

Jonatan Torres Pérez
(Coordinador)

UACJ



*Ciencia en la frontera:
revista de ciencia y tecnología
de la Universidad Autónoma
de Ciudad Juárez*

DIRECTORIO

Ricardo Duarte Jáquez
Rector

David Ramírez Perea
Secretario General

Manuel Loera de la Rosa
Secretario Académico

Luis Enrique Gutiérrez Casas
*Coordinador General de
Investigación y Posgrado*

Daniel Constandse Cortez
Director del ICB

Alejandro Martínez Martínez
Jefe del Departamento de Ciencias Químico Biológicas

Ramón Chavira Chavira
*Director General de Difusión
Cultural y Divulgación Científica*

CONSEJO EDITORIAL

Jorge Alberto Pérez León
Coordinador Editorial-Universidad Autónoma
de Ciudad Juárez

Gustavo Pedraza Aboytes
Universidad Autónoma de Querétaro

Jonatan Torres Pérez
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Macario Morales Rodríguez
Universidad Autónoma del Estado de México

Sergio H. Pavón Romero
Universidad Autónoma del Estado de México

Zayre Ivonne González Acevedo
Centro de Investigaciones Científicas y de Estudios
Superiores de Ensenada

J. Eleazar Arreygue Rocha
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Miriam Jeniffer Jiménez Cedillo
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares

Edith Erielia Gutiérrez Segura
Universidad Autónoma del Estado de México

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS QUÍMICO BIOLÓGICAS,
INSTITUTO DE CIENCIAS BIOMÉDICAS**

Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ / Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Coordinación General de Investigación y Posgrado. Vol. 12. (2014). Ciudad Juárez, Chih.: UACJ, 2014. v.; 21 cm. Seriado.

Apoyado con Recursos PIFI

Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ Vol. XII, núm. 2, 2014, es una publicación semestral editada por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, a través del Instituto de Ciencias Biomédicas y de la Coordinación General de Investigación y Posgrado del ICB y el Departamento de Ciencias Básicas. Editor responsable: Jorge Alberto Pérez León. Reserva al uso exclusivo otorgada por INDAUTOR Núm. 04-2013-03221300-5400-102 y el ISSN 2007-042X. Copyright © UACJ. Esta obra se terminó de imprimir en agosto de 2014 en los talleres de la Imprenta Universitaria, Edificio R, Campus ICB, Av. Hermanos Escobar y Av. Plutarco Elías Calles. C.P. 32310. Ciudad Juárez, Chihuahua, México. Tiraje: 100 ejemplares.

Los manuscritos propuestos para publicación en esta revista deberán ser inéditos y no haber sido sometidos a consideración a otras revistas simultáneamente. Al enviar los manuscritos y ser aceptados para su publicación, los autores aceptan que todos los derechos se transfieren a *Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ*, quien se reserva los de reproducción y distribución, ya sean fotográficos, en micropelícula, electrónicos o cualquier otro medio, y no podrán ser utilizados sin permiso por escrito de *Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ*; véase, además, notas para autores.

Permisos para otros usos: el propietario de los derechos no permite utilizar copias para distribución en general, promociones, la creación de nuevos trabajos o reventa.

CONTENIDO

Bioestimulación de un suelo contaminado con hidrocarburos en presencia de maíz y sorgo

Aracely Maldonado-Torres

Francisco Rafael de la Garza-Requena

Florencio Briones-Encinia

Pablo Emmanuel Ochoa-Sandoval

Patricio Rivera-Ortiz9

Producción de enzimas hidrolíticas por cepas nativas de *Aspergillus* spp. mediante la fermentación en sustrato sólido utilizando residuos agroindustriales

María Esther Martínez Terán

Luis J. Galán Wong

Carlos Solís Rojas

Katiushka Arévalo Niño15

Diagnóstico de la calidad de suelo utilizando información satelital en Teziutlán, Puebla, México

Edgardo Torres Trejo

Gladys Linares Fleites

María Guadalupe Tenorio Arvide

Rosalía del Carmen Castelán Vega

María de Lourdes Sandoval Solís

Ricardo Darío Peña Moreno

América Libertad Rodríguez Herrera27

Evaluación de toxicidad de suelos contaminados del estado de Guanajuato, a través de bioensayos con *Eisenia* spp.

H. I. Arrieta-Oliva

G. Espinosa-Reyes

R. Loredó-Portales

G. Cruz-Jiménez

R. Costilla-Salazar

D. O. Rocha-Amador37

Tecnología novel para tratamiento de aguas residuales con filtros orgánicos

Juan Manuel Viguera-Cortés

Dora María Clara Aguilar Reyes

Marco Antonio Garzón Zúñiga

Luis Armando de la Peña Arellano37

ABSTRACTS

Biostimulation of a contaminated soil with hydrocarbons in presence of maize and sorghum*Aracely Maldonado-Torres**Francisco Rafael de la Garza-Requena**Florencio Briones-Encinia**Pablo Emmanuel Ochoa-Sandoval**Patricio Rivera-Ortiz*9

A laboratory experiment was performed with the aim to determine the biostimulation of a contaminated soil with waste motor oil through the application of nutrients, in the presence of *Zea mays* and *Sorghum bicolor*, this was performed through the evaluation of CO₂ production as indicator to microbial activity. For them we applied a factorial arrangement of 2 * 2 * 2 in a completely randomized design, in which the factors correspond to the plant species (*Zea mays* and *Sorghum bicolor*), and doses of hydrocarbon and nutrients. CO₂ production was higher in the hydrocarbon and nutrient treatments, indicating the presence of hydrocarbons degrading microorganisms which were stimulated by the addition of nutrients in the soil, helping at the soil biostimulation.

Hydrolytic enzyme production by local isolate *Aspergillus* spp. under solid state fermentation using agroindustrial wastes*María Esther Martínez Terán**Luis J. Galán Wong**Carlos Solís Rojas**Katiushka Arévalo Niño*15

In this study, the extracellular enzymes production of amylase, CMCase and xylanase of six local isolated strains of *Aspergillus* spp. on a solid state fermentation (SSF), using as substrate wheat bran and brewer's spent grain, was evaluated. Enzymatic determinations were performed at 5 and 10 day. *Aspergillus* sp. 271 strain showed high yield of amylase (74.3 U/g), CMCase (33.0 U/g) and xylanase (173.9 U/g) in wheat bran on solid state fermentation. The brewer's spent grain proved to be a substrate which favors the production of xylanase with activities ranging from 37.9 to 476.2 U/g. The FSS is an efficient and economical system for the production of hydrolytic enzymes without the need to use expensive equipment.

Diagnosis of soil quality using satellite information in Teziutlán, Puebla, Mexico*Edgardo Torres Trejo**Gladys Linares Fleites**María Guadalupe Tenorio Arvide**Rosalía del Carmen Castelán Vega**María de Lourdes Sandoval Solís**Ricardo Darío Peña Moreno**América Libertad Rodríguez Herrera*.....27

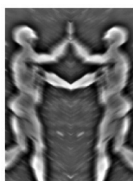
The quality of soil is an extremely important problem for environmental functions that the soil offers, among which are: sustain plant and animal productivity, maintain or improve the quality of air and water, and support human health and habitat. In this context we are devising new research methodologies and new tools are being used to search for information. Remote sensing tools are useful in studies of large-scale ecosystems, allowing information biophysical conditions more effectively than traditional *in situ* measurements. The aim of this paper is to estimate an index of vegetation from remote sensing in two periods (November 1994 and December 2005) and relate to the quality of soil in the Teziutlán, Puebla, Mexico. This objective was achieved with obtaining a logistic regression equation to diagnose soil quality (dynamic quality and inherent quality) from the number of pixels generated by the vegetation index NDVI, calculated from satellite images of the year mentioned above. The results support the continued deterioration in the study area, due in most part to antropogénicas activities and highlights the importance of knowing the quality of soil, because it influences various environmental conditions, being able to take steps that would result directly in the improving the quality of life of the locals.

Toxicity assessment of contaminated soil from Guanajuato, Mexico, using a bioassay with *Eisenia spp.**H. I. Arrieta-Oliva**G. Espinosa-Reyes**R. Loredó-Portales**G. Cruz-Jiménez**R. Costilla-Salazar**D. O. Rocha-Amador*37

Nowadays, anthropogenic activities as mining have developed environmental problems such accumulation of mining wastes with high concentrations of Potentially Toxic Elements (PTES) as lead (Pb) and Arsenic (As). Currently, the integral assessment of a contaminated site takes three components: Environmental matrix, human population and local biota. The present study makes use of a bioassay named Acute Avoidance Test with the worm species *Eisenia fetida* to assess the soil toxicity from a site with high levels of Pb and As. Complementary, the genotoxic damage by exposure to these metals was assessed. The results show that 80% of worms moved from the contaminated soil to the reference soil and those worms exposed to contaminated soil have shown genetic damage in DNA ($p=0.016$).

Novel technology for wastewater treatment with organic biofilters*Juan Manuel Viguera-Cortés**Dora María Clara Aguilar Reyes**Marco Antonio Garzón Zúñiga**Luis Armando de la Peña Arellano*37

Three laboratory-scale biofiltration reactors were used in two series with a hydraulic loading rate of $0.96 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ and an aeration rate of $0.62 \text{ m}^3/\text{m}^2$, during 180 days of continuous operation. One series was ran with air and a second without air during the municipal wastewater treatment. Agave fiber was used as a filter material in the biofilter column. Both series had insertion divisions of 4, 8, and 12 along the column to avoid compaction and pressure drop. Data analysis was performed using experimental design completely randomized 2×3 factorial. Showing that BFs are efficient in removing BOD_5 , TSS and HE except fecal coliform. These need a chemical disinfection to improve effluent quality. The insertion divisions avoided hydraulic pressure drop. Effluent from the BFs 3 and 4 met the national and international standards for irrigation, prior disinfection. The agave fiber is a promising filter material with a wide availability that can be used in the biofiltration process.



ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Bioestimulación de un suelo contaminado con hidrocarburos en presencia de maíz y sorgo

Aracely Maldonado-Torres,^{1*} Francisco Rafael de la Garza-Requena,¹ Florencio Briones-Encinia,¹
Pablo Emmanuel Ochoa-Sandoval,¹ Patricio Rivera-Ortiz.¹

RESUMEN

Se realizó un experimento en laboratorio para evaluar la bioestimulación de un suelo contaminado con aceite residual automotriz mediante la aplicación de nutrimentos, en presencia de *Zea mays* y *Sorghum bicolor*, esto se efectuó a través de la evaluación de la producción de CO₂ como indicador de la actividad microbiana. Para ello se aplicó un arreglo factorial de 2*2*2 en un diseño completamente al azar en la que los factores corresponden a la especie vegetal (*Zea mays* y *Sorghum bicolor*), dosis de nutrimentos y de hidrocarburo. La producción de CO₂ fue más alta en los tratamientos con hidrocarburo y nutrimentos, lo que indica la presencia de microorganismos degradadores de hidrocarburo que se vieron estimulados por la adición de nutrimentos en el suelo, favoreciendo de esta forma la bioestimulación del suelo.

Palabras clave: Respirimetría, hidrocarburos, bioestimulación.

INTRODUCCIÓN

En México se generan cada año 316 millones de litros de aceite automotriz usado, los cuales al no disponerse adecuadamente ocasionan la afectación del recurso suelo; entre las tecnologías usadas para la recuperación de suelos contaminados con hidrocarburos se encuentra la biorremediación consistente en el uso de microorganismos, bacterias, hongos y plantas para la disminución efectiva de los contaminantes (Alexander, 1994; Adams *et al.*, 2008).

En el caso de los hidrocarburos, el proceso de biodegradación es llevado a cabo, en su mayoría, por bacterias y otros microorganismos nativos capaces de utilizar el carbono del hidrocarburo como fuente de nutrimentos (Vásquez *et al.*, 2010). En suelos contaminados con estas sustancias, se produce un desequilibrio entre el carbono, el nitrógeno y el fósforo, debido al aumento de carbono en el suelo, por lo que la degradación del contaminante se ve limitada (García *et al.*, 2011).

* Autor de correspondencia: M.C. Aracely Maldonado Torres, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Centro Universitario Adolfo López Mateos, CP 87149, Ciudad Victoria Tamaulipas, aracelymaldonado_85@hotmail.com

¹ División de Estudios de Posgrado e Investigación, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Centro Universitario Adolfo López Mateos, CP 87149, Ciudad Victoria, Tamaulipas.

Por tal motivo, es necesaria la aplicación de tecnologías de remediación como la bioestimulación consistentes en el uso de fertilizantes inorgánicos y/o especies vegetales que generen exudados radicales que brinden compuestos nitrogenados y fosforados a los microorganismos del suelo capaces de degradar hidrocarburos. La presencia y actividad de estos microorganismos puede ser evaluada a través de la tasa de respiración edáfica (mg de CO₂/kg de suelo). (García y Hernández, 2004; Castro-Mancilla, 2012).

La respiración edáfica permite evaluar la dinámica de su biota y, por lo tanto, de los procesos metabólicos que en él se desarrollan, como la mineralización y humificación de la materia orgánica, lo que incide sobre otros procesos en los que se incluyen elementos como el C, N, P y S (García y Hernández, 2004). Estos procesos pueden variar en función de factores biofísicos y climáticos del suelo y del uso de la tierra, por lo que su medición es un indicador de la biomasa microbiana presente (Corona-Ramírez e Iturbe-Argüelles, 2005).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la actividad de microorganismos degradadores de hidrocarburos en suelos contaminados con aceite residual automotriz, sometidos al proceso de fitorremediación con maíz (*Zea mays L.* y *Sorghum bicolor*), evaluando la generación de CO₂, subproducto de la degradación de los hidrocarburos.

METODOLOGÍA

Localización del experimento

Esta investigación se estableció bajo condiciones de laboratorio en la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas.

Materiales y equipo

a) Suelo

Se empleó suelo agrícola procedente de la Posta Zootécnica de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la UAT, procedente del Municipio de Güemez, Tamaulipas.

b) Hidrocarburo y nutrimentos

Se utilizó aceite residual automotriz como hidrocarburo de fracción pesada y se empleó urea como fuente de nitrógeno y KH₂PO₄ como fuente de fósforo.

Establecimiento del experimento

a) Tratamientos

Se aplicó un arreglo factorial de 2*2*2, en el cual el primer factor corresponde a la especie vegetal (*Zea mays* o *Sorghum bicolor*), el segundo factor a la concentración de hidrocarburo (0 y 5 %) y el tercer factor corresponde a la aplicación de nutrimentos (con y sin N-P), para ello se aplicaron las dosis de C:N:P en 100:10:1 y 100:0:0.

b) Metodología

Se manejaron 64 unidades experimentales consistentes en macetas de polivinilo y se llenaron con 2 kg de suelo, se añadió el hidrocarburo y los nutrimentos en los tratamientos que así lo requerían y se mezcló homogéneamente. Se sembraron cinco semillas por maceta y se llevó el suelo al 60% de la capacidad de campo, ésta se mantuvo constante a lo largo del experimento.

c) Producción de CO₂

Se midió la producción de CO₂ como indicador de la actividad microbiana los días 1, 10, 20 y 30, para ello se tomó una muestra de suelo que se mezcló homogéneamente y pesaron 30 gramos, los cuales fueron colocados en frascos ámbar de 275 mL, que fueron tapados herméticamente y se dejaron reposar durante 24 horas, se hicieron tres repeticiones por tratamiento. Transcurridas las 24 horas, se realizó la medición de CO₂ mediante el uso de un respirómetro modelo Dansensor pbi.

e) Análisis de los datos

Se realizó un análisis de varianza correspondiente a un arreglo factorial 2*2*2, en un diseño al azar y se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey al 0.05 de significancia, el análisis fue hecho con el procedimiento glm del paquete de SAS 9.1.3 (2003).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontró interacción entre los factores especie, hidrocarburo y nutrientes ($P < 0.05$), por lo que se hizo un análisis de tratamientos resultantes de las combinaciones de éstos.

La mayor producción de CO_2 se observó en la combinación de maíz en suelo con nutrientes y contaminado con hidrocarburo, el cual obtuvo un valor promedio de $820.8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, en figura 1 puede verse la producción de CO_2 de esta combinación durante el periodo experimental. Esto indica que la presencia de nutrientes estimula el crecimiento microbiano, este mismo comportamiento se descubrió al usar fertilizantes y sales inorgánicas en suelos contaminados con lodos aceitosos (Tejero *et al.*, 2007; García *et al.*, 2011).

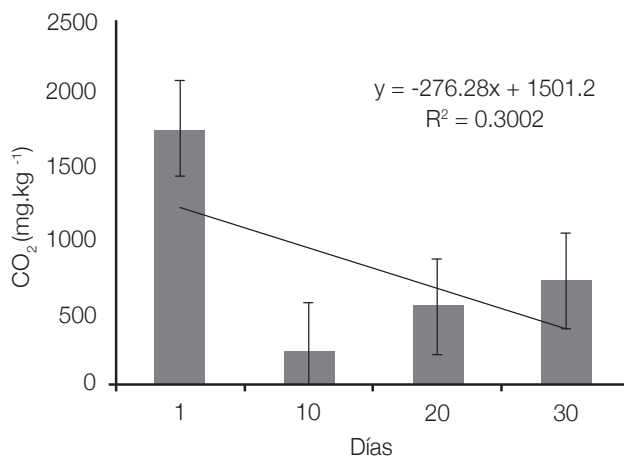


Figura 1. Producción de CO_2 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) para la combinación de suelo contaminado con hidrocarburo, nutrientes y *Zea mays*.

En la figura 2 se muestran las tendencias de las producciones de CO_2 , de las combinaciones de suelo con hidrocarburo y vegetales que obtuvieron valores promedio de respiración edáfica de 756.9 y $709.1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ para maíz y sorgo, respectivamente. Para estas mezclas se observa un aumento considerable de la producción de CO_2 durante los días 10 y 20 para ambos tratamientos, volviendo a disminuir al día 30. Esto puede explicarse como un incremento en las poblaciones de bacterias degra-

dadoras de hidrocarburos (Romaniuk *et al.*, 2007), debido a la adición del contaminante, su utilización como fuente de carbono y su posterior equilibrio.

