



# Bioestimulación de suelo impactado con aceite residual automotriz y fitorremediación con *Zea Mays*\*

Blanca Celeste Saucedo-Martínez\*\*, Liliana Márquez-Benavides y  
Juan Manuel Sánchez-Yáñez\*\*\*

***Biostimulation of a soil impacted by waste car oil and phytoremediation with *Zea Mays****

***Bio-estimulação do solo impactado com óleo residual automotor e fito-remediação com *Zea Mays****

## RESUMEN

**Introducción.** El suelo contaminado con 45.000 ppm de aceite residual automotriz (ARA) inhibe la mineralización de materia orgánica y la fertilidad del suelo. Una solución alternativa es la bioestimulación (BIS) con un abono animal y/o vegetal luego fitorremediación (FITO) con una gramínea tolerante a hidrocarburos (HICO) e inocular con: *Burkholderia cepacia* y *Rhizobium etli*, y decrecer la concentración de ARA a valor inferior al máximo aceptado por la

NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012 (NOM-138) de 4,400 ppm **Objetivos** i) La BIS de suelo impactado por 45.000 ppm de ARA con lombricomposta y composta bovina al 3 %; ii) FITO mediante *Zea mays* inoculado con *B. cepacia* y *R. etli* para reducir el ARA a un valor inferior al máximo total aceptado por la NOM-138. **Materiales y métodos.** El suelo contaminado con 45.000 ppm de ARA se bioestimuló por lombricomposta y composta bovina al 3 %. Luego de la BIS y FITO del suelo contaminado por el ARA; su

\* Artículo original, derivado del proyecto de investigación financiada por Coordinación de Investigación Científica-UMSNH proyecto 2.7 (2017), BIONUTRA, S. A. de CV, Maravatio, Mich, México, y el CONACYT. \*\* Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental, Laboratorio de Microbiología Ambiental, Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. \*\*\* Doctora en Ciencias. Profesora Investigadora. Laboratorio de Manejo de Residuos Sólidos y Medio Ambiente, Instituto de Investigaciones Agrícolas Pecuarias y Forestales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. \*\*\*\* Doctor en Ciencias. Profesor Investigador, Laboratorio de Microbiología Ambiental, Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.

concentración inicial y final se determinó por Soxhlet; en la FITO se incluyó la fenología de *Z. mays*: altura de la planta y longitud de la raíz; y biomasa: peso fresco aéreo y radical, peso seco aéreo y radical de *Z. mays*; los datos experimentales se analizaron por ANNOVA Tukey. **Resultados.** La BIS de suelo contaminado con 45,000 ppm de ARA por lombricomposta y composta bovina, lo redujo a 21.000 ppm; luego la FITO mediante *Z. mays* y *B. cepacia* la disminuyó a 1,822 ppm valor inferior al máximo permitido por

la NOM-138. **Conclusión.** La integración de la BIS de suelo contaminado por 45,000 ppm de ARA mediante composta bovina y lombricomposta seguida de la FITO por *Z. mays* y *B. cepacia*, fue eficaz para su remediación que la aplicación individual, para que el valor final del ARA haya sido inferior al máximo aceptado por la NOM-138.

**Palabras clave:** abono animal/vegetal, suelo, ARA, *Burkholderia cepacia*, *Zea mays*.

## ABSTRACT

**Introduction.** A soil contaminated with 45000 ppm of waste car oil (WCO) inhibits the mineralization of organic matter and the soil's fertility. An alternative solution is biostimulating it with an animal and/or vegetal fertilizer, then perform a phytoremediation with a grass that tolerates hydrocarbons, an inoculation with *Burkholderia cepacia* and *Rhizobium etli* and later decrease the WCO to a value below the maximum one accepted by NOM-138-SEMARNAT/SSAI-2012 (NOM-138), which is 4,400 ppm. **Objectives** i) The biostimulation of the soil impacted by 45.000 ppm of WCO with vermicompost and bovine compost at 3%; ii) phytoremediation by means of *Zea mays* inoculated with *B. cepacia* and *R. etli* to reduce the oil up to a value below that accepted by NOM-138. **Materials and methods.** The soil contaminated with 45.000 ppm of WCO was biostimulated by means of vermicompost and bovine compost at 3%. After the bioremediation and the phytostimulation of that soil, the initial and the final concentrations were determined by

means of Soxhlet. In the phytoremediation, the phenology of *Z. mays* was included: Plant's height and root's length. Also biomass: fresh aerial and radical weight, aerial and radical dry weight of *Z. mays*; The experimental data were analyzed by means of ANOVA Tukey. **Results.** The bioremediation of a soil contaminated with 45.000 ppm of WCO by means of vermicompost and bovine compost, reduced that contamination to 21.000 ppm; Then, the phytoremediation by means of *mays* and *B. cepacia* reduced it to 1,822 ppm, a value below the one permitted by NOM-138. **Conclusion.** The integration of bioremediation of a soil contaminated with 45,000 ppm of WCO by means of bovine compost and vermicompost, followed by phytoremediation by means of *Z. mays* and *B. cepacia*, was more effective for the remediation than the individual application in the endeavor of achieving a WCO's final value below the one accepted by NOM-138.

