



Journal of the Selva Andina Research Society

ISSN: 2072-9294

ISSN: 2072-9308

infoselvandina@gmail.com

Selva Andina Research Society

Bolivia

Rico-Cerda, José Luis; Ignacio-De la Cruz, Juan Luis; Mondragón-Reynel, Perla Guadalupe; Sánchez-Yáñez, Juan Manuel  
Recuperación de un suelo contaminado por una mezcla de hidrocarburos  
Journal of the Selva Andina Research Society, vol. 11, núm. 2, 2020, pp. 75-83  
Selva Andina Research Society  
Bolivia

DOI: <https://doi.org/10.36610/j.jsars.2020.110200075>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=361364361005>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org  
UAEM

Sistema de Información Científica Redalyc  
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto



## Recuperación de un suelo contaminado por una mezcla de hidrocarburos

### Recovering of soil polluted by hydrocarbons mixing

Rico-Cerda José Luis ID, Ignacio-De la Cruz Juan Luis ID, Mondragón-Reynel Perla Guadalupe, Sánchez-Yáñez Juan Manuel ID\*

#### Datos del Artículo

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.  
Instituto de Investigaciones Químico Biológicas.  
Laboratorio de Microbiología Ambiental.  
Edif. B-3, Ciudad Universitaria.  
Francisco J. Mujica S/N Felicitas del Rio.  
C.P. 58000. Morelia.  
Michoacán, México.  
Tel: +0052 44 33 22 3500 ext. 4240

\*Dirección de contacto:  
Laboratorio de Microbiología Ambiental  
Instituto de Investigaciones Químico Biológicas  
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.  
Edif. B-3, Ciudad Universitaria.  
Francisco J. Mujica S/N Felicitas del Rio.  
C.P. 58000. Morelia.  
Michoacán, México.  
Tel: +0052 4433 22 3500 ext. 4240

Juan Manuel Sánchez-Yáñez  
E-mail address: [syanez@umich.mx](mailto:syanez@umich.mx)

#### Palabras clave:

Suelo,  
ARA,  
bioestimulación,  
NOM-138,  
*S. vulgare*,  
hongos.

***J. Selva Andina Res. Soc.***  
**2020; 11(2):75-83.**

ID del artículo: 140/JSARS/2020

#### Historial del artículo.

Recibido febrero 2020.  
Devuelto mayo 2020.  
Aceptado junio 2020.  
Disponible en línea, agosto 2020.

**Editado por:**  
**Selva Andina**  
**Research Society**

#### Keywords:

Soil,  
WMO,  
biostimulation,  
NOM-138,  
*S. vulgare*,  
fungus

#### Resumen

En México, un suelo agrícola pobre en nitrógeno (N) contaminado por un derivado de hidrocarburos como el aceite residual automotriz (ARA), con una relativa alta concentración de 100000 ppm, es un problema ambiental, pero también porque afecta drásticamente las propiedades del suelo asociadas con la mineralización de la materia orgánica y la pérdida de fertilidad, ya que sobrepasa el límite máximo aceptado de 4400 ppm de la norma mexicana llamada, NOM-138-SEMARNAT-2012 (NOM-138). Una alternativa de solución es tratarlo con acciones ecológicas para eliminar el ARA y recuperar esa fertilidad. Por lo que los objetivos de esta investigación fueron: i) biorremediación de suelo contaminado por 100000 ppm de ARA ii) fitorremediación mediante *Sorghum vulgare* con *Aspergillus niger* y *Penicillium chrysogenum* para decrecer el ARA a un valor inferior a 4400 ppm de la NOM-138. Para ello la recuperación de suelo se realizó mediante la variable-respuesta: desaparición del ARA por Soxhlet al inicio y después de la biorremediación y al final de la fitorremediación con *S. vulgare* con la fenología y biomasa a plántula. Todos los datos experimentales se validaron por ANOVA/Tukey HSD P<0.05%. Los resultados indicaron que la biorremediación y la fitorremediación del suelo contaminado por 100000 ppm de ARA, la decrecieron hasta 3400 ppm, valor inferior al máximo establecido por la NOM-138, suficiente para la recuperación del suelo en la producción agrícola, en 120 días un periodo de tiempo relativamente corto.