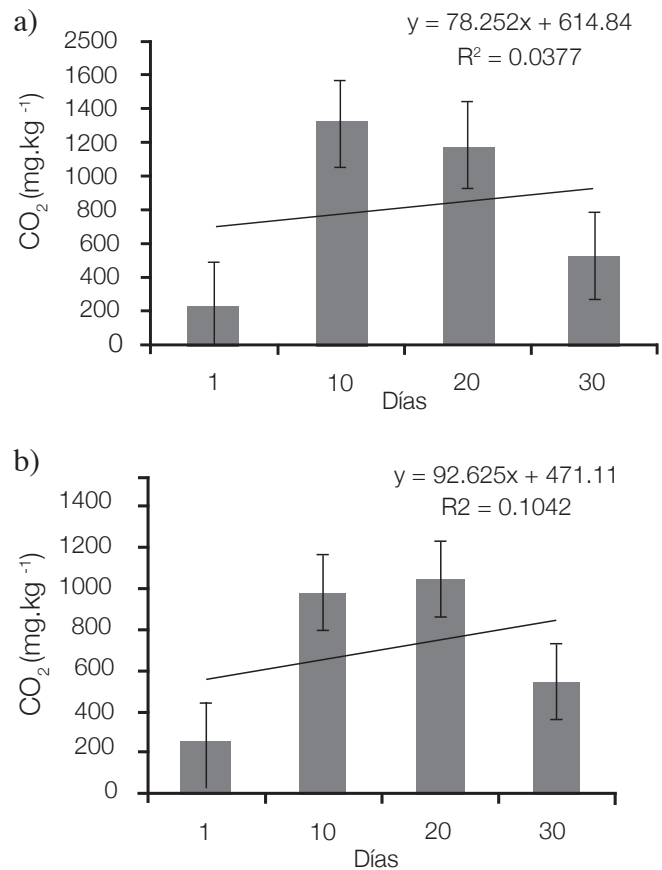


Figura 2. Producción de CO_2 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) para la combinación de suelo contaminado con hidrocarburo más a) *Zea mays* y b) *Sorghum bicolor*.

El tratamiento de sorgo con hidrocarburo y nutrientes dio una producción de CO_2 de $667 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, menor a la combinación de estos factores con la especie *Zea mays*, la tendencia se puede observar en la figura 3.

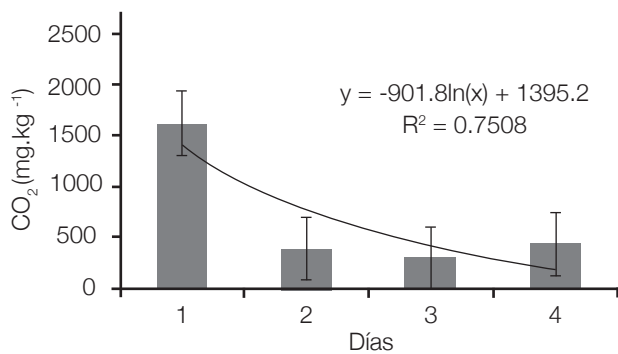


Figura 3. Producción de CO₂ (mg.kg⁻¹) en suelo con hidrocarburo, nutrientes y *Sorghum bicolor*.

Los tratamientos de suelo con nutrientes ofrecieron valores de 290.6 y 293.8 mg.kg⁻¹ para *Zea mays* y *Sorghum bicolor*, en la figura 4 se muestra la tendencia de la producción de CO₂. Para ambas especies, la producción de éste aumentó en gran proporción hacia los días 20 y 30 como respuesta a la bioestimulación inducida.

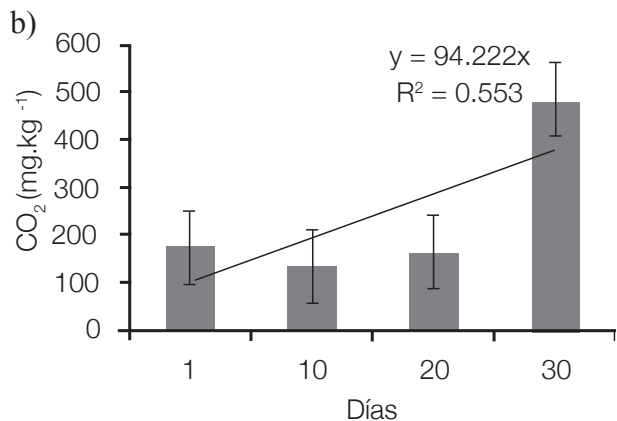
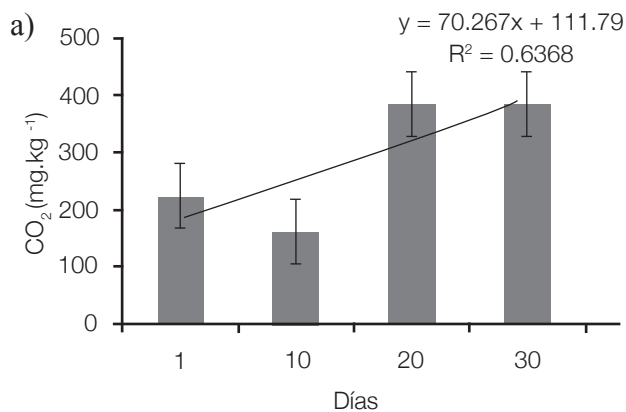


Figura 4. Producción de CO₂ (mg.kg⁻¹) para los testigos de a) *Zea mays* y b) *Sorghum bicolor*.

Finalmente, la producción de CO₂ más baja ocurrió en los testigos de ambas especies, como se puede ver en la figura 5, para las que se obtuvieron valores promedio de 172 y 185 mg.kg⁻¹ para sorgo y maíz. Esta producción de CO₂ se debe a la presencia de los vegetales ensayados, ya que la masa microbiana existente en los suelos agrícolas empleados no se ve estimulada por una fuente externa de carbono.

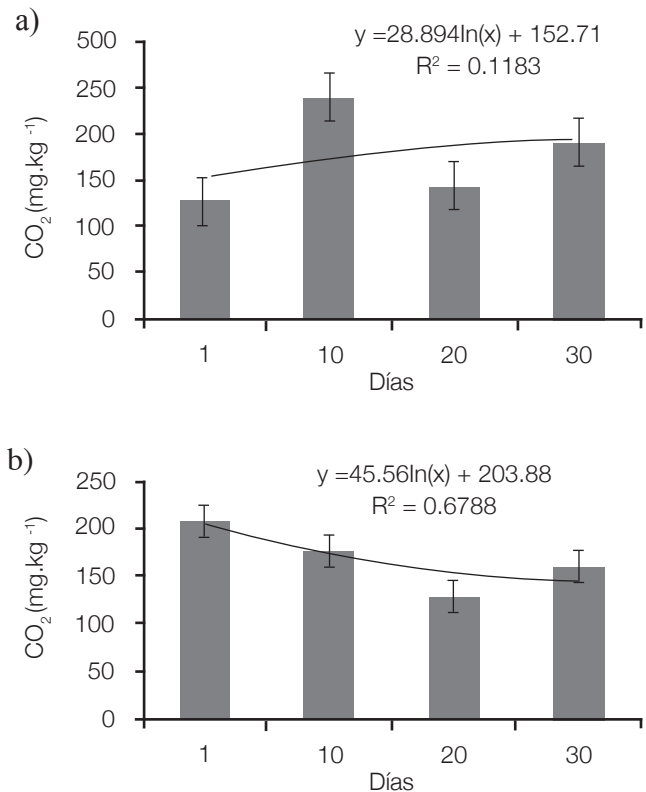


Figura 5. Producción de CO₂ (mg.kg⁻¹) para los testigos de a) *Zea mays* y b) *Sorghum bicolor*

CONCLUSIONES

La producción de CO₂ es favorecida en los tratamientos con aceite residual automotriz y adición de nutrientes, lo que indica la existencia de microorganismos degradadores de petróleo que son estimulados por esta última. La adición de los fertilizantes nitrogenados y fosforados tuvo un efecto estimulante en la actividad microbiana de los suelos con-

taminados con aceite residual automotriz, tal como se aprecia en las determinaciones de CO₂.

Por otro lado, la bioestimulación de los suelos contaminados con hidrocarburos producida por los vegetales fue lenta, se manifestó hasta los 10 días, y de menor intensidad. La presencia de hidrocarburos aumentó la actividad microbiana, lo que indica que en esos suelos existen microorganismos capaces de usar a los hidrocarburos como nutrimento.

AGRADECIMIENTOS

La autora principal agradece al CONACYT por la beca de maestría 424753.

BIBLIOGRAFÍA

- ALEXANDER, M. (1994). *BIODEGRADATION AND BIOREMEDIATION*. ACADEMIC PRESS. USA.
- ADAMS, R. H., J. ZAVALA-CRUZ Y F. MORALES-GARCÍA (2008). “CONCENTRACIÓN RESIDUAL DE HIDROCARBUROS EN EL SUELO DEL TRÓPICO II: AFECTACIÓN A LA FERTILIDAD Y SU RECUPERACIÓN”. *INTERCIENCIA*, 33: 483-489.
- CASTRO-MANCILLA, Y. V. (2012). TESIS DE MAESTRÍA “VARIACIÓN DE POBLACIONES MICROBIANAS DE SUELO CONTAMINADO CON HIDROCARBUROS.” FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS, UAT. MÉXICO.
- CORONA-RAMÍREZ, L. Y R. ITURBE (2005). “ATENUACIÓN NATURAL EN SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS.” *INGENIERÍA, INVESTIGACIÓN Y TECNOLOGÍA*, 6 (2): 119-126.
- GARCÍA, E., F. ROLDÁN Y L. GARZÓN (2011). “EVALUACIÓN DE LA BIOESTIMULACIÓN (NUTRIENTES) EN SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS UTILIZANDO RESPIROMETRÍA.” *ACTA BIOLÓGICA COLOMBIANA*, 16 (1): 195-208.
- GARCÍA I., C. Y T. HERNÁNDEZ F. (2004). “IMPORTANCIA DE LA MEDIDA DE LA ACTIVIDAD MICROBIANA EN SUELOS Y MATERIALES ORGÁNICOS.” I CONFERENCIA INTERNACIONAL ECO-BIOLOGÍA EL SUELO Y EL COMPOST. LEÓN, ESPAÑA, 15 -17 SEPTIEMBRE DE 2004.
- ROMANIUK, R., J. F. BRANDT, P. R. RÍOS Y L. GIUFFRÉ (2007). “ATENUACIÓN NATURAL Y REMEDIACIÓN INDUCIDA EN SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS.” *CIENCIA DEL SUELO* 25, (2): 139-149.
- TEJERO, G., J. L., J. CUEVAS D., J. L. GONZÁLEZ B., J. C. ÁVILA Y J. M. CARRIÓN J. (2007). “ANÁLISIS DEL REACTOR DE LODOS ACTIVADOS DE LA PLANTA CENTENARIO.” *CAOS CONCIENCIA*, 63-71.
- VÁSQUEZ, M. C., GUERRERO F., J. T. Y QUINTERO, A. DEL P. (2010). “BIORREMEDIACIÓN DE LODOS CONTAMINADOS CON ACEITES LUBRICANTES USADOS.” *REVISTA COLOMBIANA DE BIOTECNOLOGÍA*, 12: 141-157.

AVANCE DE INVESTIGACIÓN

Producción de enzimas hidrolíticas por cepas nativas de *Aspergillus* spp. mediante la fermentación en sustrato sólido utilizando residuos agroindustriales

María Esther Martínez Terán,¹ Luis J. Galán Wong,² Carlos Solís Rojas,³ Katiushka Arévalo Niño^{4*}

RESUMEN

En este trabajo se llevó a cabo la producción de enzimas hidrolíticas extracelulares: amilasa, CMCasa y xilanasas en seis cepas nativas de *Aspergillus* spp. en una fermentación en sustrato sólido (FSS), se utilizó salvado de trigo y afrecho de malta como sustrato. Las determinaciones enzimáticas se hicieron al 5° y 10° día. La cepa *Aspergillus* sp. 271 presentó la producción de amilasa (74.3 U/g), CMCasa (33.0 U/g) y xilanasas (173.9 U/g) se usó como sustrato salvado de trigo. El afrecho resultó ser un sustrato que favorece la producción de xilanasas en todas las cepas evaluadas con valores que van de 37.9 a 476.2 U/g. La FSS es un sistema eficiente y económico para la producción de enzimas hidrolíticas sin la necesidad de emplear equipos de alto costo.

Palabras clave: enzimas hidrolíticas, fermentación sustrato sólido, residuos agroindustriales.

1 Maestra en Ciencias, especialidad en Farmacia.

2 Doctor en Ciencias, especialidad en Microbiología.

3 Doctor en Ciencias, especialidad en Entomología.

4 Doctora en Ciencias, especialidad en Biotecnología.

* Instituto de Biotecnología, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León. Autor para correspondencia Doctora Katiushka Arévalo Niño. Instituto de Biotecnología, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León. Pedro de Alba esquina Manuel L. Barragán s/n, Ciudad Universitaria, CP 66451 San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, tel. (81) 83-29-40-10, extensión 6440; Fax: (81) 83-29-40-10, extensión 6415. karevalo01@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, uno de los potenciales que presenta la biotecnología es la producción de enzimas extracelulares a nivel industrial a partir de microorganismos (Demian y Adrio 2008), siendo dentro de los hongos el género *Aspergillus* uno de los más estudiados debido a su amplia distribución en la naturaleza y por sus bajos requerimientos nutricionales (Subramaniyam y Vimala 2012; Suganthi et al., 2011).

El nombre de la Fermentación en Sustrato Sólido (FSS) presenta un gran potencial en la producción de enzimas. Esto resulta de especial interés en aquellos procesos en donde el producto crudo de la fermentación puede ser utilizado directamente como la fuente de la enzima. Una característica de este método de fermentación es el bajo requerimiento de agua para el crecimiento del microorganismo, la cual es adsorbida en un soporte sólido que puede estar basado en diferentes materiales. Además, el uso de este método puede representar un valor económico para aquellos países que producen una gran cantidad de residuos agroindustriales, los cuales pueden ser empleados como materia prima económica (Subramaniyam y Vimala, 2012; Abo-State et al., 2010). Es por ello que el uso de desechos agroindustriales como sustratos en la producción de enzimas de interés industrial se ha convertido en una alternativa debido al contenido que presentan de celulosa, hemicelulosa, pectina y lignina que sirven como inductores en la síntesis de enzimas hidrolíticas (Prakash et al., 2009; Alva et al., 2007; García y Torres, 2003).

En el presente, la industria cervecera enfrenta un problema en cuanto al manejo de sus subproductos, uno de ellos el afrecho de malta, representa alrededor del 85% de sólidos generados durante el proceso de malteado para la industria cervecera (Xiros y Christakopoulos 2012), es por ello que resulta de interés buscar alternativas al uso de este subproducto dándole un mayor valor agregado al mismo.

Por otro lado, el mercado mundial de las enzimas industriales fue valorado en \$ 3,1 mil mdd en

2009 y alcanzó cerca de \$ 3,6 mil mdd en 2010. El mercado estimado para 2011 fue de aproximadamente \$ 3,9 mil millones. BCC (por sus siglas en inglés (Business Communications Company), proyecta que este mercado crezca a una tasa compuesta de crecimiento anual (cagr) del 9.1%, hasta alcanzar los \$ 6 mil mdd para 2016 (Dewan, 2011). Esto justifica el seguir en la búsqueda de nuevas fuentes de estas enzimas bajo un esquema de sustentabilidad, al utilizar materias primas renovables y que además son consideradas subproductos de otras industrias.

En este trabajo se llevó a cabo la producción de enzimas extracelulares: amilasa, carboximetilcelulosa, xilanasas, se empleó como sustrato salvado de trigo y afrecho de malta en un sistema de fermentación en sustrato sólido por seis cepas de *Aspergillus* spp, aisladas en el estado de Nuevo León, México.

METODOLOGÍA

Microorganismos

Seis cepas de *Aspergillus* spp. aisladas de la zona metropolitana de la ciudad de Monterrey, Nuevo León, México, fueron utilizadas en este estudio. Los microorganismos fueron inoculados en agar papa dextrosa (pda) e incubados a 30°C durante siete días.

Fermentación

Transcurrido el tiempo de incubación, se preparó una suspensión de las esporas en una solución de solución salina (0.95%) y contabilizadas en una cámara de Neubauer. Para la fermentación en sustrato sólido (FSS) se utilizó salvado de trigo y afrecho de malta, 6.75 g de cada sustrato fueron pesados e hidratados con 27 mL de solución mineral (KH_2PO_4 2.0g/l, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.5 g/L, CaCl_2 0.5 g/L, KCl 0.5 g/L), ajustado a un pH de 5.0 ± 0.1 , en matraces de 150 mL. Cada matraz previamente esterilizado a 121°C por 15 min fue inoculado con 1.0×10^6 esporas/mL e incubado a 30°. Como control se usó el medio de cultivo sin inocular. Las determinaciones enzimáticas se realizaron al 5° y 10° día.

Obtención de extractos enzimáticos

Después del periodo de incubación, el sustrato fue suspendido en 34 mL de solución de NaCl (0.9%) y Tween 80 (0.1%), se agitaron a 150 rpm por 60 min. La muestra se pasó a través de un filtro de algodón y se centrifugó a 3500 rpm por 15 minutos. El sobrenadante se empleó como extracto enzimático.

Determinaciones analíticas

La actividad enzimática fue determinada mediante el método de azúcares reductores usando como estándar D-glucosa y xilosa. (Miller 1959). Se calculó la función específica para cada enzima medida (U/g). Una unidad de actividad (U) se definió como la cantidad necesaria de enzima para oxidar 1 μ mol sustrato/min en las condiciones de ensayo. Las determinaciones se hicieron por triplicado para los diferentes tratamientos.

Análisis estadístico

Para los resultados obtenidos se aplicó estadística descriptiva y para determinar si existe diferencia estadísticamente significativa entre los sustratos evaluados y el tiempo de producción de las enzimas hidrolíticas, se utilizó anova multifactorial seguido de una prueba de Duncan con un nivel de significancia de 0.05 utilizando el programa spss Statistics versión 17.0

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El propósito de este trabajo consistió en evaluar la producción de enzimas extracelulares: amilasa, carboximetilcelulosa, xilanas de seis cepas de *Aspergillus spp.* aisladas de la zona metropolitana de la ciudad de Monterrey, Nuevo León, utilizando como sustrato salvado de trigo y afrecho de malta en una FSS.