**Key words:** animal/vegetal compost, soil, waste car oil, *Burkholderia cepacia*, *Zea mays*.

## RESUMO

**Introdução.** O solo contaminado com 45.000 ppm de óleo residual automotor (ARA) inibe a mineralização de matéria orgânica e a fertilidade do solo. Uma solução alternativa é a bio-estimulação (BIS) com um adubo animal e/ou vegetal logo fito-remediação (FITO) com uma gramínea tolerante a hidrocarboneto (HICO) e inocular com: *Burkholderia cepacia* e *Rhizobium etli*, e decrescer a concentração de ARA a valor inferior ao máximo aceitado pela NOM-138-SEMARNAT/SSAI-2012 (NOM-138) de 4,400 ppm **Objetivos** i) A BIS de solo impactado por 45.000 ppm de ARA com húmus de minhoca e composta bovina a 3 %; ii) FITO mediante *Zea mays* inoculado com *B. cepacia*

e *R. etli* para reduzir o ARA a um valor inferior ao máximo total aceitado pela NOM-138. **Materiais e métodos.** O solo contaminado com 45.000 ppm de ARA se bio-estimulou por húmus de minhoca e composta bovina a 3 %. Logo da BIS e FITO do solo contaminado pelo ARA; sua concentração inicial e final se determinou por Soxhlet; na FITO se incluiu a fenologia de *Z. mays*: altura da planta e longitude da raiz; e biomassa: peso fresco aéreo e radical, peso seco aéreo e radical de *Z. mays*; os dados experimentais se analisaram por ANNOVA Tukey. **Resultados.** A BIS de solo contaminado com 45,000 ppm de ARA por húmus de minhoca e composta bovina, o reduziu a 21.000 ppm; logo a FITO mediante *Z. mays* e *B. cepacia* a diminuiu a 1,822 ppm valor inferior ao máximo

permitido pela NOM-138. **Conclusão.** A integração da BIS de solo contaminado por 45,000 ppm de ARA mediante composta bovina e húmus de minhoca seguida da FITO por *Z. mays* *B. cepacia*, foi eficaz para sua remediação que a aplicação individual, para que

o valor final do ARA haja sido inferior ao máximo aceitado pela NOM-138.

**Palavras chave:** adubo animal/vegetal, solo, ARA, *Burkholderia cepacia*, *Zea mays*.

## INTRODUCCIÓN

La contaminación del suelo por hidrocarburos (HICO) del petróleo, como el aceite residual automotriz (ARA) es un problema ambiental en el mundo y en México. El ARA es una mezcla de moléculas insolubles de HC alifáticos, aromáticos, policíclicos y trazas de metales pesados; por ello es considerado un residuo peligroso para la salud humana (LGEEPA, 2008), en especial, cuando la disposición final es inadecuada. En el suelo el derrame de ARA causa un impacto negativo, ya que por su insolubilidad forma una película impermeable en la superficie que impide el intercambio gaseoso e inhibe los ciclos biogeoquímicos que sustentan la vida y la producción agrícola (Pardo, Perdomo y Benavides, 2004; Izinyon y Seghosime, 2013). Una opción ecológica para solucionar este problema es la bioestimulación (BIS) de suelo contaminado con ARA por enriquecimiento con minerales esenciales que inducen a la microbiota heterotrófica aerobia autóctona para su mineralización (Maldonado-Chávez, Rivera-Cruz, Izquierdo-Reyes y Palma-López, 2010).

Posteriormente mediante fitorremediación (FITO) se reduce el ARA remanente mediante *Zea mays* potenciado con *Burkholderia cepacia* y *Rhizobium etli*; ambos, géneros de bacterias promotoras de crecimiento vegetal (BAPOCEVA), que transforman los exudados radicales en sustancias promotoras de crecimiento vegetal (SUPOCEVA), que facilitan la adaptación vegetal al suelo contaminado con una relativa elevada concentración del ARA, además de que, tanto *B. cepacia* como *R. etli*, pueden oxidar HICO aromáticos análogos a los reportados en el ARA (Sánchez-Yáñez, 2011); de esa forma minimizar la concentración del ARA a un valor inferior al máximo total permitido, de 4400 ppm acorde con la norma

oficial mexicana NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012I (NOM-138) en referencia a la cantidad de HICO aceptados en suelo para establecer que está o no libre de contaminación y considerar su explotación agrícola sin riesgo para la salud humana.