2020. *Journal of the Selva Andina Research Society®. Bolivia. Todos los derechos reservados.*

#### Abstract

In Mexico, a soil poor in nitrogen (N) polluted by 100000 ppm of waste motor oil (WMO) is an environmental problem also because is drastically affecting soil's properties related with mineralization of organic matter and lost its fertility since exceeding the maximum accepted limit of 4400 ppm of the Mexican environmental rule called NOM-138-SEMARNAT-2012 (NOM-138). An ecological alternative to solve it is to treat for eliminating WMO and to recover its fertility. Therefore, the aims of this research were: a) bioremediation of soil polluted by 100000 ppm of WMO b) phytoremediation by *Sorghum vulgare* with *Aspergillus niger* and *Penicillium chrysogenum* to decrease WMO's concentration at lower value of 4400 ppm accepted by the NOM-138. In that sense the variable response to measure soil's recovering was: a) WMO's concentration with Soxhlet, after bioremediation and phytoremediation b) while at phytoremediation the phenology and biomass at seedling stage of *S. vulgare* with *A. niger* and *P. chrysogenum*. All experimental data were validated by ANOVA/Tukey HSD P<0.05%. Results showed that bioremediation and phytoremediation decreased WMO until 3400 ppm, numerical value lower than the maximum established by NOM-138, both processing were efficient to recover for cropping aim. In 120 days regarding as a short period of time.

2020. *Journal of the Selva Andina Research Society®. Bolivia. All rights reserved.*



## Introducción

En la actualidad, algunos derivados del petróleo como los aceites usados en la lubricación y refrigeración de automotores, generan productos que contaminan el ambiental como el aceite residual automotriz (ARA), una combinación de hidrocarburos alifáticos, aromáticos, policíclicos<sup>1</sup>. En México el ARA, según la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente<sup>2</sup> un residuo tóxico ambiental. Mientras que para determinar el daño por el ARA en el suelo existe la norma mexicana<sup>3</sup> conocida como NOM-138-SEMARNAT-2012 (NOM-138), la que establece el límite máximo de concentración permisible, en especial para un suelo agrícola de 4400 ppm, cantidad que impide la mineralización de la materia orgánica (MO), evita el intercambio de gases, que en consecuencia decrecen o anulan la producción agrícola<sup>4</sup>, dada la fitotoxicidad de aromáticos del ARA. La literatura reporta que un suelo impactado por ARA se reduce por métodos químicos, que son rápidos, de un alto valor económico, pero que causan un daño colateral al dejar residuos tóxicos para la vida animal y/o vegetal<sup>5,6</sup>. Una alternativa de solución ecológica, es la biorremediación (BIO) la que al enriquecer el suelo con minerales básicos de N (nitrógeno), P (fósforo), K (potasio) reequilibran la relación carbono: nitrógeno (C:N) provocado por el exceso de carbono del ARA, para eliminarlo en un tiempo relativamente largo u corto<sup>7</sup>, esta velocidad es dependiente de la complejidad y concentración de los hidrocarburos que contiene, en especial cuando el suelo es pobre en N, por lo que es necesario enriquecerlo con un abono animal, como la lombricomposta (LC), que además del alto contenido en minerales esenciales, incorpora microorganismos que favorezcan la oxidación del ARA, por este tipo de BIO, es importante

una adecuada demanda de O<sub>2</sub> (oxígeno) que asegure la constante eliminación del ARA, sin causar cambios drásticos de pH, pues la neutralidad acelera la oxidación del ARA<sup>8</sup>.

En un suelo contaminado por 100000 ppm de ARA, la BIO es insuficiente para disminuirlo a un valor menor de 4400 ppm, que permita la recuperación agrícola de acuerdo con la NOM-138<sup>3</sup>, en consecuencia, es indispensable la fitorremediación (FITO), con plantas cuyo sistema radical tolere la fitotoxicidad a los hidrocarburos y facilite la oxidación del ARA<sup>9-12</sup>. Así como se reporta para otros productos derivados del petróleo, fundamentalmente porque estos vegetales pueden mejorar la capacidad de eliminación de esos hidrocarburos, principalmente cuando se inoculan con microorganismos que naturalmente hidrolizan a los aromáticos. En suelo impactado por una relativa elevada concentración de hidrocarburos para que, al oxidarlos, sea posible la recuperación de la fertilidad para la producción agrícola, de acuerdo con alguna regulación ambiental vigente<sup>3</sup>. En relación a mejorar la capacidad de una planta para mineralizar los hidrocarburos del suelo, se reporta que géneros y especies de hongos como *Aspergillus niger* y *Penicillium chrysogenum* que no solo estimulan el crecimiento del sistema radical vegetal<sup>1,9,13</sup>, sino también metabolizan hidrocarburos similares a los detectados en el ARA y los consumen hasta disminuirlos a un valor que facilite la recuperación del suelo útil en la producción agrícola<sup>14-17</sup>. Con base en esta información los objetivos de esta investigación fueron: i) biorremediación de suelo contaminado por 100000 ppm de ARA, ii) fitorremediación con *Sorghum vulgare* inoculado con *A. niger* y *P. chrysogenum* para disminuir el ARA a un valor inferior al máximo de la NOM-138 como evidencia de su recuperación.