Los valores promedio de actividad específica (U/g) para amilasa, obtenidos a los cinco y 10 días en FSS, se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Actividad específica para amilasa (U/g)

Actividad	Salvado		Afrecho	
	Día 5	Día 10	Día 5	Día 10
Cepa				
<i>Aspergillus sp.</i> 271	74.3+5.3f	54.0+4.8e	6.5+0.6b,c	11.7+3.5c,d
<i>Aspergillus sp.</i> #2	22.7+1.8c	16.2+5.2b,c	ND	4.3+1.0a,b
<i>Aspergillus sp.</i> 381	16.3+1.8b,c	16.0+0.1b	7.0+3.6b,c	7.8+7.3b,c,d
<i>Aspergillus niger</i> L1	29.0+0.9d	19.8+0.2b,c	17.2+4.4e	13.2+3.4d,e
<i>Aspergillus sp.</i> A11-3	8.6+1.9a	3.1+1.1a	ND	3.0+1.4a,b
<i>Aspergillus sp.</i> A11-9	21.0+0.4b,c	19.5+5.1b,c	ND	4.8+0.5a,b

ND. No detectado. Diferentes letras indican que existe diferencia significativa (anova, $p < 0.05$).

La cepa *Aspergillus sp.* 271 presenta la mayor actividad para amilasa (74.3 U/g) al día cinco sobre salvado de trigo. Valores similares fueron encontrados por Suganthi y col. (2011), quienes también utilizaron este sustrato. El salvado de trigo usado exhibió las mayores actividades de amilasa con respecto al afrecho de malta para los hongos estudiados. Por otro lado, en este sustrato todas las cepas presentaron la mayor actividad al día cinco. Cabe señalar que al emplear el afrecho de malta como sustrato para esta enzima, se dieron las actividades más bajas con valores máximos de 17.2U/g, comparado con 74.3 U/g en salvado de trigo, al día cinco.

En la tabla 2 se exponen los valores promedio de actividad específica (U/g) para CMC-asa obtenidos a los cinco y 10 días en FSS.

Las cepas *Aspergillus sp.* 271 y *Aspergillus sp.* 381 dieron una mayor actividad para CMCasa (33.0 U/g) al día cinco sobre salvado de trigo y 31.7 U/g al día 10 en afrecho de malta respectivamente. Valores similares fueron encontrados con cepas de *Aspergillus fumigatus*, por Sherief y col. (2010). Al tener afrecho de malta como sustrato se dio una mayor producción de CMCasa que en salvado de trigo para los hongos estudiados. Las cepas *Aspergillus sp.* 271, *Aspergillus sp.* #2, *Aspergillus sp.* 381, *A. niger* y *Aspergillus sp.* A11-9 no ofrecen diferencia significativa en la producción de enzi-

mas entre los días cinco y 10 en salvado de trigo. Sin embargo, las cepas *Aspergillus sp* 271, *Aspergillus sp* 381, *A. niger* L1 y *Aspergillus sp* A11-3 sí presentan diferencia significativa en afrecho de malta. En general, la actividad detectada de CMCase en todas las cepas es menor que la de amilasa cuando se usó salvado de trigo y mayor cuando el sustrato fue afrecho de malta.

Tabla 2. Actividad específica para cmc-asa (U/g)

Actividad Cepa	Salvado		Afrecho	
	Día 5	Día 10	Día 5	Día 10
<i>Aspegillus sp.</i> 271	33.0+1.1d	30.6+0.5d	20.9+6.2d	13.5+2.3b,c
<i>Aspergillus sp.</i> #2	13.1+0.8c	13.4+0.1c	15.0+1.6c	14.6+2.6c
<i>Aspergillus sp.</i> 381	13.9+0.2c	13.0+0.2c	24.5+3.8d,e	31.7+1.1f
<i>Aspergillus niger</i> L1	13.5+0.4c	13.8+0.2c	14.3+1.8c	25.7+2.8e
<i>Aspergillus sp.</i> A11-3	1.2+0.5a	9.0+2.2b	9.0+1.0a,b	4.9+1.3a
<i>Aspergillus sp.</i> A11-9	8.1+4.1b	7.4+1.2b	8.1+2.1a	9.4+0.7a,b

ND. No detectado. Diferentes letras indican que existe diferencia significativa (anova, $p < 0.05$).

La tabla 3 presenta los valores promedio de actividad específica (U/g) para xilanasa obtenidos a los cinco y 10 días en FSS.

Tabla 3. Actividad específica para Xilanasa (U/g)

Actividad Cepa	Salvado		Afrecho	
	Día 5	Día 10	Día 5	Día 10
<i>Aspegillus sp.</i> 271	173.9+5.7i	118.5+15.2f	198.2+12.8b	213.7+1.0b
<i>Aspergillus sp.</i> #2	61.6+0.7d	125.4+3.5f,g	227.5+43.9b	476.8+49.3e
<i>Aspergillus sp.</i> 381	135.6+4.0h	124.0+1.2f	277.9+28.6c	416.2+10.7d
<i>Aspergillus niger</i> L1	134.5+2.7g,h	95.3+2.3e	301.2+40.0c	295.0+21.5c
<i>Aspergillus sp.</i> A11-3	7.1+2.7b	32.2+2.9c	46.4+5.0a	37.9+5.6a
<i>Aspergillus sp.</i> A11-9	11.9+4.6b	ND	44.1+6.1a	50.7+13.3a

ND. No detectado. Diferentes letras indican que existe diferencia significativa (anova, $p < 0.05$).

Las cepas *Aspergillus sp.* 271 y *Aspergillus sp* #2 presentaron una mayor actividad para xilanasa

173.9 U/g al día cinco sobre salvado de trigo y 476.8 U/g al día 10 en afrecho de malta respectivamente. Valores similares fueron encontrados por Betini y col. (2009) en sistemas de fermentación en sustrato sólido. Utilizando afrecho de malta como sustrato se expuso una mayor actividad de xilanasa que sobre salvado de trigo para los hongos estudiados. Las cepas estudiadas marcaron una diferencia significativa en los tiempos de fermentación y entre los sustratos utilizados. Por

otro lado, se observa una disminución importante en la producción de xilanasa para la cepas *Aspergillus sp* 271, *A. niger* y *Aspergillus sp* A11-9 al décimo día, al emplear salvado de trigo como sustrato, y un aumento representativo en la producción enzimática para las cepas *Aspergillus sp.* #2 y *Aspergillus sp.* 381 en afrecho de malta al día 10. Al final, se vio que la función xilínolítica

fue superior a las otras actividades enzimáticas evaluadas para todas las cepas.

CONCLUSIONES

- La cepa *Aspergillus sp.* 271 presentó la mayor actividad de amilasa, cmc-asa y xilanasa usando como sustrato salvado de trigo.

- El afrecho resultó ser un sustrato que favorece la producción de xilanasa en todas las cepas.

- La FSS es un sistema eficiente y económico para la producción de enzimas hidrolíticas sin la necesidad de emplear equipos de alto costo.

- Finalmente, es importante continuar con la búsqueda de microorganismos que ofrezcan un

potencial de aplicación biotecnológico debido a su riqueza enzimática y a su capacidad de utilizar sustratos económicos.

BIBLIOGRAFÍA

- ABO-STATE M.A.M., HAMMAD A.I., SWELIM M., GANNAM R.B. (2010). "ENHANCED PRODUCTION OF CELLULASE(S) BY ASPERGILLUS SSP. ISOLATED FROM AGRICULTURE WASTES BY SOLID STATE FERMENTATION." *AMERICAN-EURASIAN J. AGRIC. & ENVIRON. SCI*, 8, 402-410.
- ALVA S., ANUPAMA J., SAVLA J., CHIU, Y. Y., VYSHALI, P., SHRUTI, M., YOGEEETHA, B. S., BHAVYA D., PURVI, J., RUCHI, K., KUMUDINI, B. S., VARALAKSHMI, K. N. (2007). "PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF FUNGAL AMYLASE ENZYME ISOLATED FROM ASPERGILLUS SP. JGI 12 IN SOLID STATE CULTURE." *AFR J BIOTECHNOL*, 6, 576-581.
- BETINI J. H. A., MICHELIN M., PEIXOTO-NOGUEIRA S. C., JORGE J. A., TERENCEZ H. F., POLIZELI M. L. T. M. (2009). "XYLANASES FROM ASPERGILLUS NIGER, ASPERGILLUS NIVEUS AND ASPERGILLUS OCHRACEUS PRODUCED UNDER SOLID-STATE FERMENTATION AND THEIR APPLICATION IN CELLULOSE PULP BLEACHING." *BIOPROC AND BIOSYST ENG*, 32: 819-824.
- DEMAIN A.L., ADRIO J.L. (2008). "CONTRIBUTIONS OF MICROORGANISMS TO INDUSTRIAL BIOLOGY." *MOL BIOTECHNOL*, 38, 41-55.
- DEWAN, S. S. (ENERO DE 2011). *BCC RESEARCH*. RECUPERADO EL 20 DE MAYO DE 2013, DE: ENZYMES IN INDUSTRIAL APPLICATIONS: GLOBAL MARKETS: [HTTP://WWW.BCCRESEARCH.COM/MARKET-RESEARCH/BIO-TECHNOLOGY/ENZYMES-INDUSTRIAL-APPLICATIONS-BIO030F.HTML](http://www.bccresearch.com/market-research/biotechnology/enzymes-industrial-applications-bio030f.html).
- GARCÍA TORRES A.M., TORRES SÁE R.G. (2003). "PRODUCCIÓN DE ENZIMAS LIGNOLÍTICAS POR BASIDIOMICETES MEDIANTE LA TÉCNICA DE FERMENTACIÓN EN SUSTRATO SÓLIDO." *REVISTA COLOMBIANA DE BIOTECNOLOGÍA*, 5, 56-64.
- MILLER LORENZ G. (1959). "USE OF DINITROSALICÍLICO ACID REAGENT FOR DETERMINATION OF REDUCING SUGAR." *ANAL CHEM*, 31, 426-428.
- PRAKASH GOUD M. J., SURYAM A., LAKSHMIPATHI V. SINGARA CHARYA M.A. (2009). "EXTRACELLULAR HYDROLYTIC ENZYME PROFILES OF CERTAIN SOUTH INDIAN BASIDIOMICETES." *AFR J BIOTECHNOL*, 8, 354-360.
- SHERIEF A.A., EL-TANASH A.B., ATIA N. (2010). "CELLULASE PRODUCTION BY ASPERGILLUS FUMIGATUS GROWN ON MIXED SUBSTRATE OF RICE STRAW AND WHEAT BRAN." *RES J MICROBIOL*, 5, 199-211.
- SUBRAMANIAM R., VIMALA R. (2012). "SOLID STATE AND SUBMERGED FERMENTATION FOR THE PRODUCTION OF BIOACTIVE SUBSTANCES: A COMPARATIVE STUDY." *IJSN*, 3, 480-486.
- SUGANTHI R., BENAZIR J.F., SANTHI R., RAMESH KUMAR V., ANJANA H., NITYA M., NIDHIYA K.A., KAVITHA G., LAKSHMI R. (2011). "AMYLASE PRODUCTION BY ASPERGILLUS NIGER UNDER SOLID STATE FERMENTATION USING AGROINDUSTRIAL WASTES." *IJEST*, 3, 1756-1763.
- XIROS C., CHRISTAKOPOULOS P. (2012). "BIOTECHNOLOGICAL POTENTIAL OF BREWERS SPENT GRAIN AND ITS RECENT APPLICATIONS." *WASTE BIOMASS VALOR*, 3, 213-232.

Diagnóstico de la calidad de suelo utilizando información satelital en Teziutlán, Puebla, México

Edgardo Torres Trejo,¹ Gladys Linares Fleites,^{*2} María Guadalupe Tenorio Arvide,² Rosalía del Carmen Castelán Vega,² María de Lourdes Sandoval Solís,³ Ricardo Darío Peña Moreno,⁴ América Libertad Rodríguez Herrera.⁵

RESUMEN

La calidad de suelo es un problema de extraordinaria importancia por las funciones ambientales que éste ofrece, entre las que se encuentran: sostener la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat. En este contexto se están ideando nuevas metodologías de investigación y herramientas de búsqueda de información. Los instrumentos de teledetección son útiles en estudios de ecosistemas a gran escala, ya que permiten obtener datos de las condiciones biofísicas de manera más eficaz que las tradicionales mediciones *in situ*. El objetivo de este trabajo es estimar un índice de vegetación a partir de teledetección en dos periodos (noviembre de 1994 y diciembre del 2005) y relacionarlo con la calidad de suelo en la zona de Teziutlán, Puebla, México. Dicho objetivo fue alcanzado con la obtención de una ecuación de regresión logística que facilite diagnosticar la calidad del suelo (calidad dinámica y calidad inherente) desde el número de píxeles creado por el índice de vegetación NDVI, calculado con base en imágenes satelitales de los años antes referidos. Los resultados corroboran el continuo deterioro observado en la zona de estudio, debido en mayor parte a las actividades antropogénicas y destaca la importancia de conocer la calidad de suelo, dado que ella influye en diversas condiciones ambientales, pudiéndose tomar medidas oportunas que redundarían directamente en el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes de la zona.

Palabras claves: Teledetección, índice de vegetación, NDVI, Landsat TM.

1 Estudiante del doctorado en Ciencias Ambientales, Posgrado en Ciencias Ambientales, Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, BUAP.

2 Profesor-investigador Posgrado en Ciencias Ambientales y Departamento en Ciencias Agrícolas, BUAP.

3 Facultad de Ciencias de la Computación, BUAP.

4 Centro de Química, BUAP.

5 Universidad Autónoma de Guerrero.

* 14 Sur 6301, Jardines de San Manuel, Puebla, Puebla, México, CP 72470, tel. (52) 222 2295500, extensión 7355; Fax: extensión 7351. gladys.linares@correo.buap.mx

INTRODUCCIÓN

Actualmente, uno de los retos más importantes que enfrenta la ciencia del suelo es desarrollar criterios de calidad de suelo que se utilicen también en una evaluación objetiva de riesgos ambientales (Sims *et al.*, 1997). Debido a la inquietud con respecto a la degradación del suelo y a la necesidad de un manejo sostenible de los agroecosistemas, resurgió la preocupación hacia las variables del suelo (Carter *et al.*, 1997). Aunado a lo anterior, existe la idea del uso del suelo que ha enfatizado su valor y sus propiedades para una función específica. Este enfoque ecológico del suelo reconoce las interacciones suelo-ser humano; de esta forma, la calidad de suelo es inseparable del concepto de sostenibilidad del sistema y su uso (Doran y Parkin, 1994; NRSC, 2001).

La evaluación de la calidad de suelo es una herramienta que sirve para valorar el impacto de las prácticas de manejo utilizadas, y diagnosticar las causas de los problemas en una determinada región, como el caso que nos ocupa.

En este contexto se están ideando nuevas metodologías de investigación y usando herramientas de búsqueda de información. Los instrumentos de teledetección son útiles en estudios de ecosistemas a gran escala, ya que permiten obtenerla de las condiciones biofísicas de manera más eficaz que las tradicionales mediciones *in situ* (Chuvieco, 2002).

La teledetección no es una ciencia que se le podría denominar pura. Es un compendio de ciencias y tecnologías que se han desarrollado a lo largo de los dos últimos siglos, y que han dado lugar a una materia multidisciplinaria basada en el conocimiento de la física y las matemáticas y que se ha desarrollado, principalmente, gracias a los avances tecnológicos en telecomunicación y computación. Sólo la perfecta conjunción de todas ellas da lugar a la teledetección. Ésta se podría definir como la ciencia y/o el arte de adquirir información sin contacto directo entre el captador y el “objetivo”.

El término teledetección es una traducción del inglés “*remote sensing*”, y se refiere no sólo a la captación de datos desde el aire o desde el espacio, sino

también a su posterior tratamiento. En teledetección, la adquisición de información puede realizarse a nivel orbital (satélites), suborbital (aviones) o terrestre (radiómetros portátiles). Las imágenes satelitales y las fotografías aéreas son los productos más difundidos y, en ocasiones, de fácil acceso y gratis.

La interpretación de imágenes obtiene de forma rápida estimaciones de área de la cobertura vegetal y área cultivada y con ello elabora mapas temáticos actualizados y precisos de las diferentes estructuras espaciales resultante del proceso de ocupación y uso del suelo, recursos, hídricos, etcétera.

En las últimas tres décadas, se han utilizados índices de vegetación calculados a partir de imágenes espectrales proporcionados por los sensores remotos de los satélites. (Carvacho y Sánchez, 2010). Estos índices se han desarrollado con la finalidad de conseguir información del estado de la vegetación y sus características. El empleo de índices, calculados de la reflectividad en diferentes bandas, que nos indiquen la abundancia y estado de la vegetación, se basan en el comportamiento reflectivo peculiar de la vegetación (Schmidt y Karnieli, 2001).

Con el fin de impulsar el reconocimiento de la multifuncionalidad de los ecosistemas forestales y agroforestales, el gobierno mexicano ha establecido el compromiso de promover la conservación de las áreas forestales (Challenger, 1998). Por tanto, es de interés estimar algún índice de vegetación a partir de teledetección ambiental en los periodos de noviembre de 1994 y de diciembre del 2005, y relacionarlo con la calidad de suelo en la zona de Teziutlán, Puebla, México.

La zona de Teziutlán, Puebla se encuentra inmersa en la RTP 105: Cuetzalan, definida por la CONABIO como prioritaria para la conservación, y se ubica en las coordenadas extremas 19°46'23" y 20°11'55" de latitud norte y 97°09'17" a 97°38'36" de longitud oeste. Está conformada por 28 municipios, compartidos entre los estados de Veracruz y Puebla, y en ella predominan el bosque mesófilo de montaña, la selva alta perennifolia y las asocia-

rentes regiones del espectro y cada una de éstas se denomina *canal* o *banda*. Por ejemplo: Landsat es una plataforma que contiene dos sensores Landsat-TM (Thematic Mapper) y Landsat-ETM+, +, que proporcionan imágenes de ocho bits en siete y ocho bandas espectrales, tres de las cuales son visibles (banda 1, banda 2 y banda 3) y cuatro infrarrojo (banda 4, banda 5 banda 6 banda 7). Las bandas 3 y 4 (rojo visible e infrarrojo cercano) son especialmente adecuadas para la estimación de índices de vegetación (Huete, 1988).

Índices de vegetación. Basándose en el comportamiento reflectivo peculiar de la vegetación, se pueden calcular índices de ésta por medio de la reflectividad en diferentes bandas que indiquen su abundancia y estado. La signatura espectral característica de la vegetación sana ofrece un fuerte contraste entre la baja reflectividad en el rojo y la alta reflectividad en el infrarrojo. Esta diferencia es mayor cuando mayor es la densidad de la vegetación.