En México la NOM-138 es una regulación ambiental, que en suelo establece los límites máximos permisibles de las diversas fracciones HICO del ARA: como la ligera, de 200 ppm; de la mediana, de 1200 ppm, y de la pesada de 3000 ppm, en total de 4400 ppm. Al respecto los reportes de la literatura relacionados con este problema tendrían que especificar si la BIS y/o la FITO de suelo impactado con HICO han sido o no suficientes para decrecer estos HICO a valor inferior al máximo total permisible, según la NOM-138, sin embargo no lo hacen, aunque si mencionan el decremento de la concentración que normalmente no es inferior al límite máximo señalado por la señalada norma, que especifique si el problema se resolvió. Mientras que, Larenas y De Viana (2005) aplicaron la FITO en un suelo impactado con 55.000 ppm de HICO del petróleo con *Tithonia tubaeformis*, en el cual los resultados mostraron que *T. tubaeformis* solo redujo a 26.950 ppm los HICO del petróleo, una concentración insuficiente para señalar el suelo como no contaminado acorde con la NOM-138. Entre tanto Sangrabriel, Ferrera-Cerrato, Trejo-Aguilar, Mendoza-López, Cruz-Sánchez, López-Ortiz, Delgadillo-Martínez, y Alarcón (2006) fitorremediaron un suelo contaminado con 50.000 ppm de combustóleo, mediante tres gramíneas: *Brachiaria híbrido*, *B. brizantha* y *Panicum maximum* y tres leguminosas: *Clitoria ternatea*, *Phaseolus coccineus*, *Cicer arietinum*. En este caso los resultados mostraron que la FITO de ese suelo luego de 90 días; con *B. híbrido* los HICO del combustóleo decrecieron a 16.935 ppm; en tanto que *P. maximum* a 15,195 ppm y

finalmente con *P. coccineus* a 19,455 ppm, ningún de estos valores fue menor al límite máximo de HICO permitidos en el suelo por la NOM-138. Mientas que Domínguez-Rosado y Pichtel (2004) encontraron que en suelo contaminado con 15,000 ppm de ARA, por BIS con una solución mineral (SOMI y FITO mediante *Helianthus annuus* y/o *Zea mays*) reportaron que en ese suelo la combinación de la BIS y FITO de manera secuencial disminuyeron el ARA hasta 4,950 ppm, valor todavía superior al máximo establecido en la NOM-138 para considerarlo no contaminado. En contraste en la literatura son escasas las investigaciones sobre la contaminación de suelo contaminado con HICO, que hayan tomado con referencia a la NOM-138, tal es el ejemplo de Ferrera-Cerrato, Alarcón, Trejo-Aguilar, Sangabriel, Mendoza-López, Cruz-Sánchez, López-Ortiz y Delgadillo-Martínez (2008), que reportaron la FITO de un suelo contaminado con 50,000 ppm de combustóleo, mediante *P. coccineus* L. y fertilización inorgánica. En el cual resultados mostraron que *P. coccineus* redujo el combustóleo a 3,467 ppm, concentración menor de HICO a la máxima permisible según la NOM-138.

Con base a los antecedentes señalados sobre la BIS de suelo con una relativa alta concentración del ARA, seguida de la FITO mediante plantas potenciadas con géneros de BAPOCEVA.

Los objetivos de este trabajo fueron: a) la bioestimulación de un suelo contaminado por 45,000 ppm de ARA con lombricomposta y composta bovina al 3 %, y b) la fitorremediación para reducir el ARA mediante *Zea mays* potenciado con *Burkholderia cepacia* y *Rhizobium etli* a un valor inferior al máximo permisible de la NOM-138.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en condiciones de invernadero en el sistema hidropónico. Para el experimento se usó suelo ubicado a los 19° 39' 27" de latitud norte 100° 19' 59" de longitud oeste, con una altitud de 1820 msnm, clima templado en un terreno agrícola denominado "La Cajita" de la Tenencia Zapata del municipio de Morelia, Mich, México sobre el km 5 de la carretera Morelia-Pátzcuaro, México. La muestra de suelo se clasificó como laterítico de textura franco arenosa, pobre en materia orgánica de 1.5 % y nitrógeno (N) orgánico de 39Kg ha<sup>-1</sup>, un pH 6.7 ligeramente ácido. El suelo se solarizó a 70 °C/48 h para minimizar el problema de plagas y enfermedades; posteriormente se tamizó con una malla del n.º 20 y contaminó con 45.000 ppm de ARA proveniente de un taller mecánico automotriz de la ciudad de Morelia, Mich, México.

