos generados en las estaciones de servicio. Estos resultados podrán ser el punto de partida para el establecimiento de la tasa de degradación del hidrocarburo presente en los sedimentos, y determinar el tiempo límite para su estabilización, lo que permitirá considerar otras alternativas de disposición final que incurran en menores costos. Aunque en el presente estudio no se encontraron diferencias significativas estadísticamente entre los tratamientos planteados, el uso de plantas genera un impacto positivo en el paisaje de las estaciones de servicio, sin embargo es necesario contar con estructuras de drenaje, recolección y recirculación producto del lavado del sedimento durante los periodos de lluvia.

RECOMENDACIONES

Es necesario realizar un número mayor pruebas a esta escala (la del estudio), que permita establecer rangos con los que se puedan definir tasas de remoción del HTP, ya que las condiciones iniciales del sedimento siempre van a variar.

Al sector de las estaciones de servicio de cambio de aceite usado, se les recomienda disponer de los sedimentos en lechos de secado y asegurar su permanencia por un periodo de tiempo de 5 semanas, en las cuales se da la mayor reducción del HTP, lo que se podrá ver reflejado en el costo de la disposición final, al hacer entrega de un sedimento con menor capacidad toxica.

Se hace necesario investigar alternativas de tratamientos económicos, eficientes y sencillos como la fitorremediación para tratar sedimentos contaminados con hidrocarburos tendientes a remediar los daños causados por las estaciones de servicio existentes y a prevenirlos en las nuevas, así como experimentar con otras especies de plantas y organismos vivos distintos a bacterias y que sean nativos de la localidad y el sitio del experimento.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Atlas, R., Bartha, R. (2002). Ecología microbiana y microbiología ambiental. 2ª ed. Trad. Español. Addison Wesley, Madrid. pp 250-261.
- Bansal, S. y Kapoor, K. (2000). Vermicomposting of crop residues and cattle dung with *Eisenia foetida*. Bioresource Technology. 73:95-98.
- Bravo-Varas, A. (1996). Técnicas y aplicaciones del cultivo de la lombriz Roja Californiana. (*Eisenia foetida*). Facultad de Humanidades. Universidad Yacambu. 6 p. Disponible <http://www.geocities.com/RainForest/Canopy/8317/eisenia.html> [Consulta: 2012, abril 28].
- Coria, Ignacio (2007) Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos. Ingeniería y Gerenciamiento ambiental UAIS-IGA-600-001. Universidad Abierta Interamericana, Argentina. 7 p. Disponible: <http://www.sustentabilidad.uai.edu.ar/pdf/ing/uais-iga-600-001%20-%20remediacion.pdf> [Consulta: 2011, mayo 24].
- Durán, L. y Henríquez, C. (2009). Crecimiento y reproducción de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en cinco sustratos orgánicos. Agronomía Costarricense 33(2): 275-281
- Flores, M.; Torras, S. y Téllez, R. (2004) Medidas de mitigación para uso de suelos contaminados por derrames de hidrocarburos en infraestructura de transporte terrestre. Instituto Mexicano del Transporte. Publicación Técnica N° 257. Sanfandila, Qro, México. 72 p.
- García, M.; Macías, M.; Martínez, V.; Rodríguez, M., Mastrapa, L., Domínguez, P. y Mederos, C. (2000). Composición química de dos especies de lombrices de tierra (*Eisenia foetida* y *Eudrilus eugeniae*) obtenidas a partir de residuos porcinos. Instituto de Investigaciones Porcinas La Habana, Cuba. 10 p. Disponible <http://www.sian.info.ve/porcinas/publicacion/rccpn/rev42/maridia.htm> [Consulta: 2011, junio 04].

- Gómez, W.; Gaviria, J. y Cardona, S. (2009) Evaluación de la bioestimulación frente a la atenuación natural y la bioaumentación en un suelo contaminado con una mezcla gasolina diesel. *Dyna*, 76(160): 83-93.
- Layne-Garsaball, J. y Méndez-Natera, J. (2006) Efectos de extractos acuosos del follaje del corocillo (*Cyperus rotundus* L.) sobre la germinación de semillas y el crecimiento de plántulas de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) CV. ARAPATOL S-15. *IDESIA* 24(2): 61-75
- Ming-Ming, T. y Qiu-Yu, W. (2009) Biostimulation and bioaugmentation repair of oil contaminated soil. *China Biotechnology* 29(8): 129-134.
- Moreno-Reséndez, A. y Cano-Ríos, P. (2002). Tasa reproductiva de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en diferentes substratos orgánicos. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*. 3(1): 41-46.
- Ñustez, D. (2012). Biorremediación para la degradación de hidrocarburos totales presentes en los sedimentos de una estación de servicio de combustible. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ciencias Ambientales. Pereira, Colombia. 113 p.
- Paoletti, M. (1999). The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. *Agric. Ecosyst. Environ.* 74: 137-155.
- Pérez-Figueroa, H. (2013). Fertilización nitrogenada reducida en rendimiento de caña de azúcar. *Rev. Investigaciones Interactivas* 3(20): 94-114.
- Romay, V. y López, M. (2008). Evaluación técnica para el procesamiento y reúso de aceite gastado. Trabajo Especial de Grado. Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo, Zulia. 125 p.
- Rosales, L. (2008) Biorremediación de suelos contaminados con aceite usado de automóvil con el hongo de la pudrición Blanca *Pleurotus ostreatus* (Setas) en Durango. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Durango, México. 107 p.
- Spurgeon, D.; Weeks, J. and Van, C. (2003). A summary of eleven years progress in earthworm ecotoxicology. *Pedobiología*, 47: 558-606.
- Susarla S.; Medina V. y McCutcheon S. (2002). Phytoremediation: An ecological solution to organic chemical contamination. *Ecol. Eng.* 18: 647-658.
- Thouand, G.; Bauda, P.; Oudot, J.; Kirsch, G.; Sutton, C. and Vidalie, J. (1999) Laboratory evaluation of crude oil biodegradation with commercial or natural microbial inocula. *Canadian Journal of Microbiology* 45: 106-115.
- Wiebner, A.; Kusch, P.; Kastner, M. and Stottmeister, A. (2002). Abilities of Helophyte Species to release Oxygen into Rhizosphere with varying Redox Conditions in Laboratory Scale Hydroponics Systems. *Int. Jour. of phytoremediation*. (4): 45-49.
- Windevoxhel, R; Bastardo, H.; Sánchez, N. y Pérez, J. (2013). Evaluación de la bioaumentación para la aplicación de un biotratamiento a suelos contaminados con aceites lubricantes. *Ingeniería y Sociedad UC*, 8(2): 144-152.