## Materiales y métodos

Esta investigación se realizó en el invernadero del laboratorio de Microbiología Ambiental del Instituto de Investigaciones Químico Biológicas (IIQB) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). Bajo las siguientes condiciones micro climáticas: temperatura de 23.2 °C, luminosidad de 450  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , humedad relativa de 67%.

Se utilizó, un suelo agrícola colectado en una zona a los 19° 37' 10" de latitud norte y 101° 16' 41.00" de longitud oeste, con una altitud de 2013 msnm, con un clima templado de un lugar llamado "Uruapilla" del municipio de Morelia, Michoacán, México, en la carretera Morelia-Pátzcuaro, Michoacán. Mientras que el ARA se colectó de un taller de cambio de aceites de Morelia, Michoacán, México.

**Tabla 1 Propiedades fisicoquímicas del suelo agrícola sin contaminar artificialmente por aceite residual automotriz**

Parámetro	Valor interpretación
pH (1:20)	6.02 ácido
Nitrógeno total (%)	0.11 pobre
Materia orgánica (%)	0.58 pobre
Capacidad de intercambio iónico ( $\text{Cmol}^{(+)} \text{ Kg}^{-1}$ )	26.64 salino
Textura (%) <sup>+</sup>	50 (Ac) baja aeración, 7(L), 43 (Ar)
Densidad real o DR ( $\text{g/cm}^3$ )	2.22
Densidad aparente o DA ( $\text{g/cm}^3$ )	1.05
Porosidad (%)	47.5
Capacidad de campo (%)	54 baja humedad

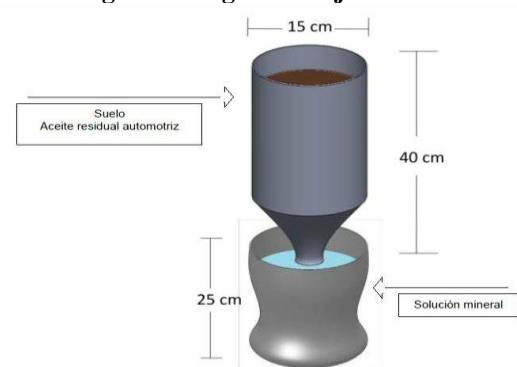
<sup>+</sup>Ar: arena, L: limo, AC: arcilla, \*para suelos de origen volcánico, \*\*calculada a partir de DA y DR

\*\*estimada de la textura, +para suelo arcilloso según la norma mexicana: NOM-021-RECNAT-2000.

En la tabla 1, se detallan las propiedades fisicoquímicas del suelo agrícola sin contaminar por el ARA<sup>18</sup>, con un pH de 6.02 ligeramente ácido, con bajo contenido en MO 0.58 %, una pobre concentración de N total de 0.11%, una alta capacidad de intercambio iónico de 26.64  $\text{C}\cdot\text{mol}^{(+)} \text{ Kg}^{-1}$  o salino, con una composición de la textura: arcilla de 50 %, limo 7 % y arena 43 %, por lo que el suelo se clasificó como arcilloso, este suelo se tamizó con una malla del No. 20, solarizó por 48 h y redujo el problema de plagas y enfermedades, posteriormente se contaminó con el ARA, y comenzó la BIO del suelo al disolver los 100000 ppm de ARA en el detergente comercial "La Corona" al 0.5 % (p/v). Entonces 1.0 kg de este suelo contaminado con el ARA, se colocó en la parte superior de la jarra de Leonard, en la inferior se depositó agua o solución mineral (SM),

ambas partes se conectaron por una tira algodón, para el movimiento del líquido por capilaridad (figura 1).

**Figura 1 Diagrama de jarra de Leonard<sup>13</sup>**



El experimento se dividió en i) la BIO de suelo por 100000 ppm de ARA, acorde a tabla 2, ii) la FITO del suelo mediante *S. vulgare* con *A. niger* y/o *P. chrysogenum*, de acuerdo con la tabla 3. Con un

diseño experimental de bloques al azar de seis tratamientos y seis repeticiones: el suelo sin ARA irrigado solo con agua o control absoluto (CA), suelo alimentado con una solución mineral referido como

control relativo (CR), suelo con ARA sin bioestimulación ni FITO o control negativo (CN), y el suelo con ARA, bioestimulado y fitorremediado.