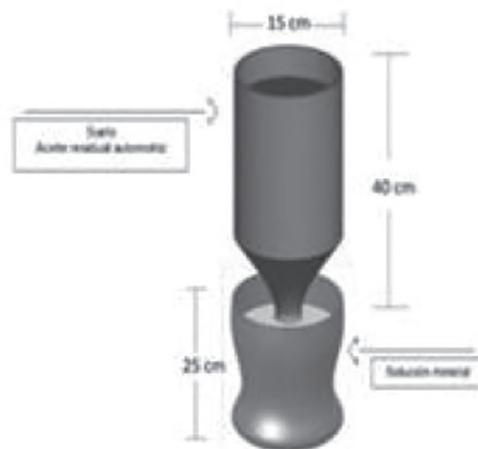


Figura 1. Diagrama de la jarra de Leonat

Fuente: Meza-Ramírez, 2014

El suelo se colocó en las jarras de Leonard (figura 1) con aproximadamente 1 kg en cada una; en la parte inferior se colocó una SOMI y/o agua potable, según el tratamiento especificado en el diseño experimental (García-González, Farías-Rodríguez, Peña-Cabriales, Sánchez-Yáñez, 2005). El experimento se dividió en dos fases: 1) la BS de suelo con 45.000 ppm con lombricomposta (LOCO) y composta bovina (COBO) al 3 % (de acuerdo con la composición química mostrada en la tabla 1) durante 7 semanas y una humedad en el suelo ajustada al 80 % de la capacidad de campo; 2) la FITO mediante *Z. mays* potencia con *B. cepacia* y *R. etli* según el diseño experimental de bloques al azar de 7 tratamientos y 6 repeticiones indicados en la tabla 2, con 2 controles: i) el suelo no contaminado por ARA no bioestimulado o fitorremediado, irrigado solo con agua o control absoluto (CA); ii) suelo contaminado con ARA, sin bioestimar ni fitorremediar, irrigado solo con agua o control negativo (CN) y el mismo suelo bioestimulado con LOCO y COBO y luego fitorremediados mediante *Z. mays* con *B. cepacia* y/o *R. etli*. En el suelo impactado con ARA bioestimulado y luego fitorremediado la concentración de ARA se determinó por Soxhlet. EL suelo impactado por 45.000 ppm de ARA que se bioestimulo

ya sea con LOCO y/o COBO, de acuerdo con el diseño experimental se seleccionó el suelo, donde se registro la máxima reducción de la concentración de ARA, y luego continuar con la FITO mediante *Z. mays* potenciado con *B. cepacia* y *R. etli* ya sea individualmente y/o con la mezcla de ambos géneros bacterianos; durante la FITO el *Z. mays* fue alimentado con la siguiente SOMI: (g/L):  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , 12.0;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 3.0;  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , 3.5;  $\text{MgSO}_4$ , 1.5;  $\text{CaCl}_2$ , 0.1;  $\text{FeSO}_4$ , 0.5mL y una solución de oligoelementos, 1.5 mL/L, la SOMI pH se ajustó a 6.4-6.7 (Leal, 2003). En la FITO del suelo con *Z. mays* se registraron: el porcentaje de germinación a los 11 días; así como su fenología: altura de la planta (AP) y longitud de la raíz (LR); al igual que la biomasa aérea y radical: peso fresco total (PFAT y PFRT) y sus análogos peso seco total (PSAT y PSRT) a nivel de plántula, floración y madurez fisiológica (Amador y Boshchini, 2000). En cada estado fisiológico de *Z. mays*, usado para la FITO del suelo impactado con ARA, se comparó con mismo *Z. mays* en suelo sin ARA irrigado solo con agua o CA y el *Z. mays* en suelo sin ARA alimentado con SOMI o C). Los datos experimentales se analizaron por ANOVA, y la prueba comparativa de media de Tukey HSD  $P < 0.05$  % (Walpole, Myers y Myers, 2007).

**Tabla 1. Composición química de los abonos en la biorremediación de suelo contaminado con 45,000 ppm de aceite residual automotriz**

Elemento/compuesto	Lombricomposta	Composta
C (%)	18.57	14.91
N-total (%)	2.24	2.20
Relación C-N	8.13	7.05
N- $\text{NO}_3$ )	532	769.00
P (%)	0.12	0.14
K (%)	0.79	0.22
Ca (%)	1.33	0.95
Mg (%)	1.21	0.84
Na (%)	0.12	0.26
Fe)	357.00	367.00
Zn)	91.00	86.00
Mn)	196.00	213.00
Cu)	38.00	41.00
pH	6.00	7.42

Fuente: Sagarpa, 2007 y Olivares-Campos, 2010.