En esta idea se basan la gran parte de los índices de vegetación. El más conocido es el Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) cuya ecuación es:

$$NDVI = \frac{(B4 - B3)}{(B4 + B3)}$$

donde:

B4 = Banda 4 de la imagen de Landsat TM (reflectividad en el infrarrojo cercano)

B3 = Banda 3 de la imagen de Landsat TM (reflectividad en el rojo)

Este índice varía entre -1 y 1, lo que facilita su interpretación. Puede señalarse como umbral crítico para cubiertas vegetales un valor de NDVI de 0.1 y para la vegetación densa de 0.5. Cualquier valor negativo implica ausencia de vegetación por lo que debieran reclasificarse a cero (Rouse *et al.*, 1974, Alatorre, *et al.*, 2010).

La metodología utilizada aquí se sustenta en el procesamiento digital e interpretación de las imágenes de satélite de los periodos 1994 y 2005.

b) *Procedimientos estadísticos*

Dado que se desea diagnosticar la calidad de suelo, se empleó la variable *y* con los valores 1 (suelo con CI) y 0 (suelo con CD) y el problema se convierte en modelar la variable dependiente *y* a través de la variable explicativa NDVI. Para modelar este tipo de relaciones se aplican los modelos de respuesta cualitativa, del que el modelo logístico es uno de los más utilizados, ya que puede aplicarse a una amplia gama de situaciones donde las variables explicativas no tienen una distribución conjunta normal multivariada (Linares, 2006).

El modelo logístico toma la forma:

$$E(y) = \frac{\exp(X'\beta)}{1 + \exp(X'\beta)}$$

Esta función se puede linealizar a través de la *transformación logit*

$$X\beta = \ln \frac{p}{1-p}$$

Obsérvese que estamos suponiendo que la variable respuesta y_i es una variable aleatoria de Bernoulli con probabilidades: $P(y_i = 1) = \pi_i$ y $P(y_i = 0) = 1 - \pi_i$.

Para contrastar si una variable, o grupo de variables, de la ecuación es significativa, podemos construir un contraste de la razón de verosimilitudes comparando los máximos de la función de verosimilitud para los modelos con y sin estas variables. Sin embargo, es más habitual para comprobar si un parámetro es significativo equiparar el parámetro estimado con su desviación estándar. A estos cocientes se les denomina *estadísticos de Wald* y en muestras grandes se distribuyen, si el verdadero valor del parámetro es cero, como una normal estándar (Montgomery *et al.*, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la imagen satelital captada desde el espacio por el sensor tm se generó un mapa para el año 1994 y otro para 2005 (figura 2) donde se aprecian áreas con alta, media, baja o nula vegetación. Se efectuó la corrección geométrica, obteniendo la estimación del índice de vegetación normalizado (ndvi) y como resultado se obtuvo el ndvi para los dos periodos, 1994 y 2005, encontrándose que la vegetación alta del año 2005 disminuyó con respecto al año 1994 (Torres *et al.*, 2013).

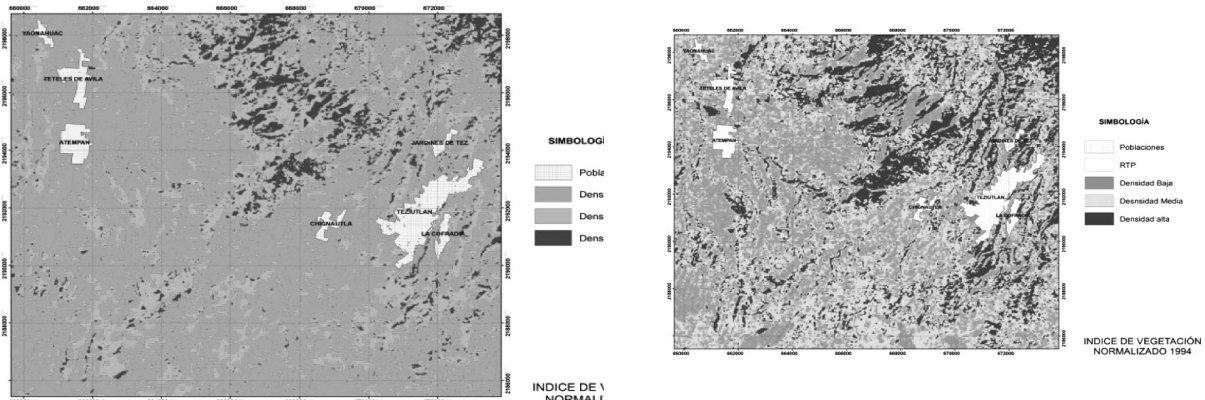


Figura 2. Imágenes de ndvi de los años 1994 y 2005.

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, tomando en consideración información de campo, se clasificó la calidad de los suelos de la zona en dos clases: calidad dinámica (CD) y calidad inherente (CI), (Tenorio *et al.*, 2008). Se comprobó a través de propiedades físicas y químicas de suelos seleccionadas como indicadores de CI (suelos con vegetación forestal) y de CD (suelos con agricultura de temporal), que en la zona de estudio se diferenciaban claramente dos clases de suelos. Esta información se validó en campo con puntos georreferenciados con GPS (figura 3).

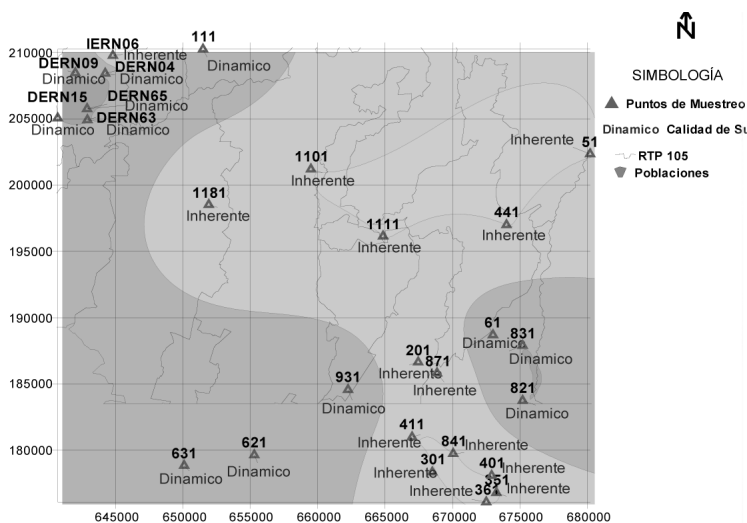


Figura 3. Calidad de suelo: inherente (ci) y dinámica (cd) en puntos de muestreo.

Fuente: Elaboración propia.

De las imágenes mostradas en la figura 2, se llevó a cabo el procesamiento digital del NDVI, que estima el grado de afectación de áreas deforestadas, expresándolo en términos del número de píxeles. El cuadro 1 resume esta información, puede apreciarse que ocho observaciones corresponden a la calidad de suelo (CS) denominada inherente y 10 observaciones a la denominada dinámica.

Cuadro 1. Número de píxeles de NDVI en 1994 y 2005 y calidad del suelo (cs) en 18 perfiles de suelo georreferenciados.

X	Y	CS	NDVI 1994	NDVI 2005
673000	2188700	Dinámico	0.388889	0.230769
651500	2210250	Dinámico	0.46478	0.372549
675200	2183750	Dinámico	0.40000	0.270833
675200	2187900	Dinámico	0.322581	0.089109
662250	2184575	Dinámico	0.235294	0.046154
644248	2208426	Dinámico	0.532468	0.217391
642031	2208464	Dinámico	0.548387	0.327273
640723	2205055	Dinámico	0.569892	0.304348
642927	2204916	Dinámico	0.432432	0.277311
642904	2205758	Dinámico	0.50000	0.294118
667450	2186650	Inherente	0.254237	0.15873
668850	2185825	Inherente	0.322581	0.090909
659500	2201200	Inherente	0.522388	0.373737
664850	2196150	Inherente	0.22807	0.292308
651925	2198525	Inherente	0.21311	0.203883
680200	2202350	Inherente	0.59061	0.46875
674000	2197000	Inherente	0.487179	0.355556
644814	2209768	Inherente	0.446154	0.326087

Fuente: Elaboración propia.

Con las observaciones anteriores, se aplicó un modelo de regresión logística para la estimación de la calidad de suelo en función del número de píxeles, obtenidos de las imágenes de satélites de los años 1994 y 2005.

Los datos corresponden a pruebas de suelo de los horizontes A de 18 perfiles representativos y georreferenciados, en los que se habían identificado dos grupos de suelos, el primero que conserva la vegetación forestal y que mantiene una CI y el segundo grupo que son suelos que después de haber perdido su cobertura forestal son usados para agricultura de temporal, modificando sus propiedades para alcanzar una CD. Es importante mencionar que este estudio ha sido realizado en suelos de origen volcánico, y bajo las mismas condiciones de humedad y temperatura.

Utilizando el software MINITAB versión 15, se desarrolló el análisis de regresión logística binaria para cada uno de los años considerados (1994 y 2005). El cuadro 2 expone los resultados obtenidos. Obsérvese que en el mismo se brindan los coeficientes de regresión (coeficiente), el error estándar de esos coeficientes (SECOEF), el valor del estadístico que se emplea para la prueba de hipótesis de que los coeficientes son cero (Z) y el valor empírico de significancia (p).

La hipótesis de nulidad de que los verdaderos parámetros son iguales a cero fue rechazada al nivel de significación del 10%, luego el modelo es adecuado. En la interpretación de los parámetros, sólo tendremos en cuenta el signo de sus estimaciones. Si el signo del parámetro estimado es positivo, un aumento en el valor de la variable

explicativa correspondiente produce un aumento en la probabilidad de escoger la opción, digamos, calidad dinámica. Puede apreciarse que en 1994 el signo del coeficiente de regresión NDVI es negativo mientras que en 2005 el signo del coeficiente de regresión es positivo, lo que implica que la probabilidad de calidad dinámica en los suelos en 2005 ha aumentado. Esto se corresponde con el continuo deterioro observado en la zona de estudio, debido en mayor parte a las actividades antropogénicas. Por otro lado, si se considera, en particular en esta zona de estudio, que la calidad dinámica del suelo avanza rápidamente, esto puede traer consigo problemas relacionados con la estabilidad de los suelos, principalmente por ser una zona accidentada y el problema al que se enfrenta la población son los efectos de remoción en masa en función de la composición de los materiales, la morfología de los suelos, aunado a la intensa deforestación de la zona. Diferentes autores enfatizan la interacción deforestación-erosión-inestabilidad y sus consecuencias en la calidad del suelo (Flores y Alcántara, 2002; Mitre-Salazar *et al.*, 2002; Castillo-Román *et al.* 2002; Lugo-Hubp *et al.*, 2005; Alcántara, 2005).

Cuadro 2. Regresión logística binaria: calidad de suelo versus número de píxeles de NDVI en el año 1994 y en el año 2005.

Predictor	Coeficiente	SECOef	z	p
Constante	2.69512	2.68710	1.00	0.316
Píxeles NDVI 1994	-19.9859	11.3318	-1.76	0.078
Píxeles NDVI 2005	20.4201	10.8902	1.88	0.061

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

En este estudio se han establecido relaciones significativas entre la calidad del suelo y el índice de vegetación ndvi, obtenidas de imágenes satelitales y transformadas a píxeles. El modelo obtenido permite estudiar la calidad de suelo y diagnosticarla en suelo con calidad inherente (ci) o calidad dinámica (cd) a partir del índice de vegetación ndvi de mane-

ra eficaz, sin utilizar las tradicionales mediciones *in situ* y, por tanto, pueden hacerse predicciones en puntos muestrales no observados directamente y conocer en detalle el estado de calidad de suelo de la zona de Teziutlán, Puebla.

Los resultados corroboran el continuo deterioro observado en la zona de estudio, por las actividades antropogénicas, ya que la calidad dinámica del suelo ha avanzado ostensiblemente de 1994 a 2005.

La calidad de suelo influye en diversas condiciones ambientales, incluso de seguridad alimentaria y la divulgación de los resultados de este tipo de investigaciones aplicadas a la sociedad, posibilitará desarrollar la comprensión en los ciudadanos sobre las condiciones ambientales de su entorno natural, de sus procesos, de su fragilidad y el grado de alteración que presenta, para que hagan propias las medidas de protección civil como del medio natural, lo que redundaría directamente en el mejoramiento de su calidad de vida.

BIBLIOGRAFÍA

- ALATORRE, L. C., BEGUERÍA, S. Y S. M. VICENTE-SERRANO, S. (2010). "ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL NDVI SOBRE ÁREAS VEGETADAS Y ZONAS DE RIESGO DE EROSIÓN EN EL PIRINEO CENTRAL." *PIRINEOS. REVISTA DE ECOLOGÍA DE MONTAÑA*, VOL. 165, 7-27.
- ALCÁNTARA, G. D. A. (2005). TESIS DE DOCTORADO EN GEOGRAFÍA "DEFORRESTACIÓN-EROSIÓN-INESTABILIDAD DE LADERAS: UN ENFOQUE DE MODELACIÓN GEOMORFOLÓGICA." UNAM.
- CARTER, M.R., GREGORICH, E.G., ANDERSON, D.W., DORAN, J.W., JANZEN, H.H. Y F.J. PIERCE, (1997). "CONCEPTS OF SOIL QUALITY AND THEIR SIGNIFICANCE", IN: GREGORICH, E.G. AND CARTER, M.R. (EDS.) *SOIL QUALITY FOR CROP PRODUCTION AND ECOSYSTEM HEALTH. DEVELOPMENTS IN SOIL SCIENCE*, 25, ELSEVIER SC.
- CARVACHO BART, L. Y SÁNCHEZ MARTÍNEZ, M.

- (2010). "COMPARACIÓN DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN A PARTIR DE IMÁGENES MODIS EN LA REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS, CHILE, EN EL PERIODO 2001-2005", EN: OJEDA, J., PITA, M.F. Y VALLEJO, I. (EDS.), *TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA: LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA AL SERVICIO DE LOS CIUDADANOS*. SECRETARIADO DE PUBLICACIONES DE LA UNIVERSIDAD DE SEVILLA. SEVILLA, 728-737.
- CASTILLO-ROMÁN, J., R. MAYORGA R., V. J. NOLASCO Y M. A. SARMIENTO (2002). "CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS GEOLÓGICOS, SOCIO-ECONÓMICOS Y FACTORES DETONANTES QUE PUEDEN LLEVAR AL DESARROLLO DE DESASTRES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO APULCO, SIERRA NORTE DE PUEBLA." *GEOS*, UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A. C., ÉPOCA II. 22: 316.
- CHALLENGER, A. (1998). *UTILIZACIÓN Y CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS TERRESTRES DE MÉXICO. PASADO, PRESENTE Y FUTURO*. CONABIO, INSTITUTO DE BIOLOGÍA, UNAM Y AGRUPACIÓN SIERRA MADRE, S. C., MÉXICO.
- CHUVIECO, E., (2007). *EARTH OBSERVATION AND GLOBAL CHANGE*. NUEVA YORK, SPRINGER. GEOSCIENCES.
- DORAN, J.W. Y T. B. PARKIN (1994). "DEFINING AND ASSESSING SOIL QUALITY", IN: DORAN, J.W; COLEMAN, D.C., BEZDICEK, D.F., AND B.A.STEWART (EDS). *DEFINING SOIL QUALITY FOR A SUSTAINABLE ENVIRONMENT. SOIL SCI. SOC. AM. SP. PUB. NO. 35. AM. SOC. OF AGRON., MADISON, WISC., 3-21*.
- FLORES, P. Y I. ALCÁNTARA A. (2002). "CARTOGRAFÍA MORFOGENÉTICA E IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS DE LADERA EN TEZIUTLÁN, PUEBLA." *INVESTIGACIONES GEOGRÁFICAS, BOLETÍN DEL INSTITUTO DE GEOGRAFÍA*, UNAM, 49: 7-26.
- HUETE, A. R. (1988). "A SOIL-ADJUSTED VEGETATION INDEX (SAVI)." *REMOTE SENSING OF ENVIRON.*, 25: 295-309.
- LINARES FLEITES, G. (2006). *ANÁLISIS DE DATOS MULTIVARIADOS*. EDITORIAL BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA. FACULTAD DE COMPUTACIÓN. MÉXICO.
- LUGO-HUBP, J., ZAMORANO-OROZCO, J.J., CAPRA L., INBAR M. Y ALCÁNTARA-AYALA, I. (2005). "LOS PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA EN LA SIERRA NORTE DE PUEBLA, OCTUBRE DE 1999: CAUSA Y EFECTOS." *REVISTA MEXICANA DE CIENCIAS GEOLÓGICAS*, 22: 212-228.
- MINITAB RELEASE 15. (2005). STATISTICAL SOFTWARE. MINITAB. INC.
- MITRE-SALAZAR, L. M., MALPICA-SÁNCHEZ, F. I. Y MARTÍNEZ-REYES, J. (2002). "LOS DESLIZAMIENTOS DE TEZIUTLÁN, CRÓNICA GEOLÓGICA DEL DESASTRE A LA LUZ DEL PROYECTO PUEBLA-PANAMÁ." *GEOS*, UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A. C., ÉPOCA II. 22: 311-312.
- MONTGOMERY, D.C., PECK, E.A. Y VINING, G.G. (2004). *INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL*. COMPAÑÍA EDITORIAL CONTINENTAL, MÉXICO.
- NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE, (NRSC). (2001). "GUIDELINES FOR SOIL QUALITY ASSESSMENT IN CONSERVATION PLANNING." UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE AND SOIL QUALITY INSTITUTE, USA.
- ROUSE, J.W., HAAS, R.H., SCHELL, J.A., DEERING, D.W. AND HARLAN, J.C. (1974). *MONITORING THE VERNAL ADVANCEMENT OF RETROGRADATION OF NATURAL VEGETATION. NASA/GSFC, TYPE III, FINAL REPORT, GREENBELT, MD, USA*.
- SIMS, J.T, CUNNINGHAM, S.D. Y M. E. SUMNER. (1997). "ASSESSING SOIL QUALITY FOR ENVIRONMENTAL PURPOSES: ROLES AND CHALLENGES FOR SOIL SCIENTISTS." *J. ENVIRON. QUAL.*, 26: 20-25.
- SCHMIDT, H. AND KARNIELI, A. (2001). "SENSITIVITY OF VEGETATION INDICES TO SUBSTRATE BRIGHTNESS IN HYPER-ARID ENVIRONMENT: THE MAKHTESH RAMON CRATER (ISRAEL) CASE STUDY." *INTERNATIONAL JOURNAL OF REMOTE SENSING*, 22 (17): 3503-3520.
- TENORIO ARVIDE, M.G. M.A. VALERA PÉREZ, G. LINARES FLEITES, O. A ACEVEDO SANDOVAL Y J.B. DIXON. (2008). "ANÁLISIS DISCRIMINANTE LINEAL EN EL ESTUDIO DE LA CALIDAD DE LOS SUELOS DE LA SIERRA NORTE DE PUEBLA, MÉXICO". *REVISTA DE CIENCIAS MATEMÁTICAS*, VOL. 24, LA HABANA, 50-59.
- TORRES TREJO, E., LINARES G., TENORIO, M.G., CASTELÁN, R., SANDOVAL, M. DE L, PEÑA, R Y RODRÍ-

GUEZ, A. (2013). “UTILIZACIÓN DE INFORMACIÓN SATELITAL PARA OBTENER ÍNDICES DE VEGETACIÓN EN LA REGIÓN TERRESTRE PRIORITARIA 105: CUETZALAN, TEZIUTLÁN, PUEBLA.” (SOMETIDO A PUBLICACIÓN).