**Tabla 2 Diseño experimental de la biorremediación del suelo agrícola contaminado a por 100000 ppm de aceite residual automotriz**

Suelo agrícola*	100000 ppm de ARA	Detergente al 0.5% y LC al 3%	SM al 100% y H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> al 0.05%
Control absoluto (CA)	-	-	-
Control relativo (CR)	-	-	+
Control negativo (CN)	+	-	-
Biorremediación	+	+	+

\*n = 6; agregado (+); no agregado (-). LC lombricomposta, SM solución mineral

En la primer fase, el suelo con 100000 ppm de ARA se disolvió en el detergente comercial “La Corona” al 0.5 % y una LC al 3 % por 30 días, después se bioestimuló con una SM con la siguiente composición ( $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ):  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  10.0,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  2.5,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  2.0,  $\text{MgSO}_4$  0.5,  $\text{NaCl}$  0.1,  $\text{CaCl}_2$  0.1,  $\text{FeSO}_4$  001 y 1.0 mL/L de una solución de microelementos ( $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ):  $\text{H}_3\text{BO}_3$  2.86,  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0.22,  $\text{MgCl}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

1.8, ajustado a pH 6.8<sup>19</sup>, se bioestimuló con la SM, y simultáneamente con el  $\text{H}_2\text{O}_2$  al 0.05 % por 72 h por un mes, en tanto que para facilitar el intercambio de gases la humedad se ajustó al 80 % de la capacidad de campo del suelo agrícola. La variable-respuesta de la recuperación del suelo fue el ARA detectado por Soxhlet al inicio y final de la BIO y de la FITO<sup>15</sup>.

**Tabla 3 Diseño experimental para la fitorremediación de un suelo impactado por aceite residual automotriz remanente de la bioestimulación**

<i>Sorghum vulgare</i> *	ARA	<i>A. niger</i>	<i>P. chrysogenum</i>
Irrigado con agua (control absoluto)	-	-	-
Alimentado con solución mineral (control relativo)	-	-	+
	+	+	-
Bioestimulación	+	-	+
	+	+	+

\*n = 6; agregado (+); no agregado (-), ARA aceite residual automotriz,

En la segunda fase, el suelo contaminado por 100000 ppm de ARA después de la bioestimulación se fitorremedió de acuerdo con la tabla 3 mediante la siembra de *S. vulgare* obtenido de la Secretaría de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural Pesca y Alimentación del gobierno de México. *S. vulgare* se trató con *A. niger* y/o *P. chrysogenum*, ambos hongos se aislaron de madera en descomposición por su capacidad de degradar lignina, e identificaron mole-

cularmente como las especies señaladas<sup>20</sup>, para inocularse en las semillas de *S. vulgare*. Se reprodujeron en agar hueso de aguacate con la siguiente composición ( $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ): hueso de aguacate 10, peptona caseína 5, extracto de levadura 1.3,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  0.17,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  2.61,  $\text{MgSO}_4$  1.5,  $\text{NaCl}$  0.9,  $\text{CuSO}_4$  0.05, azul de bromotimol 10 ppm, 2.5 mL solución detergente al 10% 1.0 mL solución de oligoelementos, agar 18.0 g, el pH ajustado a 5.5. Las semillas de *S.*

*vulgare* se desinfectaron con NaOCl al 0.2 %/5 min, se lavaron 6 veces con agua destilada estéril, después por cada 10 semillas de *S. vulgare* se inocularon con 1.0 mL de *A. niger* y/o *P. chrysogenum* equivalente a  $1 \times 10^6$  Unidades formadoras de propagulos (UFP)/1 mL<sup>19</sup> para sembrarse en el suelo agrícola artificialmente contaminado por ARA, 60 días después, se midió la fenología: altura de planta (AP) y longitud radical (LR), y la biomasa: peso fresco aéreo y radical (PFA/PFR) y el peso seco aéreo y radical (PSA/PSR)<sup>19</sup>. Los datos experimentales se validaron con ANOVA/Tukey HSD P<0.05 % con el programa estadístico Statgraphics Centurion<sup>21</sup>.

## Resultados

**Tabla 4 En suelo concentración de aceite residual automotriz remanente de la biorremediación por 60 días**

*Suelo agrícola contaminado artificialmente por 100000 ppm de ARA	Concentración final
Irrigado con agua o CN	90000***
**Biorremediación múltiple	37620*

\*n=6; \*\*Biorremediación: detergente al 0.5%, lombricomposta al 3%. Solución mineral al 100% y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 0.05%. \*\*\*Letras diferentes indican que son estadísticamente distintos según ANOVA/Tukey al 0.05%.