## RESULTADOS

### Biostimulación (biorremediación) de suelo contaminado por 45.000 ppm de aceite residual automotriz con lombricomposta, composta bovina y ambas

En la tabla 2 se indica que cuando BIS del suelo contaminado con 45.000 ppm de ARA se realizó con la combinación de LOCO y COBO, se redujo

a 21.000 ppm en 7 semanas; mientras cuando se bioestimuló solo con CB decreció a 31.000 ppm; o únicamente con LOCO lo disminuyó a 33,700 ppm; estos valores numéricos fueron estadísticamente diferentes en comparación con el suelo usado como CN donde sin bioestimar la concentración del ARA no cambió (Balderas-León y Sánchez-Yáñez, 2015).

**Tabla 2. Biorremediación de suelo contaminado con 45,000 ppm de aceite residual automotriz con lombricomposta, composta bovina y mezcla de ambas en su concentración**

Suelo + 45,000 ppm de aceite residual automotriz	Concentración de aceite residual automotriz en suelo después de 7 semanas de bioestimulación con lombricomposta, composta bovina y ambas (ppm)
sin bioestimar (control negativo)	44,900 <sup>d*</sup>
lombricomposta 3%	33,700 <sup>c</sup>
composta bovina 3%	31,000 <sup>b</sup>
lombricomposta/composta bovina (3%)	21,000 <sup>a</sup>

\*Tukey (0.025)=: Letras iguales = sin diferencia estadística

### Fitorremediación de un suelo contaminado con 21,000 ppm de ARA remanente de la bioestimulación

En la tabla 3 se muestra la BIS de suelo contaminado por 45,000 ppm de ARA con la mezcla de LOCO y COBO durante 7 semanas que lo decreció a 21.000 ppm seguida de la FITO con *Z. mays* potenciada con los dos géneros bacterianos sobre su fenología a nivel de madurez fisiológica; en comparación con el crecimiento de *Z. mays* usado como CR, que registró una AP de 128.5 cm, este valor estadísticamente diferente a lo registrado en suelo contaminado con ARA, fitorremediado mediante *Z. mays* potenciado con *R. etli* con una AP de 85.3cm; mientras que el mismo suelo fitorremediado mediante con *Z. mays* inoculado con *B. cepacia* y *R. etli* alcanzó 81.7 cm de AP. En suelo fitorremediado con *Z. mays* y *B. cepacia* se registró una LR de 61.3 cm, valor estadísticamente diferente al registrado

en *Z. mays* empleado como CR con 27.3 cm de LR; respecto a su biomasa esta gramínea alcanzó 91.65g PFAT valor estadísticamente distinta al *Z. mays* inoculado con *B. cepacia* y *R. etli* con 27.4 g de PFAT; en comparación con el *Z. mays* potenciado con *R. etli* con 19.6 g de PFAT. En suelo fitorremediado mediante *Z. mays* inoculado con *B. cepacia* y *R. etli* registro 17.9 g de PFAT, este valor con diferencia estadística comparado con lo registrado en *Z. mays* potenciado con *R. etli* con 14.95 g de PFAT, en comparación con el PSAT de 15.47 g de *Z. mays* (CR) valor estadísticamente distinto a lo observado en *Z. mays* con *R. etli* y *B. cepacia* con 4.52 g de PSAT; mientras que en *Z. mays* potenciado con *B. cepacia* que registro 2.05 g de PSAT valor estadísticamente distinto, al registrado en *Z. mays* inoculado con *R. etli* que alcanzo 2.45g de PSAT, valor estadísticamente distinto al *Z. mays* inoculado con *R. etli* y *B. cepacia* que registro de 2.31 g PSAT, estos valores estadísticamente inferiores a los registrados en *Z. mays* (CA) con 12.65 g de PSR.

**Tabla 3. Biorremediación de suelo contaminado con 45,000 ppm de aceite residual automotriz con lombricomposta, composta bovina y mezcla de ambas en su concentración**

