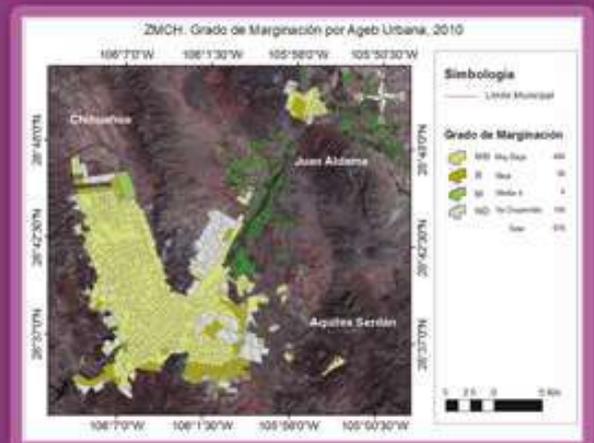


# TECNOCIENCIA Chihuahua

Revista arbitrada de ciencia, tecnología y humanidades  
Universidad Autónoma de Chihuahua



Clasificación geoespacial de los indicadores del medio físico para la recarga del acuífero Palomas-Guadalupe Victoria, Chihuahua, México



Grado de marginación de la zona metropolitana de Chihuahua: comparativo entre los años 2000 y 2010



Peso fresco y calidad de nopalito (*Opuntia ficus-indica* L.) fertilizado con composta de estiércol de vaca



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE  
**CHIHUAHUA**

M.C. JESÚS ENRIQUE SEÁÑEZ SÁENZ  
*Rector*

DR. JESÚS VILLALOBOS JIÓN  
*Secretario General*

M.C. JESÚS ENRIQUE PALLARES RONQUILLO  
*Director de Extensión y Difusión Cultural*

DR. ROSENDO MARIO MALDONADO ESTRADA  
*Director de Planeación y Desarrollo Institucional*

M.C. JAVIER MARTÍNEZ NEVÁREZ  
*Director Académico*

DRA. ALMA DELIA ALARCÓN ROJO  
*Directora de Investigación y Posgrado*

M.A.R.H. HORACIO JURADO MEDINA  
*Director Administrativo*

**TECNOCIENCIA**  
Chihuahua

**Comité Editorial Interno**

DR. CÉSAR HUMBERTO RIVERA FIGUEROA  
*Editor en Jefe*

M.S.I. IVÁN DAVID PICAZO ZAMARRIPA  
*Coordinador editorial*

M.E.S. NANCY KARINA VENEGAS HERNÁNDEZ  
*Asistente editorial - Abstracts*

**Editores Asociados**

DRA. ALMA DELIA ALARCÓN ROJO  
DRA. ANA CECILIA GONZÁLEZ FRANCO  
DR. OSCAR ALEJANDRO VIRAMONTES OLIVAS

DR. CARMELO PINEDO ÁLVAREZ  
DR. JAVIER TARANGO ORTIZ

DRA. LUZ HELENA SANÍN AGUIRRE  
DRA. MARÍA DE LOURDES VILLALBA

**Consejo Editorial Internacional**

DR. GUILLERMO FUENTES DÁVILA  
*Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México*

DR. VÍCTOR ARTURO GONZÁLEZ HERNÁNDEZ  
*Colegio de Posgraduados, México*

DR. JOHN G. MEXAL  
*New Mexico State University, Estados Unidos de América*

DR. ULISES DE JESÚS GALLARDO PÉREZ  
*Instituto de Angiología y Cirugía Vascular, La Habana, Cuba*

DR. HUMBERTO GONZÁLEZ RODRÍGUEZ  
*Universidad Autónoma de Nuevo León, México*

DRA. ELIZABETH CARVAJAL MILLÁN  
*Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C., México*

DR. ALBERTO J. SÁNCHEZ MARTÍNEZ  
*Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México*

DR. LUIS RAÚL TOVAR GÁLVEZ  
*Instituto Politécnico Nacional, México*

DR. LUIS FERNANDO PLENGE TELLECHEA  
*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México*

DR. HÉCTOR OSBALDO RUBIO ARIAS  
*Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México*

DRA. ANGELA BEESLEY  
*University of Manchester, Reino Unido*

DR. LUIS ALBERTO MONTERO CABRERA  
*Universidad de La Habana, Cuba*

DR. RICARD GARCÍA VALLS  
*Universitat Rovira I Virgili, España*

DR. LUIZ CLOVIS BELARMINO  
*Faculdade Atlantico Sul, Brasil*

TECNOCIENCIA-Chihuahua. Revista arbitrada de ciencia, tecnología y humanidades. Volumen X, Número 1, Enero-Abril 2016. Publicación cuatrimestral de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Editor en Jefe: Dr. César Humberto Rivera Figueroa. ISSN: 1870-6606. Número de Reserva al Título en Derecho de Autor: 04-2007-0326610180900-102. Número de Certificado de Licitud de Título: 13868. Número de Certificado de Licitud de Contenido: 11441. Clave de registro postal PP08-0010. Domicilio de la publicación: Edificio de la Dirección de Investigación y Posgrado, Ciudad Universitaria s/n, Campus Universitario I, C.P. 31170, Chihuahua, Chihuahua, México. Oficina responsable de la circulación: Dirección de Investigación y Posgrado, Ciudad Universitaria, Campus Universitario I, C.P. 31170. Imprenta: Impresora Standar, Ernesto Talavera No. 1207, Teléfono 416-7845, Chihuahua, Chih. Tiraje: 1,000 ejemplares.