En la tabla 4, la BIO redujo el ARA desde 100000 hasta 37620 ppm de ARA en 60 días, valor numérico estadísticamente distinto en relación con los 90000 ppm del ARA en suelo sin biorremediar o CN.

En la tabla 5, se presenta la fenología de *S. vulgare* potenciada con *A. niger* y *P. chrysogenum* a los 60 días en suelo con 37620 ppm de ARA, se registraron 29.2 cm de AP, 17.0 cm de LR, ambos valores numéricos con diferencia estadística comparados con los 20.0 cm de AP y los 8.5 cm de LR de *S. vulgare* sin inocular irrigado solo con agua en suelo sin ARA referido como CA. Mientras que *S. vulgare* con *A. niger* y *P. chrysogenum* en suelo con ARA, registró 10.0 g de PFA y 5.0 g de PFR, ambos valores numéricos estadísticamente diferentes comparados con los 4.77 g de PFA y los 2.89 g de PFR de *S. vulgare* alimentada con una SM, en suelo sin ARA usado como CR. Respecto a la biomasa de *S. vulgare* con *A. niger* y *P. chrysogenum* en el suelo con ARA se registraron 2.2 g de PSA y 1.6 g de PSR, estos valores numéricos fueron estadísticamente distintos comparados con los 1.14 g de PSA y los 1.31 g de PSR de *S. vulgare* alimentado con la SM o CR.

**Tabla 5 Fenología y biomasa de *Sorghum vulgare* con *A. niger* y *P. chrysogenum* después de la fitorremediación de suelo con 37620 ppm de aceite residual automotriz, después de 60 días**

<i>Sorghum vulgare</i> *	AP (cm)	LR (cm)	PF (g)		PS (g)	
			Aéreo	Radical	Aéreo	Radical
Irrigado con agua (control absoluto)	20.0 <sup>b**</sup>	8.5 <sup>d</sup>	5.20 <sup>c</sup>	2.90 <sup>c</sup>	1.15 <sup>c</sup>	1.20 <sup>c</sup>
Alimentado con solución minera al 100% (control relativo)	25.0 <sup>a</sup>	16.0 <sup>b</sup>	4.77 <sup>c</sup>	2.89 <sup>c</sup>	1.14 <sup>c</sup>	1.31 <sup>b</sup>
con <i>Aspergillus niger</i>	18.0 <sup>c</sup>	14.0 <sup>bc</sup>	7.27 <sup>b</sup>	3.71 <sup>b</sup>	1.84 <sup>a</sup>	1.28 <sup>b</sup>
con <i>Penicillium chrysogenum</i>	22.0 <sup>b</sup>	15.0 <sup>b</sup>	8.93 <sup>ab</sup>	5.73 <sup>a</sup>	1.50 <sup>b</sup>	0.99 <sup>d</sup>
con <i>A. niger</i> y <i>P. chrysogenum</i>	29.2 <sup>a</sup>	17.0 <sup>a</sup>	10.0 <sup>a</sup>	5.0 <sup>a</sup>	2.2 <sup>a</sup>	1.60 <sup>a</sup>

\*n=6. \*\*Letras distintas señalan diferencia estadística según ANOVA/Tukey al 0.05%. AP altura de planta, LR longitud radical, PF peso fresco, PS peso seco

En la tabla 6, se muestra en el suelo el decremento del ARA desde 37620 ppm hasta 3400 ppm por la actividad de *S. vulgare* con *A. niger* y *P. chrysogenum*.

Este último valor fue estadísticamente diferente comparado con los 80000 ppm de ARA del suelo sin biorremediar y fitorremediar usado como CN.

**Tabla 6 En el suelo concentración de aceite residual automotriz posterior a la fitorremediación con *Sorghum vulgare* potenciado con *Aspergillus niger* y *Penicillium chrysogenum* a los 120 días**

*Suelo agrícola contaminado por ARA	ARA <sup>+</sup> (ppm)	
	Inicial	Final
Suelo sin fitorremediación o control negativo	100000 <sup>a***</sup>	80000 <sup>b</sup>
Suelo fitorremediado, <i>S. vulgare</i> + <i>A. niger</i> + <i>P. chrysogenum</i>	37620 <sup>a</sup>	3400 <sup>b</sup>

\*n=6; \*\*Letras diferentes son estadísticamente distintas al 0.05% según Tukey, <sup>+</sup> ARA aceite residual automotriz