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Evaluación de toxicidad de suelos contaminados del estado de Guanajuato, a través de bioensayos con *Eisenia spp.*

^{1a} H.I. Arrieta-Oliva, ^{2b} G. Espinosa-Reyes, ^{1c} R. Loredo-Portales, ^{1d} G. Cruz-Jiménez,
^{3b} R. Costilla-Salazar, ^{1b} D.O. Rocha-Amador*

RESUMEN

Hoy en día, actividades como la minería han originado problemas de carácter ambiental tales como la acumulación de residuos en jales y/o relaves mineros con alto contenido de Elementos Potencialmente Tóxicos (EPTS) como Plomo (Pb) y Arsénico (As). Actualmente, la evaluación integral de un sitio contaminado contempla tres componentes; matrices ambientales, población humana y biota del área. El presente estudio hace uso de un bioensayo con lombrices de la especie *Eisenia fétida*, denominado Prueba de Migración o Evasión, para evaluar la toxicidad de suelos de un sitio cuyos antecedentes demuestran la existencia de altos niveles de Pb y As. Adicionalmente se evaluó el daño genotóxico por exposición a dichos metales. Los resultados muestran que un 80% de las lombrices migraron del suelo contaminado al suelo de referencia, y que existe un daño en el material genético entre las lombrices expuestas al suelo contaminado y aquellas expuestas al suelo de referencia ($p=0.016$).

Palabras clave: Plomo (*Pb*), Arsénico (*As*), Prueba Migración o Evasión, *Eisenia fétida*.

^a Estudiante de licenciatura en Químico Farmacéutico Biólogo,

^b Doctor en Ciencias Ambientales.

^c Estudiante de doctorado en Química.

^d Doctor en Ciencias Ambientales e Ingeniería.

¹ Departamento de Farmacia, División de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad de Guanajuato. Guanajuato, Guanajuato, Noria Alta s/n, CP 36000.

² Centro de Investigación en Salud Colectiva (CISCO), Coordinación para la Innovación y la Aplicación de la Ciencia y Tecnología, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

³ Departamento de Ciencias Ambientales, División de Ciencias de la vida, Universidad de Guanajuato.

* Autor para correspondencia: tel. (473) 732 0006, extensión 8129; Fax: (473) 732 0006, extensión 1428 olivia2000_mx@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, no hay duda de que los mayores impactos ambientales se derivan de las actividades antropogénicas, tales como la construcción, descargas de agua residuales y la minería (Taylor y Owens, 2009), esta última de gran relevancia en el país.

Desde la época colonial hasta el presente, México se ha caracterizado por ser una potencia en la industria minera, esto ha desembocado en diversos problemas de carácter ambiental que involucran la contaminación de aire, agua y suelo, debido a la producción de residuos sólidos a los cuales no se les da un tratamiento de reincorporación al ambiente. Los residuos de la actividad minera, denominados jales y/o relaves, se encuentran ahora en sitios donde la población humana está expuesta a éstos (Ramos y Siebe, 2006).

Los jales mineros representan un grave problema de salud por la gran variedad de elementos potencialmente tóxicos (EPTS) presentes, entre los que podemos nombrar: Cadmio (Cd), Pb (Plomo) y As (Arsénico). Estos elementos son de gran relevancia debido a sus efectos teratogénicos, carcinogénicos y genotóxicos (Romieu y López, 2002).

Actualmente la evaluación integral de riesgo de un sitio contempla tres componentes: Los distintos tipos de matrices (suelo, agua, aire), la población humana y las especies vegetales y animales del sitio (Díaz y cols., 2002). La evaluación de la calidad de los suelos se puede determinar a través de bioensayos, éstos constituyen herramientas valiosas que nos permiten estimar la toxicidad de algunos contaminantes (Loureiro y cols., 2005).

Diversos estudios han demostrado que las lombrices son organismos útiles para monitorear la toxicidad que provocan algunos compuestos, incluyendo metales pesados, plaguicidas, contaminantes orgánicos, mezclas complejas y desconocidas de contaminantes en suelos (Edwards y Bohlen, 1996; Fent, 1996). Un estudio realizado en la ciudad de Coahuacoalcos, demostró la existencia de daño en el material genético de lombrices expuestas a Contaminantes Orgánicos Persistentes (cops) (Espinoza y cols., 2010).

El presente estudio evalúa la toxicidad de suelos contaminados con Pb y As ubicados en las cercanías de un jale en el antiguo distrito minero de “La Aurora”, en el municipio de Xichú, Guanajuato, a través del uso de un bioensayo en el que se emplea *Eisenia fétida* como organismo de prueba.

Adicionalmente se cuantificaron los niveles de Pb y As presentes en dicho suelo por medio de Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA), y se evaluó la genotoxicidad por exposición a dichos contaminantes mediante el ensayo cometa.

MATERIALES Y MÉTODOS

1.1 Selección del sitio de estudio

El sitio de estudio se seleccionó ya que en estudios previos se han detectado concentraciones de más de 6000 y 8000 mg·kg⁻¹, de Pb y As respectivamente, entre otros contaminantes de carácter genotóxico (Loredo y cols., 2013).

1.2 Toma de muestra

Se muestrearon dos puntos del sitio, uno cercano al jal y otro cercano a un río que atraviesa la zona. Además, se tomó una muestra de suelo en una comunidad alejada del jal minero (1.2 km) para tomarlo como referencia (Ver figura 1.1). Aproximadamente dos kg de muestra fueron colocados en bolsas de plástico herméticas, transportadas al laboratorio y tratadas según la NOM-021-SEMARNAT-2000.



Figura 1.1. Sitio de muestreo, zona de la mina “La Aurora”.

Los puntos indican los sitios de muestreo.

1.3 Tratamiento y análisis de la muestra

1.3.1 Determinación de propiedades fisicoquímicas de muestras

Se determinó el pH de suelo medido en agua (Benton, 2001), porcentaje de materia orgánica y porcentaje de humedad (nom-021-semarnat-2000).

1.3.2 Digestión ácida de suelos

Las pruebas de suelo se tamizaron a un tamaño de partícula de <2 mm y se sometieron a una digestión ácida, empleando una mezcla de ácido nítrico (HNO_3) concentrado y peróxido de hidrogeno (H_2O_2) al 30% (Benton, 2001).

1.3.3 Análisis de Pb por Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA).

El análisis de Pb se hizo mediante Absorción Atómica (AA). La solución residual del proceso de digestión se llevó a una solución de 10 ml al 0.05% en HNO_3 . Con fines de control de calidad se emplearon muestras de un estándar certificado Montana 2711a del *National Institute of Standards and Technology* (NIST). Los análisis se efectuaron con un 91% de recuperación.

1.3.4 Análisis de As por Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA) con generador de hidruros.

Para el análisis de As, se empleó la técnica de Absorción Atómica mediante el uso de un generador de hidruros. El residuo de las digestiones se redujo con yoduro de potasio (KI), en una proporción 3:2, durante 30 minutos en oscuridad. El porcentaje de recuperación fue de 87%.

1.4 Evaluación de la toxicidad de suelos mediante bioensayos con *Eisenia fétida*

1.4.1 Organismo de prueba

Se usó *Eisenia fétida* (lombriz californiana roja) como organismo de prueba, puesto que sus características facilitan su manipulación en el laboratorio;

fácil reproducción, rápida maduración a la etapa adulta y su habilidad para responder a la exposición a EPTS y contaminantes orgánicos a través de respuesta de evasión conductual (Kaplan y cols., 1980; Deviller, 2009).

1.4.2 Contenedores de prueba

Se usaron contenedores de prueba circulares de acero inoxidable con diámetro de 21 cm, altura de 5 cm y espesor de 3 mm; cada contenedor con seis compartimentos interconectados cada uno de ellos, a través de orificios en las bases de las placas divisorias y éstos a su vez unidos a una cámara central de diámetro de 8 cm y paredes de espesor de 2 mm (Ver figura 1.2).

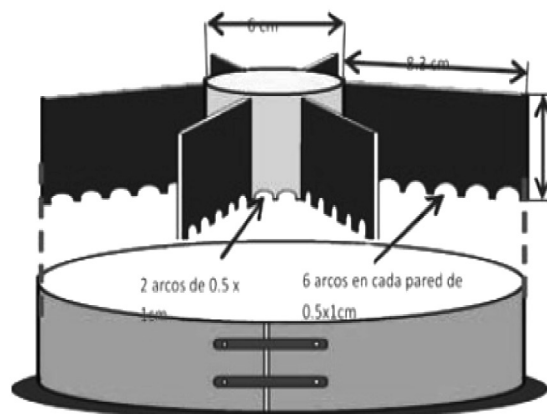


Figura 1.2. Contenedor de prueba de seis compartimentos.

1.4.3 Suelo control

Con fines comparativos se utilizó un suelo control, libre de Pb y As, con un porcentaje de materia orgánica bajo y una alta capacidad de retención de humedad.

1.4.4 Prueba de Migración o Evasión de Lombrices

En la prueba de Migración de Lombrices, se utilizaron las dos pruebas de suelos, se colocaron de manera alternada en los compartimentos, 350 cm³ de una mezcla de suelo control con el suelo de referencia (en una proporción 1:3) y 350 cm³ de una mezcla de suelo control con suelo cercano al jal

(en una proporción 1:3) teniendo así tres compartimentos con suelo contaminado y tres conteniendo suelo del sitio de referencia. El mismo experimento se realizó para el suelo cercano al río. El suelo control se usó para minimizar las variables como el porcentaje de materia orgánica y de humedad. Se colocaron 10 lombrices adultas en el compartimento central. Tras 48 horas de exposición a los suelos contaminados se observó la migración de las lombrices y se calculó el porcentaje de evasión utilizando la siguiente fórmula:

$$E = C - P / L * 100$$

Donde:

E= Porcentaje de Evasión.

C= Número de lombrices en el suelo de referencia.

P= Número de lombrices en el suelo problema (cercano a jal o río).

L= Número total de lombrices expuestas. (EC, 2004; Cuevas y cols., 2012).

1.5 Evaluación de genotoxicidad

Se hizo una valoración del daño genotóxico ocasionado en las lombrices por la exposición a Pb y As durante la prueba de Migración siguiendo el protocolo para ensayo cometa descrito por Singh y cols. (1988) con las modificaciones descritas para fauna terrestre por Cuevas y cols. (2012). Se contabilizaron 100 células por muestra en un microscopio de epifluorescencia Nikon Eclipse E400® empleando el software de análisis de imagen Komet 4.0® (Kinetic Imaging Ltd., Liverpool, UK). Se obtuvieron medidas de daño al ADN como el momento y la longitud de la cola.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1.1 se presentan los parámetros fisicoquímicos experi-

mentales y el contenido de Pb y As de las muestras. El suelo cercano a los jales, tiene un pH neutro con un valor de 7.1 (NOM-021-SEMARNAT-2000; pH 6.6-7.3), mientras que el suelo cercano al río y de referencia dan valores de pH mediamente alcalinos (7.4 a 8.5) con valores respectivamente de pH 7.6 y 7.4. El porcentaje de materia orgánica y de humedad medido fue de 3.2, 3.6, no detectable y 2.3, 3.7 y 4.2%, respectivamente para el suelo cercano a los jales, al río y el suelo de referencia, de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000, se considera un suelo con muy baja humedad con valores <4 % y bajo con valores de 4.1 a 6%. El contenido de Pb en el suelo cercano a los jales superan 2.8 veces los niveles permitidos por la norma mexicana (NOM-147-SEMARNAT-SSA1-2004; 400 mg·kg⁻¹) para suelos de uso agrícola o residencial. Sin embargo el suelo cercano al río y de referencia se encuentran por debajo de este límite. En cuanto al contenido de As supera hasta por 66 veces los niveles permitidos por la normativa mexicana, en el sitio cercano a los jales y 2 veces en el suelo cercano al río (NOM-147-SEMARNAT-SSA1-2004; 22 mg·kg⁻¹). El suelo de referencia se encontró por debajo del límite de As para el uso de suelo agrícola o residencial (15.1 ± 0.7 mg·kg⁻¹). Como se menciona antes, el suelo empleado como control no contenía cantidades apreciables de Pb y As, y poseía un porcentaje de materia orgánica bajo y alta capacidad de retención de humedad.

Muestra	pH	Materia orgánica %	Humedad %	Pb (mg·kg ⁻¹) x̄ ± DE ^a	As (mg·kg ⁻¹) x̄ ± DE ^a
Suelo cercano al jal	7.1	3.2	2.3	1104.0 ± 47.9	1473.7 ± 243.2
Suelo cercano al río	7.6	3.6	3.7	258.6 ± 88.9	52.6 ± 5.8
Suelo referencia	7.4	nd	4.2	150.6 ± 78.3	15.1 ± 0.7
Suelo control	7.1	4.7	26.3	62.8 ± 18.6	9.7 ± 2.2

Tabla 1.1. Propiedades fisicoquímicas y contenido de Pb y As en las muestras colectadas; ^aMedia aritmética ± Desviación estándar; nd= no detectable.

En la figura 1.3 se presenta el porcentaje de evasión observado en la prueba para cada muestra. En el suelo cercano a los jales, se ve una migración del 80% hacia el suelo control.

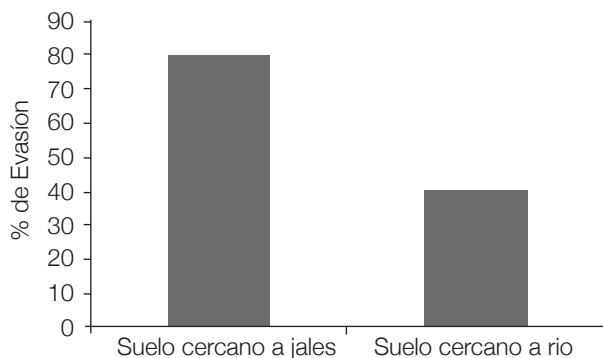


Figura 1.3. Porcentaje de evasión de las lombrices en los suelos recolectados.

Mientras que en el suelo cercano al río un 40% de los organismos migró. En este último suelo sólo el contenido de As rebasaba los límites permitidos por la normativa mexicana.

En la figura 1.4 (a), se da una comparación del parámetro momento [(promedio de cola– prome-

dio de cabeza) × % de DNA en cola/100] entre las lombrices que fueron expuestas a los diferentes suelos. Se percibió una diferencia estadísticamente significativa ($p=0.006$) entre los momentos de las lombrices puestas al suelo cercano al río, comparado con los momentos de las lombrices expuestas al suelo cercano a jales y suelo de referencia (7.6 vs 4.0 y 2.3). En la figura 1.4 (b), se ofrece una comparación en el parámetro longitud de la cola (μm) entre ambas lombrices. Hay una diferencia estadísticamente significativa entre el daño al ADN en las lombrices del suelo de referencia ($p=0.016$), con las del suelo cercano al río. Aunque fue menor el daño al ADN en las lombrices expuestas al suelo cercano al jal (muy probablemente por el alto porcentaje de migración) de manera general, el daño al ADN fue mayor en el las lombrices colocadas en los suelos del sitio contaminado que las expuestas al sitio de referencia.

Estos resultados son similares a los presentados por Espinosa y cols. (2010) en donde se demostró que las lombrices que están cerca a Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPS) en suelos contaminados del estado de Veracruz, tuvieron un daño al material genético mucho mayor al de aquéllas

puestas a suelos de sitios libres de estos contaminantes.

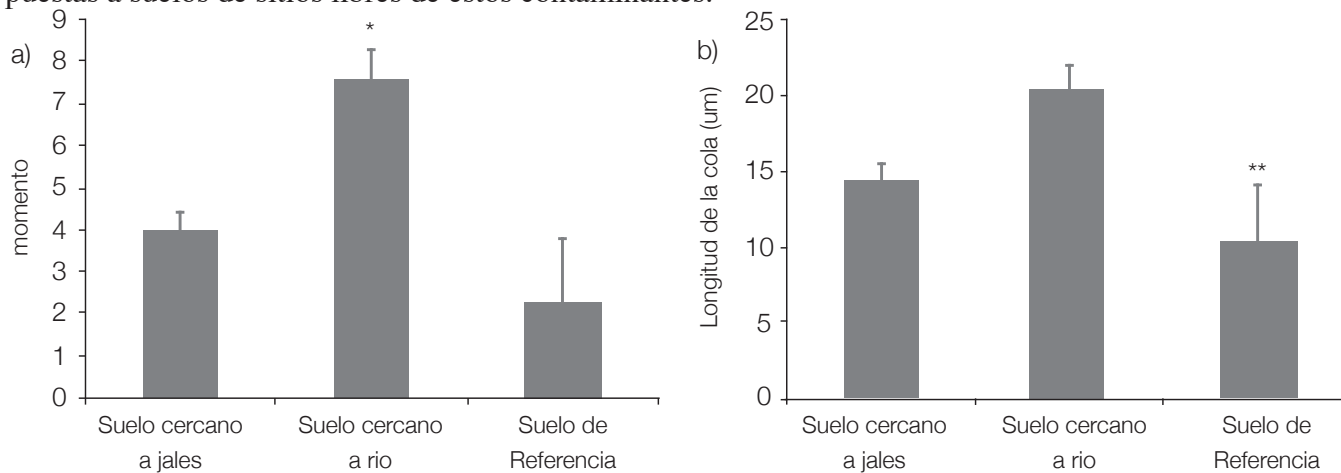


Figura 1.4. Comparación de los parámetros de genotoxicidad, momento (a) y longitud de la cola (b) entre las lombrices expuestas al suelo cercano a jales, cercano al río y aquéllas puestas al suelo de referencia. La diferencia entre las medias fueron

probadas por la prueba de Kruskal-Wallis.