Suelo con <i>Zea mays</i>	Altura de planta (cm)	Longitud radical (cm)	Peso fresco (g)		Peso seco (g)	
			Aéreo	Radical	Aéreo	radical
Sin ARA (control absoluto)	122.68 <sup>a*</sup>	21.7 <sup>c</sup>	88.56 <sup>a</sup>	61.78 <sup>a</sup>	14.64 <sup>a</sup>	12.65 <sup>a</sup>
Sin ARA alimentado con solución mineral (control relativo)	128.5 <sup>a</sup>	27.3 <sup>b</sup>	91.65 <sup>a*</sup>	64.85 <sup>a</sup>	15.47 <sup>a</sup>	15.90 <sup>a</sup>
**21,000 ppm de ARA + lombricomposta + composta bovina + <i>B. cepacia</i> + <i>R. etli</i>	81.7 <sup>b</sup>	26.1 <sup>b</sup>	27.41 <sup>b</sup>	17.95 <sup>b</sup>	4.52 <sup>b</sup>	2.31 <sup>b</sup>
21,000 ppm de ARA + lombricomposta + composta bovina + <i>R. etli</i>	85.3 <sup>b</sup>	25.3 <sup>b</sup>	19.60 <sup>c</sup>	14.95 <sup>c</sup>	3.52 <sup>c</sup>	2.45 <sup>c</sup>
21,000 ppm de ARA + lombricomposta + composta bovina + <i>B. cepacia</i>	31.5 <sup>c</sup>	61.3 <sup>a</sup>	10.95 <sup>d</sup>	8.13 <sup>d</sup>	2.05 <sup>d</sup>	1.71 <sup>d</sup>

\*Tukey (0.025)=: Letras iguales = no existe diferencia estadística

\*\* ARA remanente de la biorremediación

## DISCUSIÓN

### Bioestimulación de un suelo contaminado con 45.000 ppm de aceite residual automotriz

Luego de la BIS de suelo contaminado por 45,000 ppm de ARA con LOCO y COBO la concentración se redujo a 21.000 ppm; entonces el suelo se fitorremedió con *Z. mays* y *B. cepacia* (tabla 4); ahí registró la máxima disminución del ARA hasta 1,822 ppm, valor estadísticamente diferente al registrado en el mismo suelo fitorremediado mediante *Z. mays* potenciado con *B. cepacia* y *R. etli* que lo redujo a 10,350 ppm, seguida de lo observado en suelo fitorremediado con *Z. mays* inoculado *R. etli* que lo disminuyó hasta 13,500 ppm; estos dos últimos valores fueron estadísticamente diferentes al registrado en el suelo (CN) impactado con ARA con 44,900 ppm, debido a que la atenuación natural fue insuficiente para eliminar el exceso de carbono (C) que inhibió la actividad microbiana nativa para mineralizar el ARA (Corona-Ramírez y Irturbide-Argüelles, 2005).

La composición química de la COBO y LOCO (SAGARPA, 2007) con las que realizó la BIS del suelo impactado con ARA, se aplicaron para enriquecerlo con minerales de N (nitrógeno), P (fósforo) K (potasio) y otros elementos necesarios para inducir a su microbiota nativa heterotrófica aeróbica a mineralizar el ARA (Sánchez-Yáñez, 2011). La tabla 2 se muestra un efecto fitotóxico del ARA en la fenología y biomasa de *Z. mays* (Sangabriel *et al*, 2006), no obstante la BIS del suelo con LOCO y COBO le proporcionaron al *Z. mays* los minerales para alcanzar la madurez fisiológica, lo cual fue mejorado por *B. cepacia* mediante la conversión de exudados radicales en fitohormonas y potencio la degradación del ARA (Balderas-León y Sánchez-Yáñez, 2015) y aumentó la tolerancia de *Z. mays* a esta mezcla de HICO. En la tabla 3 se muestra el efecto fitotóxico del ARA en la biomasa de *Z. mays* duran; en parte, por su hidrofobicidad y viscosidad que formaron una película que se adhirió a la raíz e impide el intercambio gaseoso; en consecuencia, en ese ambiente anaeróbico, se causa la lisis de las

**Tabla 4. Biorremediación de suelo contaminado con 45,000 ppm de aceite residual automotriz por bioestimulación con lombricomposta/composta bovina y fitorremediación con *Zea mays* inoculado con *Burkholderia cepacia* y *Rhizobium etli***

Suelo + 45,000 ppm de aceite residual automotriz	Concentración del aceite residual automotriz en el suelo después de 4 meses de la fitorremediación con <i>Zea mays</i> y los géneros de bacterias promotoras de crecimiento vegetal (ppm)
Sin bioestimar ni fitorremediar (control negativo)	44,900 <sup>c*</sup>
<i>Z. mays</i> + lombricomposta + composta bovina (3%) + <i>Rhizobium etli</i>	13,500 <sup>b</sup>
<i>Z. mays</i> + lombricomposta + composta bovina (3%) + <i>Burkholderia cepacia</i>	1,822.5 <sup>a</sup>
<i>Z. mays</i> + lombricomposta + composta bovina (3%) + <i>B. cepacia</i> y <i>R. etli</i>	10,350 <sup>b</sup>

\*Tukey (0.025)=: Letras iguales = sin diferencia estadística

membranas de las raíces de *Z. mays* con ello la inhibición de su crecimiento (Gogosz, Bona, Santos y Botosso, 2010); derivado de la la fracción aromática del ARA que provoca un anormal función radical y con esto una deficiencia en la absorción mineral en *Z. mays* (Balderas-León y Sánchez-Yáñez, 2015).