## Discusión

En la tabla 4, el suelo agrícola con 100000 ppm de ARA, comenzó la BIO con el detergente, que lo solubilizó, para facilitar que los microorganismos aerobios heterotróficos nativos realicen una reducción parcial de la concentración<sup>4,5,7,8</sup>, mientras que la BIO con la LC al enriquecer el suelo con urea permitió el equilibrio de la relación C: N, para que los microorganismos del nativos pudieran oxidar parcialmente el ARA<sup>22,23</sup>, de la misma forma que la SM con sales NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> aceleraron la mineralización del ARA<sup>24,25</sup>, simultáneamente la BIO con el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> suplió la demanda O<sub>2</sub> para optimizar la oxidación del ARA<sup>14,26</sup> por ello se controló la capacidad de campo del suelo al 80 %, que permitió el intercambio de gases y el decremento de la concentración del ARA<sup>17,27</sup> a un nivel suficiente para la siembra de *S. vulgare* inoculado con *A. niger* y *P. chrysogenum*, en la ruta para la recuperación del suelo de acuerdo con la NOM-138.

En comparación con el suelo con 100000 ppm de ARA, usado como CN, en el cual la atenuación natural fue insuficiente para eliminarlo, por el exceso de C del ARA que formó una película hidrofóbica del ARA e impidió el intercambio de gases como el O<sub>2</sub> mientras que la pobreza de minerales indispensables en la oxidación del ARA evitó que esa concentración se redujera<sup>25,26,28</sup>.

En la tabla 5, se presenta la fenología y biomasa del *S. vulgare* con *A. niger* y *P. chrysogenum*, sembrado en el suelo cuando la concentración del ARA se

disminuyó hasta 37620 ppm. En donde indirectamente se registró un decremento del ARA por el sano crecimiento de *S. vulgare* en parte porque es naturalmente tolerante al estrés fitotóxico del ARA, y por el efecto positivo de *A. niger* y *P. chrysogenum* en la rizósfera de la planta, donde estos hongos pueden generar sustancias promotoras de crecimiento vegetal<sup>25,29</sup>, para mejorar la capacidad de absorción de mineral de la raíz y disminuir la concentración del ARA que lleva a la recuperación de la salud del suelo y permitir que se use en la producción agrícola<sup>10</sup>, en evidente contraste con *S. vulgare* sin inocular con *A. niger* y *P. chrysogenum* sembrado en suelo contaminado por 86000 ppm de ARA sin biorremediar, donde la relativa alta concentración provocó la inhibición del sano crecimiento de *S. vulgare*<sup>11</sup>.

En la tabla 6, se muestra la concentración del ARA suelo impactado por 37620 ppm de ARA remanente de la BIO, luego mediante la FITO con *S. vulgare* potenciado con *A. niger* y *P. chrysogenum* que estimularon el sano crecimiento de las raíces, sugiere la conversión de los exudados radicales en fitohormonas<sup>11,17,30</sup>, que aumentaron la cantidad de los pelos radiculares, para ampliar el área de exploración y absorción mineral, y con ello aumentaron la tolerancia de *S. vulgaris* al ARA<sup>10</sup>. Además de que existe la evidencia de que tanto *A. niger* como *P. chrysogenum* tienen la capacidad de degradar aromáticos del ARA<sup>12,14,20,31</sup>, y facilitaron la eliminación del ARA hasta una concentración de 3400 ppm, valor inferior al máximo establecido por la

NOM-138, con lo que se logró la recuperación del suelo para su reutilización en la producción agrícola.

## Fuente de financiamiento

Proyecto 2.7 (2020) de la Coordinación de la Investigación Científica – UMSNH. BIONUTRA, S.A. de C.V. Maravatío, Michoacán, México.

## Conflictos de intereses

Los autores de este trabajo aseguramos que no existe conflicto de interés en la planeación, ejecución y redacción, en términos científicos, técnicos o de otra índole relacionada con este artículo.

## Agradecimientos

Al proyecto 2.7 (2020) de la Coordinación de la Investigación Científica-UMSNH. A BIONUTRA, S.A. de C.V. Maravatío, Michoacán, México.

## Aspectos éticos

La aprobación de la investigación por el Comité de Ética, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo - México, siguió las pautas establecidas para este comité.