Por su parte Button y cols., (2010) demostraron mediante diversos estudios de la relación dosis-respuesta en lombrices de la especie *Lumbricus terrestris* en presencia de As, que a mayor concentración de dicho contaminante en el suelo, el daño al material genético aumentaba en especies no adaptadas a suelos contaminados. Aunque es de esperarse que las lombrices no adaptadas a medios con estrés presenten un daño mayor, aquellas que habitan en ecosistemas con desequilibrios representan un indicador ideal para evaluar la toxicidad de dicho medio.

CONCLUSIONES

Las lombrices de la especie *Eisenia fétida* fueron capaces de demostrar la toxicidad de los suelos contaminados del distrito minero de “La Aurora”, ubicado en el municipio de Xichú, en Guanajuato. Los organismos evitaron en un 80% el suelo cercano a los jales cuyos niveles de Pb y As sobrepasan los niveles permitidos por la NOM-147-SEMARNAT-SSA1-2004 y en un 40% el suelo cercano al río donde sólo se encontraban elevadas las concentraciones de As en el suelo. La exposición a Pb y As contribuyó a la formación de daño al material genético de los organismos utilizados expuestos a los suelos contaminados por 48 horas. En función de los resultados del presente estudio, existen bases para que la prueba de migración y ensayo cometa con *Eisenia fétida*, puedan ser empleadas en estudios posteriores como biomarcadores de daño en sitios contaminados por metales pesados.

AGRADECIMIENTOS

Dirección de Apoyo a la Investigación y al Posgrado (daip) Proyecto número 116/10. Determinación de la Bioaccesibilidad de Elementos Potencialmente Tóxicos Presentes en Suelos y Jales del Distrito Minero de Guanajuato.

BIBLIOGRAFÍA

- BENTON J. J. (2001). *LABORATORY GUIDE FOR CONDUCTING SOIL TESTS AND PLANT ANALYSIS*. CRC PRESS, 206.
- BUTTON M., GAWEN J., BOWMAN R. T., BOWMAN K., HARRINGTON C., BREWER T., JONES G. & WATTS M. (2010). “DNA DAMAGE IN EARTHWORMS FROM HIGHLY CONTAMINATED SOILS: ASSESSING RESISTANCE TO ARSENIC TOXICITY BY USE OF THE COMET ASSAY.” *MUTAT RES.*, 696, 95-100.
- CUEVAS D. M. C., ESPINOSA R. G. & ILIZALITURRI C. A. (2012). *MÉTODOS ECOTOXICOLÓGICOS PARA LA EVALUACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS*. SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (SEMARNAT) E INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA (INE), 60-67.
- DEVILLERS J. (2009). “ECOTOXICOLOGY MODELING, EMERGING TOPICS IN ECOTOXICOLOGY: PRINCIPLES, APPROACHES AND PERSPECTIVES.” *SPRINGER SCIENCE*, 177- 204.
- DÍAZ B., F., YAÑEZ, L. Y CARRIZALES, L. (2002). “EVALUACIÓN INTEGRAL DEL RIESGO EN SITIOS CONTAMINADOS (UNA PROPUESTA METODOLÓGICA, UASLP). [HTTP://AMBIENTAL.UASLP.MX/DOCS/FDBE-VALRIESGO.PDF](http://ambiental.uaslp.mx/docs/FDBE-VALRIESGO.PDF)
- EDWARDS, C. A. & BOHLEN, P. J. (1996). *BIOLOGY AND ECOLOGY OF EARTHWORMS*. CHAPMAN & HALL, 426.
- ENVIRONMENT CANADA (EC) (2004). “BIOLOGICAL TEST METHODS: TESTS FOR TOXICITY OF CONTAMINATED SOIL TO EARTHWORMS (*EISENIA ANDREI*, *EISENIA FETIDA* OR *LUMBRICUS TERRESTRIS*).” *ENVIRONMENTAL PROTECTION SERIES*, 27, 44-61.
- ESPINOSA R. G., ILIZALITURRI C. A. & GONZÁLEZ M. D. J. (2010). “DNA DAMAGE IN EARTHWORMS (*EISENIA SPP.*) AS AN INDICATOR OF ENVIRONMENTAL STRESS IN THE INDUSTRIAL ZONE OF COATZA-COALCOS, VERACRUZ, MEXICO.” *J. ENVIRON SCI. HEALTH.*, 45, 49 -55.
- FENT K. (1996). “ECOLOGY OF ORGANOTIN COMPOUNDS.” *CRIT. REV. TOXICOL.*, 26.
- KAPLAN D. L., HARTENSTEIN R. & NEUHAUSER E. F. (1980). “PHYSICO-CHEMICAL REQUIREMENTS IN THE

- ENVIRONMENT OF THE EARTHWORMS *EISENIA FETIDA*.” *SOIL BIOLOGY AND BIOCHEMISTRY* 12, 347-352.
- LOUREIRO S., AMADEU M. V. M. & NOGUERIA A. (2005). “TERRESTRIAL AVOIDANCE BEHAVIOR TESTS AS SCREENING TOOL TO ASSESS SOIL CONTAMINATION.” *ENVIRON POL.*, 138, 121-131.
- LOREDO P. R., CRUZ J. G., DE LA ROSA A. MA. G., CASTILLO M. H., ROCHA A. D. O. & REYES A. (2013). “APPLICATION OF SPECTROSCOPIC TECHNIQUES IN THE STUDY OF BIOGEOCHEMICAL BEHAVIOUR OF ARSENIC IN MINE TAILINGS FROM LA AURORA MINING SITE IN GUANAJUATO, MÉXICO.” PROCEEDINGS OF THE 12TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE BIOGEOCHEMISTRY OF TRACE ELEMENTS (ICOBTE) ATHENS, GEORGIA.
- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-SEMARNAT-2000. QUE ESTABLECE LAS ESPECIFICACIONES DE FERTILIDAD, SALINIDAD Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS, ESTUDIO, MUESTREO Y ANÁLISIS.
- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. QUE ESTABLECE SUELOS CONTAMINADOS POR ARSÉNICO, BARIO, BERILIO, CADMIO, CROMO HEXAVALENTE, MERCURIO, NÍQUEL, PLATA, PLOMO, SELENIO, TALIO Y/O VANADIO. CRITERIOS PARA DETERMINAR LAS CONCENTRACIONES DE REMEDIACIÓN.
- RAMOS A. Y. R. & SIEBE G. C. (2006). “ESTRATEGIA PARA IDENTIFICAR JALES CON POTENCIAL RIESGO AMBIENTAL EN UN DISTRITO MINERO: ESTUDIO DE CASO EN EL DISTRITO DE GUANAJUATO, MÉXICO”. *REV. MEX. CIEN GEOL.*, 23, 54-74.
- ROMIEU I. & LÓPEZ S. (2002). “CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Y SALUD DE LOS NIÑOS EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD.” (WHO).
- SINGH N. P., MCCOY M. T. & SCHNEIDER E.L. (1988). “A SINGLE TECHNIQUE FOR QUANTITATION OF LOW LEVELS OF DNA DAMAGE IN INDIVIDUAL CELLS.” *EXP CELL RES.*, 175, 184-191.
- TAYLOR G. K. & OWENS, P. (2009). “SEDIMENTS IN URBAN RIVER BASINS: A REVIEW OF SEDIMENT-CONTAMINANT DYNAMICS IN AN ENVIRONMENTAL SYSTEM CONDITIONED BY HUMAN ACTIVITIES.” *SOIL SED.*, 9, 281-303

Tecnología novel para tratamiento de aguas residuales con filtros orgánicos

Juan Manuel Viguera-Cortés,¹ Dora María Clara Aguilar Reyes,² Marco Antonio Garzón Zúñiga³
y Luis Armando de la Peña Arellano⁴

RESUMEN

Fueron evaluadas dos series de tres biofiltros (BF) a escala laboratorio, con aire y sin aire, con carga hidráulica superficial (CHS) de $0.96 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$ y tasa de aireación de $0.62 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ durante 180 días de funcionamiento continuo. Cada serie tuvo una estructura interna con inserción de 4, 8 y/o 12 divisiones a lo largo de la columna para evitar compactación y pérdida de carga. La fibra de agave fue empleada como soporte para crecimiento de biopelícula durante el tratamiento de aguas residuales municipales. El diseño experimental factorial 2×3 completamente aleatorio se aplicó para análisis de datos. Los BFs son eficientes en la remoción de DBO_5 , SST y HH, con excepción de coliformes fecales. Las divisiones evitaron pérdida de carga hidráulica y compactación. Los efluentes de BFs 3 y 4 cumplieron con estándares nacionales e internacionales para reutilizarlos en riego de áreas verdes, previa desinfección. La fibra de agave como material filtrante es promisorio sin posibilidades de desabasto para proceso de biofiltración.

Palabras clave: biofiltración, fibra de agave, calidad sanitaria del agua.

INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales cuando son descargadas a resumideros ocasionan efectos ambientales adversos, aunado al desperdicio del recurso. Esto es muy común en pequeños generadores que adolecen de tecnología simple, eficiente y económica para el tratamiento de sus desechos líquidos. Para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales se han desarrollado procesos biotecnológicos

aplicados a nivel mundial (Metcalf y Eddy, 1991; Crites y Tchobanoglous, 2000; Mulligani y Gibbs, 2003; Yunusov, 2011). Los procesos de biopelículas desarrollados en tambores rotatorios, filtros percoladores y reactores *air-lift* han sido aprovechados por su alta concentración de biomasa retenida y simplicidad del control de la biomasa (Pylnika y Dueckb, 2011; García-Mesa *et al.*, 2010; Hickman y Rockowitz, 2009).

1-2 Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, CIIDIR IPN Unidad Durango (becario de COFAA). Sigma 119, Fraccionamiento 20 de Noviembre II, 34220, Durango, Durango, México, tel. 618 814 20 91, e Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. jm-viguera@hotmail.com

1 Doctorado en Biotecnología.

2 Maestra en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente.

3 Doctor en Ingeniería Civil. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

4 Doctor en Ciencias Químicas. Instituto Tecnológico de Durango.

En las últimas décadas, se han probado soportes orgánicos para crecimiento de biopelícula como una alternativa técnica, económica y simple que logra eficiencias de remoción igual o mejor que las plantas convencionales (Garzón-Zúñiga y Buelna, 2011). Los materiales empleados incluyen diferentes tipos de turba (Buelna y Bélanger, 1990; Lens *et al.*, 1994), corteza de madera, astillas de madera de pino, guamúchil y jacaranda (Buelna *et al.*, 2011; Ilhan *et al.*, 2011); fibras naturales como fibra de coco (Cristóvão *et al.*, 2012) y fibra de palmas datileras (Ahmad, 2012). Se han manifestado resultados exitosos en el tratamiento secundario de aguas residuales domésticas, agroindustriales y en el pulimiento o tratamiento terciario de efluentes provenientes de plantas de lodos activados (Riahi *et al.*, 2009). La tecnología de película adherida ha sido ampliamente utilizada para remover materia orgánica y nitrógeno de las aguas residuales urbanas a través de procesos biológicos de nitrificación-desnitrificación (Gálvez *et al.*, 2003), herbicidas, insecticidas y antibióticos (Ilhan *et al.*, 2011). En obtención de subproductos como bioetanol, ácidos orgánicos, antibióticos, enzimas, polisacáridos y otros (Chen *et al.*, 2010).

En México, los biofiltros se han aplicado al tratamiento de aguas residuales domésticas y de agroindustrias aprovechando el bajo costo y la disponibilidad de materiales regionales empleando soportes orgánicos como turba, astillas de madera de pino y fibra de agave (Garzón Zúñiga, 2002; Buelna *et al.*, 2011; Garzón Zúñiga *et al.*, 2003; Viguera Cortés *et al.*, 2013). A fin de complementar los trabajos desarrollados por esta última referencia, se evaluaron dos series de biofiltros empacados con fibra de agave como soporte de biopelícula en remoción de materia orgánica medida como demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), material en suspensión como sólidos suspendidos totales (SST) y organismos patógenos (coliformes fecales (CF) y huevo de helmintos (HH)) en BFs con aire y sin aire, con 4, 8 y 12 separaciones con placas inertes perforadas a lo largo de la columna para evitar la

compactación y pérdida de carga, a una carga hidráulica superficial (CHS) de $0.96 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ durante 180 días de operación continua, con la finalidad de encontrar que los efluentes cumplan con los estándares nacionales e internacionales para reúso en sistemas generales de riego.

MATERIAL Y MÉTODOS

La metodología que se muestra es parte culminante de un proceso de investigación donde los BFs fueron sometidos a diferentes cargas hidráulicas superficiales (Viguera Cortés *et al.*, 2013), y en particular se reporta lo que se consideró como la CHS óptima del sistema.

Fibra de agave

La fibra de agave es un residuo sólido que se genera durante el proceso de producción de mezcal a partir de la planta de *Agave durangensis*. Después de cosechadas y jimadas en el campo, las piñas del agave son sometidas a cocimiento en hornos a 450°C por 24 horas. Después de enfriarse pasan al proceso de trituración, desgarrados en molinos y prensas para extraer los jugos azucarados que se utilizan para elaborar el mezcal. El resto de fibra húmeda es retirada a través de una banda transportadora y se tira como un residuo sólido en traspatio, terrenos baldíos y/o agrícolas. El uso de este material no representa impactos negativos al ecosistema debido a que la planta no está en el listado de especies amenazadas. La producción de planta en el 2007, tan sólo en el estado de Durango, México, habían cultivadas 3 972 916 plantas de *A. durangensis* dedicadas exclusivamente para la producción del mezcal. A nivel nacional existían 64 845 856 de plantas (SEDECO, 2008), sin considerar cultivos *A. tequilana* exclusiva para producción de tequila, por lo que la disponibilidad del reúso del recurso está asegurado, con la ventaja que no representa costos a excepción del traslado. La fibra fue proporcionada por la Unión Ejidal Productora de Mezcal de Nombre de Dios, del estado de

Durango, empresa que se dedica a la producción industrial de mezcal.

Preparación del material para empacar los biofiltros

La fibra fue transportada al laboratorio, secada al aire libre, tamizada para eliminar la fracción filtrable en malla 100 y manualmente partes gruesas de materia orgánica. Finalmente, siguiendo la técnica de Garzón *et al.* (2003), se empacaron cada uno de los BFs.

Construcción de los biofiltros

Se construyeron dos series de tres BFs cada una, a nivel de laboratorio, con tubos de pvc hidráulico de acuerdo a Viguera Cortés *et al.* (2013). Los BFs se identificaron con el formato BF1, BF2 y BF3 para los biofiltros con aire con 12, 8 y 4 divisiones, y BF4-6 para los biofiltros sin aire con 4, 8 y 12 separaciones del material de empaque de cada columna, respectivamente. Después de que los biofiltros fueron operados durante 425 días en funcionamiento continuo, a partir de este tiempo, durante 180 días se obtuvieron los resultados con carga hidráulica superficial (CHS) de 0.96 m³/m².día.

Agua residual

Proviene de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la ciudad de Durango, muestreada después del tratamiento primario, recolectada sistemáticamente en el primer pico volumétrico, transportada en garrafones de plástico de 20 y 40 L y almacenada en un tanque cerrado para mantenerla a temperatura constante. El agua es alimentada por la parte superior de cada BF con bombas peristálticas, marca Masterflex modelo 7518-00 y Cole Parmer 7552-10, con cabezal 7018-20, empleando tubería de silicón Masterflex 91716, con flujo de 18 mL/min, a una tasa de aireación de 0.62 m³/m² controlado con flujómetro Dwyer-rma-2.

Caracterización de los efluentes de los biofiltros y del agua residual

Las muestras fueron examinadas para los parámetros de acuerdo con la metodología del método estándar (APHA, 1995): demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) de acuerdo a cinco días por el método 5210 (B); sólidos suspendidos totales (SST) por el método seco 2540 (d). Los coliformes fecales (CF) se determinaron por el Número Más Probable de acuerdo a la norma mexicana NMX-aa-42-1987; huevo de helmintos por el método de flotación con sulfato de zinc por la nmx-aa-113-scfi-1999, pH y conductividad por método electrométrico. La caída de presión en BFs aireados se registró en mm en una columna de agua en forma de “U” con tubería de silicón.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Se aplicó un diseño factorial de 2x3 completamente al azar, teniendo como variables: 1) con aire y sin aire, 2) tres diferentes separaciones de la columna empacada (4, 8 y 12 divisiones), una interacción aire*divisiones y la temperatura (t) del agua a la entrada de los biofiltros como covariable. El análisis estadístico se efectuó con el software Statistica V.7.0.61 (Stat Soft, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Agua residual

En la tabla 1 se exponen los promedios de los parámetros analizados en las pruebas de agua residual. Por su concentración en los parámetros estudiados, se considera como un agua residual de concentración media (Metcalf y Eddy, 1991).

Tabla 1. Concentración promedio de los parámetros del agua residual.

Parámetros	Agua residual \pm DE
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	287 \pm 21
Demanda química de oxígeno (mg/L)	534 \pm 54
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	17.7 \times 10 ⁶ \pm 13.2 \times 10 ⁶
Huevo de helmintos (núm. huevos/L)	6 a 11
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	74 \pm 9
pH	7.04 \pm 0.32
Conductividad eléctrica (μ /cm)	792 \pm 29
* DE =Desviación estándar	

La remoción de materia orgánica

Las figuras 2 y 3 exhiben el comportamiento de remoción de la concentración promedio de DBO₅ en BFs con aire y sin aire, respectivamente. El símbolo +arc significa agua residual cruda.

La concentración promedio final fue de 21 \pm 15, 20 \pm 16 y 18 \pm 12 mg/L en BF1-3 y para BF4-6 se obtuvo 20 \pm 7, 23 \pm 10 y 24 \pm 11 mg/L de DBO₅.

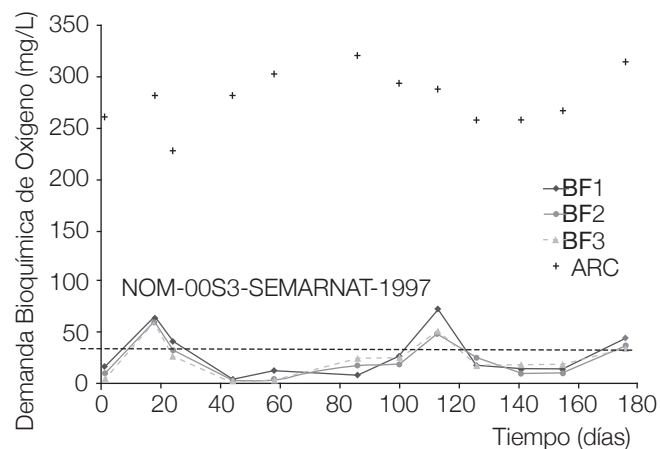


Figura 1. Remoción de la demanda bioquímica de oxígeno en biofiltros con aire.