La tabla 4 muestra la BIS del suelo contaminado con ARA por incorporación de LOCO y COBO que sugieren que se eliminó la fracción de HIC; aromáticos del ARA, mediante un reequilibrio de la condición mineral del suelo con sales de N, P, K, etc.; ahí la población microbiana heterotrófica aerobia nativa también los oxidó, mientras que la FITO del suelo con el ARA mediante *Z. mays* y *B. cepacia* aceleró la mineralización del ARA, resultados similares fueron reportados por Delgadillo-López, González-Ramírez, Prieto-García, Villagómez-Ibarra y Acevedo-Sandoval, (2011); en la FITO de suelo contaminado con otras mezclas de HICO, debido a que las raíces vegetales estimulan la actividad microbiana heterotrófica asociada al sistema radical para mineralizar los HICO (Davis, Castro-Díaz, Zhang y Erickson, 2002). Lo anterior también se

observó durante la FITO del suelo impactado con ARA al inocular *Z. mays* con *B. cepacia* y *R. etli* contribuyeron a la mineralización de del ARA (Pilon-Smits 2005). Por ello la importancia de sembrar *Z. mays* en suelo contaminado con HICO, al respecto Pérez-Armendáriz, Castañeda-Antonio, Castellanos, Jiménez-Salgado, Tapia-Hernández, y Martínez-Carrera (2011) reportaron que el patrón de crecimiento de las raíces de *Z. mays* mejora las propiedades físico-químicas, para facilitar una mejor aireación, con ello hubo mayor penetración radicular y estimular la actividad oxidante del ARA por *B. cepacia* y *R. etli* con una mayor eliminación del ARA (González-Paredes, Alarcón, Ferrera-Cerrato, Almaraz, Martínez-Romero, Cruz-Sánchez, Mendoza-López y Ormeño-Orillo, 2013).

## CONCLUSIÓN

Los resultados de esta investigación apoyan que la BIS del suelo con LOCO y COBO indujo a la oxidación de una parte importante de la fracción alifática del ARA, lo que disminuyó su concentración para la posterior FITO mediante *Z. mays* con *B. cepacia* y *R. etli*; acorde con los

resultados obtenidos, redujo parcialmente la concentración de la fracción recalcitrante del ARA, para en el suelo resolver el problema de contaminación del ARA a un valor inferior al máximo total permisible según la NOM-138 y considerarlo no contaminado.

## AGRADECIMIENTOS

A la Coordinación de Investigación Científica-UMSNH proyecto 2.7 (2017), y BIONUTRA, S.A de CV, Marvatio, Mich, México y beca del CONACYT a la primera autora.

## CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran que no existe ningún tipo de conflicto de interés en su planificación, elaboración, y redacción con las instituciones e individuos participantes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amador R. y Boschini F. (2000). Fenología productiva y nutricional de maíz para la producción de forraje. *Agronomía Mesoamericana* 1(1):171-177.
- Balderas-León I. y Sánchez-Yáñez J. (2015). Biorremediación de suelo contaminado con 75000 ppm de aceite residual automotriz por bioestimulación y fitorremediación con *Sorghum vulgare* y *Bacillus cereus* y/o *Burkholderia cepacia*. *Journal of the Selva Andina Research Society*. 6(1):23-32.
- Corona-Ramírez L e Iturbide-Argüelles R. (2005). Atenuación natural en suelos contaminados con hidrocarburos. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*. 6 (2):119-126
- Davis L., Castro-Díaz S., Zhang Q. y Erickson L. (2002). Benefits of vegetation for soils with organic contaminants. *Critical Reviews Plant Sciences*. 21 (5): 457-491
- Delgadillo-López, A., González-Ramírez, C., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. y Acevedo-Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 14(2): 597-612.
- Dominguez-Rosado E. y Pichtel J. (2004) Phytoremediation of Soil Contaminated with Used Motor Oil: II. Enhanced Microbial Activities from Laboratory and Growth Chamber Studies. *Environmental Engineering Science*. 21 (2):169-180.
- Ferrera-Cerrato R., Alarcón A., Trejo-Aguilar D., Sangabriel W., Mendoza-López M., Cruz-Sánchez J., López-Ortiz C. y Delgadillo-Martínez J. (2008). Fitorremediación de un suelo contaminado con combustóleo utilizando *Phaseolus coccineus* y fertilización orgánica e inorgánica. *Agrociencia* 41(8): 817-826.
- García-González, M., Fariás-Rodríguez, R.; Peña-Cabriales, J., Sánchez-Yáñez, J. (2005). Inoculación del trigo var. Pavón con *Azospirillum spp.* y *Azotobacter beijerinckii*. *Terra Latinoamericana* 23 (1): 65-72.
- Gogosz A. M., Bona C., Santos G. O., Botosso P. C. (2010). Germination and initial growth of *Campomanesia xanthocarpa* O. Berg (Myrtaceae) in petroleum contaminated soil and bioremediation soil. *Brazilian Journal of Biology*. 70(4): 977-980.
- González-Paredes Y., Alarcón A., Ferrera-Cerrato R., Almaraz J., Martínez-Romero E., Cruz-Sánchez J., Mendoza-López M., Ormeño-Orillo, E. (2013). Tolerance, growth and degradation of phenanthrene and benzo [a] pyrene by *Rhizobium tropici* CIAT 899 in liquid culture médium. *Applied Soil Ecology*. 63(1):105-111.
- Izinyon O. y Seghosime A. (2013). Assessment of Show Star Grass (*Melampodium Paludosum*) for Phytoremediation of Motor Oil Contaminated Soil. *Civil and Environmental Research*. 3(3):386-393.
- Larenas P. y De Viana M. (2005). Germinación y supervivencia del pasto cubano *Tithonia tubaeformis* (Asteraceae) en suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo. *Ecología Austral*. 15:(2) 177-181.
- Lgeepa. (2008): Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, Última reforma DOF 15/05/2008. México, D. F., Disponible en

- [http://www.diputados.gob.mx/Leyes\\_Biblio/ref/lgeepa.htm](http://www.diputados.gob.mx/Leyes_Biblio/ref/lgeepa.htm).
- Leal M. (2003). *Biorremediación de un suelo agrícola contaminado con aceite residual automotriz*. Tesis de Doctor en Ciencias no publicada. Universidad de Colima. Colima, México (inédita).
- Maldonado-Chávez, E., Rivera-Cruz, M, Izquierdo-Reyes, F, Palma-López, D. (2010). Efectos de rizósfera, microorganismos y fertilización en la biorremediación y fitorremediación de suelos con petróleos crudo nuevo e intemperizado. *Universidad y Ciencia*. 26 (2):121-136.
- Meza-Ramírez, J. (2014). *Biorremediación de un suelo contaminado con 40,000 ppm de aceite residual automotriz con lombricomposta, composta bovina y fitorremediación con Cicer arietinum inoculado con Burkholderia cepacia*. Tesis de licenciatura no publicada. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México (inédita).
- NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012. Norma Oficial Mexicana. Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y lineamientos para el muestreo en la caracterización y especificación para la remediación.
- Olivares-Campos M., Hernández-Rodríguez A., Vences-Contreras, C., Jáquez-Balderrama, J. L., Ojeda-Barríos, D. (2012). Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. *Universidad y Ciencia. TrópicoHúmedo*. 28(1):27-37.
- Pardo J., Perdomo M., L. Benavides J. (2004). Efecto de la adición de fertilizantes inorgánicos compuestos en la degradación de hidrocarburos en suelos contaminados con petróleo. *NOVA* 2(2): 40-49.
- Pérez-Armendáriz, B., Castañeda-Antonio, D., Castellanos, G., Jiménez-Salgado, T., Tapia-Hernández A., y Martínez-Carrera D. (2011). Efecto del antraceno en la estimulación del crecimiento en maíz y frijol. *Terra Latinoamericana*, 29 (1): 95-102.
- Pilon-Smits, E. (2005). Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology*. 56: 15-39
- SAGARPA, (2007) Lombricultura, Disponible en línea <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Lombricultura.pdf> Fecha de consulta 4 de Abril 2013.
- Sánchez-Yáñez J. (2011). Biorremediación. Estrategias contra la contaminación ambiental. Recuperado de <http://www.librosenred.com/libros/biorremediacionestrategiascontralacontaminacionambiental.html>.
- Sangrabriel, W., Ferrera-Cerrato, R., Trejo-Aguilar D., Mendoza-López, M., Cruz-Sánchez, J., López-Ortiz, C., Delgadillo-Martínez J., Alarcón A. (2006). Tolerancia y capacidad de fitorremediación de combustóleo en el suelo por seis especies vegetales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 22(2):63-73.
- Walpole E., Myers, R. y Myers, L. (2007). *Probabilidad & Estadística para Ingeniería & Ciencias*. México. Ed. Pearson.