## Literatura citada

1. Wu M, Dick WA, Li W, Wang X, Yang Q, Wang T, et al. Bioaugmentation and biostimulation of hydrocarbon degradation and the microbial community in a petroleum-contaminated soil. Int Biodegradation 2016;107:158-64. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.11.019>
2. Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente [en linea]. México: Cámara de Diputados H. Congreso de la Unión; 2017 [Acceso 20 de May 2018]. Disponible en: [http://www.diputados.gob.mx/Leyes\\_Biblio/pdf/1\\_48\\_240117.pdf](http://www.diputados.gob.mx/Leyes_Biblio/pdf/1_48_240117.pdf)
3. Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMAR NAT/SSA1-2012, Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y lineamientos para el muestreo en la caracterización y especificaciones para la remediación. DOF Secretaría de Gobernación [en línea]. 2013. [Acceso 20 de May 2018]. Disponible en: [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5313544&fecha=10/09/2013](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5313544&fecha=10/09/2013)
4. Thapa B, KC A, Ghimire A. A review on bioremediation of petroleum hydrocarbon contaminants in soil. Journal of Science, Engineering and Technology 2012;8(1):164-70. DOI: <https://doi.org/10.3126/kuset.v8i1.6056>
5. Shahi A, Aydin S, Ince B, Ince O. Evaluation of microbial population and functional genes during the bioremediation of petroleum-contaminated soil as an effective monitoring approach. Ecotoxicol Environ Saf 2016;125:153-60. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.11.029>
6. Rivera Ortiz P, Rivera Lárraga JE, Andrade Límas EDC, Heyer Rodríguez L, De la Garza Requena FR, Castro Meza BI. Bioestimulación y biorremediación de recortes de perforación contaminados con hidrocarburos. Rev Int Contam Ambie 2018;34(2):249-62. DOI: <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.02.06>
7. Torri SI, Cabrera MN, Alberti C. Respiración potencial durante la bioestimulación de un suelo contaminado con hidrocarburos aromáticos políclicos. Rev Int Contam Ambient 2018;34(1):

- 127-36. DOI: <https://doi.org/10.20937/rica.2018.34.01.11>
8. Reyes Reyes MA, Puentes Cala EA, Casanova Montes EL, López Deluque F, Panqueva Alvarez JH, Castillo Villamizar GA. Inmovilización de bacterias potencialmente degradadoras de petróleo crudo en matrices orgánicas naturales y sintéticas. Rev Int Contam Ambie 2018;34(4):597-609. DOI: <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.04.04>
9. Guevara Espinosa MaD, Cruz Miranda N, Rivera Morales C, Fuentes Ortiz AK. Phytoremediation of soils contaminated with Mn and Cu from *Ocimum basilicum*. Rev Latinoam Ambient Cienc [Internet]. 2018 [citado 5 de octubre de 2019];9(22): 76-89. Recuperado a partir de: [http://cmas.siu.buap.mx/portal\\_pprd/work/sites/rlac/resources/LocalContent/109/1/9\(22\)-6.pdf](http://cmas.siu.buap.mx/portal_pprd/work/sites/rlac/resources/LocalContent/109/1/9(22)-6.pdf)
10. Leitão AL, Enguita FJ. Gibberellins in *Penicillium* strains: challenges for endophyte-plant host interactions under salinity stress. Microbiol Res 2016;183:8-18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.11.004>
11. Solyman SN, Abdel Monem M, Abou Taleb K, Osman HS, El-Sharkawy RM. Production of plant growth regulators by some fungi isolated under salt stress. SAJRM 2019;3(1):1-10. DOI: <https://doi.org/10.9734/sajrm/2019/v3i130076>
12. Bilal L, Asaf S, Hamayun M, Gul H, Iqbal A, Ullah I, et al. Plant growth promoting endophytic fungi *Aspergillus fumigatus* TS1 and *Fusarium proliferatum* BRL1 produce gibberellins and regulates plant endogenous hormones. Symbiosis 2018;76(2):117-27. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13199-018-0545-4>
13. García González MM, Farías Rodríguez R, Peña Cabriales JJ, Sánchez-Yáñez JM. Inoculación del trigo var. Pavón con *Azospirillum* spp. y *Azoto-*  
*bacter beijerinckii*. Terra Latinoam 2005;23(1): 65-72.
14. Contreras H, Carreño C. Eficiencia de la biodegradación de hidrocarburos de petróleo por hongos filamentosos aislados de suelo contaminado. Rev de Investig Agroproducción Sustentable 2018;1(1):27-33. DOI: <https://doi.org/10.25127/ucni.vlil.269>
15. Hernández Valencia I, Mager D. Uso de *Panicum maximum* y *Brachiaria brizantha* para fitorremediar suelos contaminados con un crudo de petróleo liviano. Bioagro 2003;15(3):149-56.
16. Delgadillo López AE, González Ramírez CA, Prieto García F, Villagómez-Ibarra JR, Acevedo Sandoval O. Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. Trop Subtrop Agroecosyst 2011;14(2):597-612.
17. Ite AE, Ibok UJ. Role of plants and microbes in bioremediation of petroleum hydrocarbons contaminated soils. Int J Environ Bioremediat Biodegrad 2019;7(1):1-19. DOI: <https://doi.org/10.12691/ijebb-7-1-1>
18. Norma oficial mexicana NOM-021-SEMARNAT -2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. México. DOF Secretaría de Gobernación [en línea]. 2013. [Acceso 20 de May 2019]. Disponible en: [http://diariooficial.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=717582&fecha=31/12/2002](http://diariooficial.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=717582&fecha=31/12/2002)
19. Sánchez-Yáñez J. Breve Tratado de Microbiología Agrícola, teoría y práctica, Ed. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Centro de Investigaciones y Desarrollo del Estado de Michoacán. SEDAGRO COSUSTENTA, SA de CV, Morelia, Michoacan, México; 2007:p. 118-9.
20. Baltierra Trejo E, Marquez Benavides L, Sanchez-Yáñez JM. Inconsistencies and ambiguities in calculating enzyme activity: The case of lacca