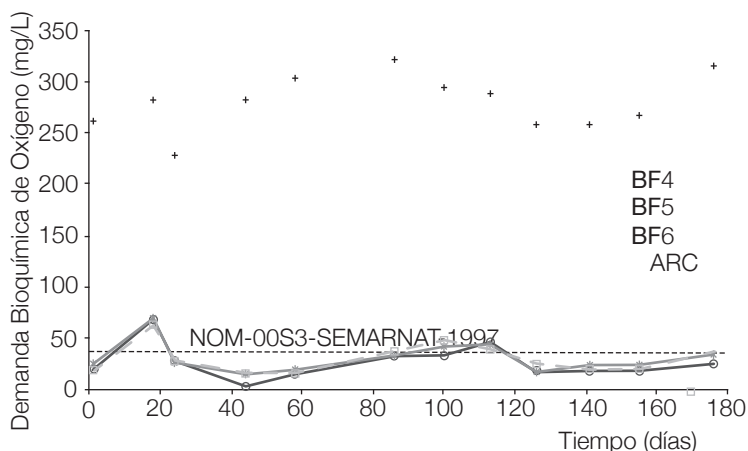


Figura 2. Remoción de la demanda bioquímica de oxígeno en biofiltros sin aire.

De acuerdo a los resultados del análisis de covarianza (ANCOVA), el intercepto y la t resultaron estadísticamente significativos ($\alpha = 0.05$). El rango de temperatura óptimo de remoción de la DBO₅ estuvo entre 26 y 28°C, por lo que la población microbiana responsable de la degradación de la materia orgánica se estima de tipo mesofílica (Gaudy y Gaudy, 1988). De igual modo, el estudio de Medias (Método de Fisher), el mejor tratamiento se obtiene en BFs aireados. Los efluentes de los BFs 3 y 4, ambos con cuatro divisiones en la columna empacada con fibra de agave, cumplen con los parámetros máximos permisibles de descarga que marca la Norma Oficial Mexicana NOM-003-se-marnat-1997 y la norma internacional de la USA-EPA (2004), que es de 30 mg/L. La máxima eficiencia de remoción de la DBO₅ fue 93.5 y 92.6% en BFs con y sin aire. Los resultados obtenidos en esta investigación son superiores a los encontrados por Yoon, *et al.* (2008), quienes obtuvieron 88.5% de DBO₅ empleando material soporte sintético; Lens *et al.* (1994) reportaron 90% de eficiencia de remoción de DBO₅ usando turba como medio filtrante. Corley *et al.* (2006) empleando turba y agua residual artificial y obtuvieron 94% de DBO₅. Mulligan y Gibbs (2003), producen 90 a 95% utilizando turba. Esto sugiere que la fibra de agave como material soporte de la columna es más eficiente que la turba y materiales sintéticos, aunado a la ventaja de que este material no tiene valor económico, ex-

cepto su traslado.

Remoción de sólidos suspendidos totales

Las figuras 3 y 4 ilustran la remoción de SST de BF5 con aire y sin aire,

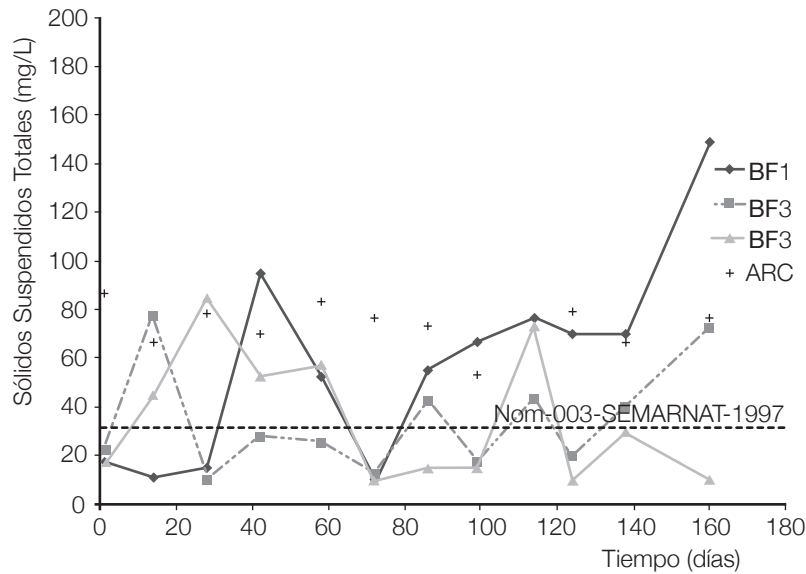


Figura 3. Remoción de sólidos suspendidos totales en biofiltros con aire.

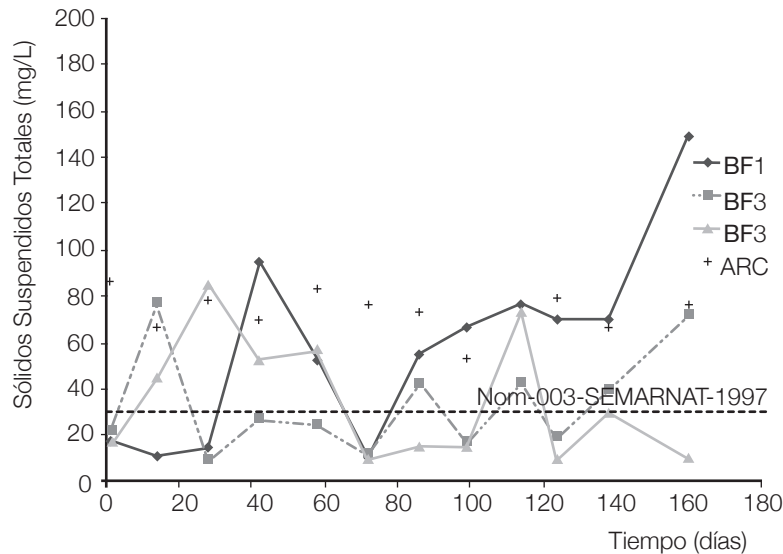


Figura 4. Remoción de sólidos suspendidos totales en biofiltros sin aire.

De acuerdo al ANCOVA, el intercepto, el factor aire, la covariable T y la interacción aire*divisiones fueron estadísticamente significativos ($\alpha = 0.05$). En cuanto al estudio de Medias (Método de Fisher) los BF5 sin aire fueron más eficientes en la remoción de SST y el mejor biofiltro fue el BF6 con 12

divisiones seguido del BF5, con concentraciones de 18.1 ± 7.9 y 20.4 ± 7.6 mg/L SST, respectivamente.

La concentración promedio de remoción de SST, en las dos series de BF5 fue de 37.2 ± 12.3 mg/L y 20.4 ± 8.7 mg/L para los BF5 aireados y sin aire, que representa una eficiencia de remoción fue de 57.9 y 75.5%.

Los resultados de los BF5 sin aire son ligeramente más altos a los obtenidos por Lents *et al.* (1994), quienes obtuvieron 72% de eficiencia empleando astillas de madera, pero más bajos a los obtenidos por Buelna *et al.* (2011), quienes obtuvieron 95% de SST con una CHS de 0.076 m^3 de agua residual/ $\text{m}^2 \text{ d}$, que es 12 veces más baja a la que se aplicó en esta investigación empleando astillas de tabachín (*Caesalpinia pilcherrima*) y jacaranda (*Jacaranda mimosifolia*).

Una de las posibles causas de obtener baja eficiencia de remoción de SST en los BF5 aireados podría deberse a que la fibra de agave fue probada en tiempo prolongado, y presentó una degradación biológica importante en su estructura, lo que incrementó la concentración de los SST (Vigueras Cortés, *et al.*, 2013). Esta condición sugiere que durante esta etapa de operación, la fibra podría reaccionar, y así asegurar que la eficiencia de los parámetros evaluados se cumpla e incremente el tiempo de operación de los biofiltros. Al respecto, Buelna *et al.* (2011) mencionan que el tiempo de uso del soporte orgánico dura cinco años. A pesar de esta condición, se obtuvo una remoción aceptable en BF5 sin aire, que cumplieron con estándares nacionales e

internacionales de <30 mg/L de SST, lo que sustenta que el uso de este novel material es aceptable para el proceso de biofiltración.

Remoción de microorganismos patógenos

Las figuras 5 y 6 explican la remoción de los coliformes fecales en BF's aireados y sin aire, respectivamente.

Figura 5. Remoción de coliformes fecales en biofiltros con aire.

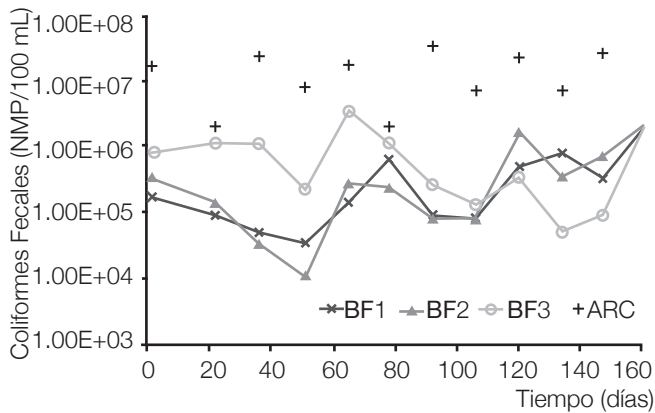
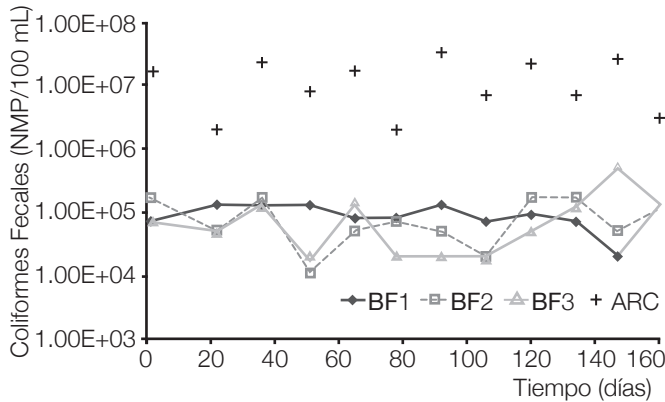


Figura 6. Remoción de coliformes fecales en biofiltros sin aire.

De acuerdo a la ANCOVA el intercepto y el factor aire resultaron estadísticamente significativos ($\alpha = 0.05$). En el análisis de Medias (Método de Fisher) los BF's aireados son los más eficientes con ocho divisiones. La concentración promedio de CF en los efluentes en la serie de biofiltros aireados fue de $9.01 \times 10^4 \pm 8.1 \times 10^4$ NMP/100 mL mientras que en los biofiltros sin aire fue $5.9 \times 10^5 \pm 8.3 \times 10^5$ NMP/100 mL. Las eficiencias promedio fueron de 99.3 y 95.7% para los BF's aireados y sin aire. Estas eficiencias no alcanzan los estándares establecidos por la normatividad (NOM-003-SEMARNAT-1997), que es de 1000 NMP/100 mL. Mulligan y Gibbs (2003) encontraron una eficiencia de 90 y 99% con

turba y materiales sintéticos. Jamwal *et al.* (2009) reportaron 98% de eficiencia de remoción de CF en los procesos BIOFORE. Con la finalidad de cumplir con los estándares, se sugiere reponer o suministrar nuevo material filtrante fresco en la columna para cumplir con la normatividad en materia de descarga de aguas tratadas.

Por otro lado, para reutilizar los efluentes en riego de áreas verdes, los CF se requieren alcanzar 4 o 5 unidades log (<1000 NMP/100 mL) de remoción sometidos a desinfección con gas cloro, como lo hacen la mayoría de las plantas de tratamiento.

En cuanto a los huevos de helmintos, las dos series de BF's se obtuvo <1.0 huevo/L y la norma establece ≤ 5.0 h/L, por lo cumplieron con NOM-003-SEMARNAT 1997 y USA-EPA (2004), ya que corresponde a 99 y 100% de eficiencia de los BF's con aire y sin aire, lo que asegura un manejo sanitario seguro de los efluentes.

Respecto al pH promedio de los biofiltros con aire se mantuvieron en 7.03 ± 0.35 , mientras que para los biofiltros sin aire fue de 6.9 ± 0.11 . Estos valores son propios de un sistema biológico de aguas residuales de película adherida (Cohen, 2001).

En cuanto a conductividad eléctrica, los efluentes dieron un promedio de 795 ± 105 μ S/cm, concentración muy baja que no origina ningún proble-

ma de salinidad en suelos y ni efecto adverso en el cultivo de plantas. Cabe destacar que los efluentes de BFs con aire, no ocasionaron olor desagradable y en los dos sistemas de BFs al inicio de la investigación exhibieron un color café oscuro, producto del arrastre de sustancias caramelizadas durante el proceso de cocimiento de las piñas y que con el tiempo de operación. éstas son lixiviadas y/o degradadas por los microorganismos que se desarrollan en la biopelícula. Es importante que este parámetro que no se tomó en cuenta en el diseño experimental, pero que por su importancia ambiental y posterior manejo de los efluentes, le da una calidad estética agradable para su reutilización.

Por lo que, a la presencia de divisiones en la columna empacada de los BFs, éstas tuvieron un efecto positivo en la operación de ellos, ya no hubo pérdida de carga hidráulica o compactación del material filtrante.

Finalmente, el hecho de que en algunos BFs presentaran la baja eficiencia en alguno de los parámetros, se debió posiblemente a la pérdida de volumen de la fibra y por el efecto cortante del flujo de agua sobre la biopelícula que pudo ocasionar su desprendimiento (Cohen, 2001).

CONCLUSIONES

La fibra de agave es un material filtrante promisorio para el proceso de biofiltración sin posibilidades de escasez ni afecto al ecosistema, ya el *A. durangensis* no se encuentra en peligro de extinción. Los resultados son prometedores en cuanto al empleo de la fibra, ya que aparte de la eficiencia de remoción de materia orgánica, materiales suspendidos y huevo de helmintos, durante el periodo de estudio no hubo pérdida de carga hidráulica, lo que favorece el mayor tiempo de vida útil de los biofiltros. Sin embargo, son deficientes en la remoción de coliformes fecales, por lo que al igual que la mayoría de las plantas de tratamiento mecanizado, para reutilización segura, los efluentes deben ser sometidos a una desinfección. Aún con esta opción, los efluen-

tes cumplen con los estándares que establecen la NOM-003-SEMARNAT-1997 y la de USA-EPA (2004) para reutilizarse en riego de áreas de verdes, con reúso en servicios al público con contacto indirecto u ocasional, como lo marca la normatividad. Finalmente, los biofiltros por su bajo costo de construcción, operación y mantenimiento pueden aplicarse para tratar aguas residuales de pequeños generadores incluyendo las de comunidades rurales.

BIBLIOGRAFÍA

- AHMAD, T., DANISH, M., RAFATULLAH, M., GHAZALI, A., SULAIMAN, O., HASHIM, R. AND IBRAHIM, M.N.M. (2012). "THE USE OF DATE PALM AS A POTENTIAL ADSORBENT FOR WASTEWATER TREATMENT: A REVIEW." *ENVIRON SCI POLLUT R.*, 19: 1464-1484.
- APHA-AWWA-WEF. (1995). *STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER*. 19TH EDITION, WASHINGTON.
- BERTIN, L., COLAO, M.C., RUZZI, M., MARCHETTI, L. AND FAVA, F. (2006). "PERFORMANCES AND MICROBIAL FEATURES OF AN AEROBIC PACKED-BED BIOFILM REACTOR DEVELOPED TO POST-TREAT AN OLIVE MILL EFFLUENT FROM AN ANAEROBIC GAC REACTOR." *MICROB CELL FACT*, 5:16.
- BUELNA, G. AND BÉLANGER, G. (1990). "BIOFILTRATION A BASE DE TOURBE POUR LE TRAITEMENT DES EAUX USÉES DES PETITES MUNICIPALITÉS. (PEAT-BASED BIOFILTRATION FOR SMALL MUNICIPALITIES WASTEWATER TREATMENT)." *SCI TECH EAU*, 23: 259-264.
- BUELNA, G., GARZÓN-ZÚÑIGA, M.A. Y MOELLER-CHÁVEZ, G. (2011). "LOS BIOFILTROS DE EMPAQUE ORGÁNICO: UNA ALTERNATIVA SIMPLE, ROBUSTA Y EFICIENTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN ZONAS RURALES", *IDE@S CONCYTEG*, 6 (71), 541-552.
- CHAUDHARY, D., VIGNESWARAN, S., HUU-HAO NGO; SHIM, W.G. AND MOON, H. (2003). "BIOFILTER IN WATER AND WASTEWATER TREATMENT." *KOREAN J. CHEM. ENG.*, 20 (6), 1054-1065.