- se. J Microbiol Methods 2015;119:126-31. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2015.10.007>
21. Walpole ER, Myers RH, Myers SL. Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias [Internet]. Naucalpan de Juárez; 2007. Recuperado a partir de: <http://librosenpdf.org/libro-pdf-probabilidad-y-estadistica/>
22. Riojas González HH, Gortáres Moroyoqui P, Mondaca Fernández I, Balderas Cortes JJ. Influencia de los surfactantes en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburo. Bistua 2016;7(1):94-115. DOI: <https://doi.org/10.18359/rfcb.2066>
23. Ramos Oseguera CA, Castro Ramírez AE, León Martínez NS, Álvarez Solís JD, Huerta Lwanga E. Lombricomposta para recuperar la fertilidad de suelo franco arenoso y el rendimiento de cacahuate (*Arachis hypogaea* L.). Terra Latinoam 2019;37(1):45-55. DOI: <https://doi.org/10.28940/tl.v37i1.331>
24. Jiménez Hernández V, Guerra Sánchez R. Obtención de un medio enriquecido para hacer más eficiente la biodisponibilidad de los hidrocarburos intemperizados en un suelo costero. Rev Int Contam Ambient 2016;32(4):413-24. DOI: <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.04.05>
25. Alvaro CES, Arocena LA, Martínez MÁ, Nudelman NES. Biodegradación aerobia de fracciones de hidrocarburos provenientes de la actividad petrolera en un suelo de la región Patagonia Norte, Argentina. Rev Int Contam Ambie 2017;33(2):247-57. DOI: <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.02.06>
26. Velásquez Arias JA. Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. Rev Investig Agrar Am-
- bient 2017;8(1):151-67. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.1846>
27. Mohsenzadeh F, Chehregani Rad AC, Akbari M. Evaluation of oil removal efficiency and enzymatic activity in some fungal strains for bioremediation of petroleum-polluted soils. Iranian J Environ Health 2012;9(1):26. DOI: <https://doi.org/10.1186/1735-2746-9-26>
28. Barrios Ziolo LF, Robayo Gómez J, Prieto Cadavid S, Cardona Gallo SA. Biorremediación de suelos contaminados con aceites usados de motor. Revista Cintex 2015;20(1):69-96.
29. Effendi AJ, Kamath R, McMillen S, Sihota N, Zuo E, Sra K, et al. Strategies for Enhancing Bio-remediation for Hydrocarbon-Impacted Soils. In: Society of Petroleum Engineers International. Asia Pacific Health, Safety, Security, Environment and Social Responsibility Conference. Society of Petroleum Engineers 2017 [Internet]. Society of Petroleum Engineers. DOI: <https://doi.org/10.1109/ITME.2015.163>
30. Leitão AL. Potential of *Penicillium* species in the bioremediation field. Int J Environ Res Public Health 2009;6(4):1393-417. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph6041393>
31. Chaudhary S, Shankar A, Singh A, Prasad V. Usefulness of *Penicillium* in enhancing plants resistance to abiotic stresses: An overview. In: Chaudhary S, Shankar A, Singh A, Prasad V, editors. New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering. Elsevier; 2018. p. 277-84. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63501-3.00017-X>

**Nota del Editor:**

*Journal of the Selva Andina Research Society (JSARS)* se mantiene neutral con respecto a los reclamos jurisdiccionales publicados en mapas y afiliaciones institucionales