- CHENG, K.C., DEMIRCI, A. AND CATCHMARK, J.M. (2010). "ADVANCES IN BIOFILM REACTORS FOR PRODUCTION OF VALUE-ADDED PRODUCTS." *APPL. MICROB. BIOTECHNOL.*, 87: 445-456
- COHEN, Y. (2001). "BIOFILTRATION –THE TREATMENT OF FLUIDS BY MICROORGANISMS IMMOBILIZED INTO THE FILTER BEDDING MATERIAL." A REVIEW. *BIORESOURCETECHNOL.* 77, 257-274.
- CORLEY, M., ROGERS M., MULQUEEN, J., AND CLIFFORD, E. (2006). THE PERFORMANCE OF FIBROUS PEAT BIOFILTERS IN TREATING DOMESTIC STRENGTH WASTEWATER. *J. ENVIRON. SCI. HEAL A*, 41(5): 811-824.
- CRISTÓVÃO, R.O., SILVÉRIO, S.C., TAVARES, A.P.M., BRÍGIDA, A.I.S., LOUREIRO, J.M., BOAVENTURA, R.A.R., MACEDO, E.A., AND COELHO M.A.Z. (2012). "GREEN COCONUT FIBER: A NOVEL CARRIER FOR THE IMMOBILIZATION OF COMMERCIAL LACCASE BY COVALENT ATTACHMENT FOR TEXTILE DYES DECOLOURIZATION." *WORLD J. MICROB. BIOTECHNOL.*, 28: 2827-2838.
- CRITES, R. AND TCHOBANOGLIOUS, G. (2000). *SISTEMA DE MANEJO DE AGUAS RESIDUALES PARA NÚCLEOS PEQUEÑOS Y DESCENTRALIZADOS. TOMO III.* MC GRAW HILL, USA.
- GÁLVEZ, J.M., GÓMEZ, M.A., HONTORIA, E., AND GONZÁLEZ-LÓPEZ, J. (2003). INFLUENCE OF HYDRAULIC LOADING AND AIR FLOWRATE ON URBAN WASTEWATER NITROGEN REMOVAL WITH A SUBMERGED FIXED-FILM REACTOR. *J. HAZARD MATER*, 101: 219-229.
- GARCÍA-MESA, J.J., POYATOS, J.M., DELGADO, F., AND HONTORIA, E. (2010). *THE INFLUENCE OF BIOFILM TREATMENT SYSTEMS ON PARTICLE SIZE DISTRIBUTION IN THREE WASTEWATER TREATMENT PLANTS.* *WATER AIR SOIL POLL*, 212: 37-49.
- GARZÓN ZÚÑIGA, M.A. (2002). "TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE GRANJA DE PUERCO POR BIOFILTRACIÓN AIREADA SOBRE CAMA DE TURBA." *MEMORIAS DEL XXVIII CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL CANCÚN, MÉXICO, 27 AL 31 DE OCTUBRE, 2002.*
- GARZÓN-ZÚÑIGA, M.A., LESSARD, P., AND BUELNA G. (2003). "DETERMINATION OF THE HYDRAULIC RESIDENCE TIME IN A TRICKLING BIOFILTER FILLED WITH ORGANIC MATTER." *ENVIRON. TECHNOL.*, 24: 605-614.
- GARZÓN-ZÚÑIGA, M. A. AND BUELNA, G. (2011). "TREATMENT OF WASTEWATER FROM A SCHOOL IN A DECENTRALIZED FILTRATION SYSTEM BY PERCOLATION OVER ORGANIC PACKING MEDIA." *WATER SCI. TECHNOL.*, 64 (5), 1169-1177.
- GAUDY, A.F. AND GAUDY, E.T. (1988). *ELEMENTS OF BIOENVIRONMENTAL ENGINEERING.* ENGINEERING, PRES INC., USA.
- HICKMAN, J.M. AND ROCKOWITZ, S.I. (2009). "WASTEWATER TREATMENT AND ANALYSIS OF FIXED FILM SYSTEMS." DB THESIS. WORCESTER POLYTECHNIC INSTITUTE. WORCESTER, MASSACHUSETTS, US.
- ILHAN, Z.E., ONG, S.K., AND MOORMAN, T.B. (2011). "HERBICIDE AND ANTIBIOTIC REMOVAL BY WOODCHIP DENITRIFICATION FILTERS: SORPTION PROCESSES." *WATER AIR SOIL POLL*, DOI 10.1007/s11270-011-1057-5.
- JAMWAL, P., MITTAL, A. AND MOUCHEL, J.M. (2009). "EFFICIENCY EVALUATION OF SEWAGE TREATMENT PLANTS WITH DIFFERENT TECHNOLOGIES IN DELHI (INDIA)." *ENVIRON. MONIT. ASSESS*, 153: 293-305.
- JIANG, X., COLES, C.A., AND ASAPO, E.S. (2008). "REVIEW OF PRE-TREATED PEAT APPLIED IN TREATING DOMESTIC WASTEWATERS AND OILY WATERS." *GEO EDMOND*: 668-674.
- LENS, P.N., VOCHTEN, P.M., SPELEERS, L., AND VERSTRAETE, W.H. (1994). "DIRECT TREATMENT OF DOMESTIC WASTEWATER BY PERCOLATION OVER PEAT, BARK AND WOODCHIPS." *WATER RES*, 28 (1): 17-26.
- LOUPASAKI, E. AND DIAMADOPOULOS, E. (2013). "ATTACHED GROWTH SYSTEMS FOR WASTEWATER TREATMENT IN SMALL AND RURAL COMMUNITIES: A REVIEW." *J. CHEM TECHNOL BIOTECHNOL*, 88: 190-204.
- METCALF AND EDDY. (1991). *WASTEWATER ENGINEERING: TREATMENT, DISPOSAL AND REUSE.* THIRD EDITION, MAC GRAW HILL, USA.
- MULLIGAN, C.N AND GIBBS, B.F. (2003). "INNOVATIVE BIOLOGICAL TREATMENT PROCESSES FOR WAS-

- TEWATER IN CANADA.” *WATER QUAL RES J CAN*, 38 (2): 243-265.
- NMX-AA-113-SCFI-1999. ANÁLISIS DE AGUA-DETERMINACIÓN DE HUEVOS DE HELMINTOS, MÉXICO.
- NMX-AA-42-1987. CALIDAD DEL AGUA DETERMINACIÓN DEL NÚMERO MÁS PROBABLE (NMP) DE COLIFORMES TOTALES, COLIFORMES FECALES (TERMOTOLERANTES) Y *ESCHERICHIA COLI* PRESUNTIVA, MÉXICO.
- NOM-003-SEMARNAT-1997. QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS QUE SE REUSEN PARA USO PÚBLICO, SEMARNAT, MÉXICO.
- PAGANS, E., FONT X., AND SÁNCHEZ, A. (2006). “ADSORPTION, ABSORPTION, AND BIOLOGICAL DEGRADATION OF AMMONIA IN DIFFERENT BIOFILTER ORGANIC MEDIA.” *BIOTECH BIOENG*, 97 (3): 515-525.
- PYLNKA, S. V. AND DUECKB, I. G. (2011). “MODELING OF SUBSTRATE CONSUMPTION BY A BIOFILM ON THE SURFACE OF A ROTATING PARTIALLY SUBMERGED DISK.” *THEORETICAL FOUNDATIONS OF CHEMICAL ENGINEERING*, 45 (1): 13-20.
- RIahi, K., MAMMOU A. B., AND THAYER, B. B. (2009). “DATE-PALM FIBERS MEDIA FILTERS AS A POTENTIAL TECHNOLOGY FOR TERTIARY DOMESTIC WASTEWATER TREATMENT.” *J. HAZARD MATER*, 161 (2-3): 608-613.
- SEDECO (2008). NUESTRO MEZCAL ES DURANGUENSE. GOBIERNO DEL ESTADO DE DURANGO, MÉXICO. WWW.DURANGO.GOB.MX/FILE/7377 (ACCESSED SEPTEMBER 10, 2011).
- STAT SOFT. (2004). STATISTICA V 7.0.61.0 SOFTWARE. COPYRIGHT © STAT SOFT, INC 1984-2004, USA.
- USA-EPA (2004). *GUIDELINES FOR WATER REUSE*. EPA/625/R-04/108. U.S. AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT WASHINGTON, DC.
- VIGUERAS-CORTÉS, J.M., VILLANUEVA-FIERRO, I., GARZÓN-ZUÑIGA, M.A., NÁVAR-CHÁIDEZ, J.J., CHAIRES-HERNÁNDEZ, I. AND HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ C. (2013). “PERFORMANCE OF A BIOFILTER SYSTEM WITH AGAVE FIBER FILTER MEDIA FOR MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT.” *WATER SCI. TECHNOL.* 68 (3): 599-607.
- WIK T. (2003). “TRICKLING FILTERS AND BIOFILM REACTOR MODELING.” *ENVIRON. SCI. BIOTECHNOL.*, 2: 193-212.
- YOON, C.G., KIM, S.B., KWUN, T.Y., AND JUNG K.W. (2008). “DEVELOPMENT OF NATURAL AND ECOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT SYSTEM FOR DECENTRALIZED COMMUNITY IN KOREA.” *PADDY WATER ENVIRON*, 6: 221-227.
- YUNUSOV, K.B. (2011). “IMPROVING ECOLOGICAL PARAMETERS OF WASTEWATER BY INTEGRATING VARIOUS CLEANING METHODS.” *CHEM. PETROL. ENG.* 47 (1-2): 133-139, (*RUSSIAN ORIGINAL NOS. 1-2, JAN.-FEB., 2011*).

Instructions to Authors

The Editorial Board of the journal **Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ**, invites authors to submit manuscripts under three categories: research articles, short manuscripts (which will be short articles showing results of undergraduate thesis and written by the undergraduate students, reviewed by their advisers), and invited reviews. Manuscripts should be sent to the Editor in Chief, according to the following specifications:

1. Papers should be from original research and with scientific content.
2. Once published, articles cannot be published elsewhere in the same form, in any language, without the consent of UACJ publishers.
3. Papers may be: research articles, short manuscripts and invited reviews, belonging to the fields of natural or exact sciences (biology, life sciences, chemistry, mathematics, physics, etc). Final decisions concerning acceptability of the manuscripts will be made by the Editorial Board.
4. Papers may be written in English, Spanish or any Romance language. If a translation to Spanish is submitted, the text in original language should also be provided. Abstracts written both in Spanish and English should also be provided.
5. Originals are not sent back.
6. If the author fails to respond to the final comments of the Editorial Board of *Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ*, the journal can make editing changes which do not modify the original content of the article.
7. Papers should meet the following format:
 - Short and concise title, written in both English and Spanish or Romance languages.
 - A brief abstract between 40 and 150 words, which should also be written in both languages.
 - Name and nationality of authors.
 - Affiliation of authors, including highest degree and research field of all authors.
 - Author affiliations should be included as footnotes starting from number 1.
 - Ex. Ramírez, J. L.¹ y Martínez, R.²
¹ Universidad de Puebla, México.
² Universidad de Santiago Compostela, España.
 - Footnotes should be posted at the bottom left side of the page where they are mentioned.
 - Specify type of paper, *i.e.* Research article, Short manuscript or Invited review.
 - Postal address of the corresponding author, which includes: telephone, fax and e-mail. Corresponding author should be highlighted with an asterisk (*) mark.
 - Manuscripts should be submitted in triplicate, printed in one side only, letter or A4 size paper, double-spaced, with margins of 3 cm.
 - A disk copy of the manuscript in WinWord 6.0 or higher, should also be provided. Figures and tables should be sent in Excel or WinWord 97, each saved in a different file.
 - For Research articles, manuscript length should be between 10 and 30 pages, plus figures and tables. Short manuscripts should be shorter than 10 pages, plus figures and tables.

- Figures and tables should be mentioned in the text, and numbered in arabic numbers. The software in which they were created should be mentioned.
- Figure and table legends should be concise and understandable, and should be listed at the end of the manuscript (after references).
- Bibliographic references should be quoted in the text by writing the last name of the first author and publication year between parenthesis. References will be included at the end of the text, ordered alphabetically.
- In references for book titles, capital letters should be used only at the beginning of the title and on authors names.
- When using acronyms, the full meaning of them should be provided when mentioned for the first time.
- Bibliographic references should be formatted as follows:

Book references:

Author's last name, first name (year). *Book title.*
City: Editorial, total pages.

Ex:

Foucault, Michael (1984). *Las palabras y las cosas.* México: Siglo XXI, 200 pp.

Book section references:

Author's last name, first name (year). "Section title". En: Editor's name and last name (ed.). *Book title.* City: Editorial, pages.

Ex:

Levine, Frances (1991). "Economic Perspectives on the Comanchero Trade". En: Catherine A. Spielmann (ed.). *Farmers, Hunters and Colonists.* Tucson, AZ: The University of Arizona Press, 155-169.

Journal references:

Auhor's last name, first name's initials; other authors (year). "Article's title". *Journal abbreviation,* volume, pages.

Ex:

Sagara, Y., Fernández-Belda, F., De Meis, L. e Inesi, G. (1992). "Characterization of the Inhibition of Intracellular Ca²⁺ Transport ATPases by Thapsigargin". *J. Biol. Chem.,* 267, 12606-12613.

Rivas-Cáceres, R. (1999). "Médanos de Samalayuca. Un urgente reclamo, una estrategia emergente". *Ciencia en la Frontera,* 1, 29-32.

Normas de publicación para los autores

El Comité Editorial de la revista *Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ*, acoge con gusto propuestas de artículos para su publicación, bajo dos modalidades: artículos de investigación y artículos síntesis de investigación o Revisiones sobre tópicos de ciencia en general. Los manuscritos pueden estar derivados de tesis de pregrado o posgrado. Las normas establecidas para la publicación son las siguientes:

1. Los trabajos deberán ser de calidad científica e inéditos avalados por un investigador de carrera.
2. Una vez publicado el artículo, los derechos de autor pasan a la UACJ.
3. Los artículos pueden ser de investigación original, revisiones invitadas (actualizaciones en temas de investigación) o comunicaciones breves (avances de investigación), los cuales deberán referirse a las áreas de ciencias naturales y exactas, ajustándose al dictamen del Comité Editorial, el que evalúa su contenido científico de calidad y decide sobre la pertinencia de su publicación.
4. Los trabajos pueden ser enviados para su publicación en idioma inglés o español. Si se envía una traducción al español, hay que adjuntar el texto también en forma original. Los artículos deberán incluir resumen en español seguido de uno en inglés (y viceversa).
5. No se devuelven los originales.
6. En caso de que el autor no responda después de haberse presentado las correcciones o dudas de su trabajo, la revista *Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ*, se reserva el derecho de hacer los cambios de edición sin modificar el contenido original de la obra.
7. Los trabajos deben ajustarse a los siguientes requisitos (de no cumplirse con ellos, no se considerarán para su publicación):
 - Título del trabajo, breve y conciso en inglés y español.
 - Un resumen del contenido de una extensión aproximada de 40 palabras como mínimo y 150 palabras como máximo, que deberá estar en inglés y español.
 - Nombre de los autores. De la manera tal y como los autores desean que aparezca en la versión impresa.
 - Adscripción de todos los autores, incluyendo el máximo grado de estudios y área de especialización.
 - La institución de adscripción de los autores participantes deberá incluirse como un pie de página, comenzando con el número 1.
 - Ejemplo: Ramírez, J. L.¹ y Martínez, R.²
¹ Universidad de Puebla, México.
² Universidad de Santiago Compostela, España.
 - Naturaleza del trabajo: artículo de investigación, avance de investigación, etcétera.
 - Dirección para correspondencia que incluya: teléfono, fax y correo electrónico. El nombre del autor al cual se dirigirá la correspondencia debe indicarse con un asterisco (*) y la leyenda "Autor para correspondencia".
 - La extensión del trabajo deberá ser de un mínimo de 10 cuartillas de texto más las figuras, y de un máximo de 30 cuartillas más las figuras para un artículo de investigación. La extensión de los avances de investigación deberá ser de un máximo de 10 cuartillas de texto más las figuras.
 - Las ilustraciones, cuadros y fotografías deberán referirse dentro del texto, enumerándose en el orden que se citan en el mismo, e indicar el programa de cómputo en el que están elaborados.

- Los pies de figura deberán ser explícitos sin necesidad de leer el texto principal. Deberán incluirse en un listado después de la bibliografía.
- Las referencias bibliográficas deben asentarse de la forma convencionalmente establecida en español, indicando éstas en el cuerpo del texto con los apellidos del primer autor y año de publicación entre paréntesis, y los datos bibliográficos al final del escrito. La bibliografía se presenta al final del artículo por orden alfabético.
- Al citar los títulos de libro, se deben utilizar mayúsculas solo al inicio y en nombres propios.
- Al menos la primera vez, debe proporcionarse la equivalencia de las siglas empleadas en el texto, en la bibliografía y en los cuadros y las figuras.
- Distribuir los datos de las referencias bibliográficas de la siguiente manera:

Referencia de libro:

Apellido(s), nombre(s) del autor (año). *Título del libro.* Lugar: Editorial, número de páginas totales.

Ejemplo:

Foucault, Michael (1984). *Las palabras y las cosas.* México: Siglo XXI, 30-45.

Referencia de capítulo de libro:

Apellido(s), nombre(s) del autor (año). “*Título del capítulo*”. En: Nombre(s) y apellido(s) del editor (ed.). *Título del libro.* Lugar: Editorial, páginas.

Ejemplo:

Levine, Frances (1991). “*Economic Perspectives on the Comanchero Trade*”. En: Catherine A. Spielmann (ed.). *Farmers, Hunters and Colonists.* Tucson, AZ: The University of Arizona Press, 155-169.

Referencia de revista:

Apellido(s) del autor, inicial(es); otros autores (año). “*Título del artículo*”. *Nombre de la revista,* abreviado según el Index Medicus journal abbreviations: <http://www.nlm.nih.gov/tsd/serials/lji.html>, volumen, páginas.

Ejemplos:

Sagara, Y., Fernández-Belda, F., De Meis, L. e Inesi, G. (1992). “Characterization of the Inhibition of Intracellular Ca²⁺ Transport ATPases by Thapsigargin”. *J. Biol. Chem.*, 267, 12606-12613.

Rivas-Cáceres, R. (1999). “Médanos de Samalayuca. Un urgente reclamo, una estrategia emergente”. *Ciencia en la Frontera*, 1, 29-32.

SOBRE LA REMISIÓN DE ARTÍCULO Y EL PROCESO EDITORIAL

Remitir el original por correo electrónico a:

ciencia.frontera@uacj.mx
con atención al Comité Editorial

Indicar los nombres y datos de contacto de 2 revisores que se sugieran para dictaminar el artículo.

Los datos de contacto son:

Nombre completo del revisor.
Adscripción: institución, dependencia, departamento, grupo de trabajo.
Correo electrónico.
Números de teléfono y fax.
Dirección con código postal.

- El Comité Editorial acusará recibo del trabajo mediante correo electrónico. No se extienden oficios por la recepción del manuscrito. La recepción del manuscrito no garantiza su publicación.
- Posteriormente a un tiempo de dictamen de un mes máximo, el Comité Editorial remite, vía correo electrónico, el trabajo a sus autores, para que realicen las modificaciones que hubiera con base en las acotaciones de los dictaminadores.
- Los autores remitirán la segunda versión del ma-

nuscrito en un plazo máximo de 2 semanas y el Comité Editorial acusa recibo mediante correo electrónico. En caso de no recibir la versión corregida en este plazo, el Comité se reserva el derecho de descartar la publicación y su posterior remisión se considerará como un nuevo proceso.

- No se emitirán oficios por la recepción de los trabajos corregidos.
- Posteriormente a la recepción del artículo en su versión definitiva, el Comité Editorial emite un acuse de recibo por correo electrónico y anunciará el proceso de revisión de galeras y publicación. Durante éste, el Comité Editorial trabaja en conjunto con la Subdirección de Publicaciones de la UACJ.
- No se emiten oficios por cada artículo aceptado para publicación.
- Cada fascículo se incluye en la página de publicaciones periódicas de la UACJ, bajo la dirección:

<http://www.uacj.mx/difusion/publicaciones/Paginas/cienciasdelafrontera.aspx>

- La versión impresa de cada fascículo, se procesa por la Subdirección de Publicaciones. Se obsequia un ejemplar por artículo como regalías.