Precio por ejemplar en Chihuahua: \$ 60.00 Costo de la suscripción anual: México, \$ 200 (pesos); EUA y América Latina, \$ 35 (dólares); Europa y otros continentes, \$ 40 (dólares). La responsabilidad del contenido de los artículos firmados es de sus autores y colaboradores. Puede reproducirse total o parcialmente cada artículo citando la fuente y cuando no sea con fines de lucro.

Teléfono: (614) 439-1500 (extensión 2214); fax: (614) 439-1500 (extensión 2209), e-mail: tecnociencia.chihuahua@uach.mx

Página web: <http://tecnociencia.uach.mx>

## Contenido

Definición de la revista	I		
Editorial	II		
<b>El científico frente a la sociedad</b>		<b>Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable</b>	
Contenido de metales en sedimentos: una herramienta para evaluar pasivos ambientales mineros.		Sucesión bacteriana del género <i>Bacillus</i> en el proceso de compostaje y lombricompostaje con diferentes fuentes de estiércol.	
<i>Mélida Gutiérrez</i>	1	<i>Antonio De la Mora-Covarrubias</i> <i>Francisco J. Vázquez-González</i> <i>José Valero-Galván</i>	23
<b>Alimentos</b>			
Concentración de fructosa en frutos de toronja ( <i>Citrus paradisi</i> Macf.) en desarrollo.		Clasificación geoespacial de los indicadores del medio físico para la Recarga del acuífero Palomas-Guadalupe Victoria, Chihuahua, México.	
<i>Héctor Rojas Pérez</i> <i>Jesús Martínez-de la Cerda</i> <i>Adalberto Benavides-Mendoza</i> <i>Emilio Olivares-Sáenz</i> <i>Juana Aranda-Ruiz</i> <i>Adriana Gutiérrez-Diez</i> <i>Alejandro I. Luna-Maldonado</i> <i>Erika N. Rivas-Martínez</i>	6	<i>Oscar Ramírez-Villazana</i> <i>Alfredo Granados-Olivas</i> <i>Adán Pinales-Munguía</i>	32
Peso fresco y calidad de nopalito ( <i>Opuntia ficus-indica</i> L.) fertilizado con composta de estiércol de vaca.		Grado de marginación de la zona metropolitana de Chihuahua: un comparativo entre el año 2000 y el 2010	
<i>Horacio E. Alvarado-Raya</i> <i>Edmar Salinas-Callejas</i> <i>Guadalupe Ortiz-Huerta</i>	13	<i>Antonio Dávila-Rodríguez</i> <i>Gaspar Alonso Jiménez-Rentería</i>	39

## Definición de la Revista *TECNOCIENCIA* Chihuahua

TECNOCIENCIA Chihuahua es una publicación científica arbitrada de la Universidad Autónoma de Chihuahua, fundada en el año 2007 y editada de forma cuatrimestral. Está incluida en los siguientes índices y directorios:

- LATINDEX, Catálogo de revistas científicas de México e Iberoamérica que cumplen con criterios internacionales de calidad editorial.
- PERIÓDICA, la base de datos bibliográfica de la UNAM de revistas de América Latina y el Caribe, especializadas en ciencia y tecnología.
- CLASE, la base de datos bibliográfica de la UNAM de revistas de América Latina y el Caribe, especializadas en ciencias sociales y humanidades.

### Objetivos

Servir como un medio para la publicación de los resultados de la investigación, ya sea en forma de escritos científicos o bien como informes sobre productos generados y patentes, manuales sobre desarrollo tecnológico, descubrimientos y todo aquello que pueda ser de interés para la comunidad científica y la sociedad en general. También pretende establecer una relación más estrecha con su entorno social, para atender a la demanda de los problemas que afectan a la sociedad, expresando su opinión y ofreciendo soluciones ante dicha problemática. La revista *TECNOCIENCIA* Chihuahua se publica cuatrimestralmente para divulgar los resultados de la investigación en forma de avances científicos,

desarrollo tecnológico e información sobre nuevos productos y patentes. La publicación cubre las siguientes áreas temáticas: Alimentos, Salud y deporte, Ingeniería y Tecnología, Educación y Humanidades, Economía y Administración, Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable, Creatividad y Desarrollo Tecnológico.

### Visión

Mejorar de manera continua la calidad del arbitraje de los artículos publicados en la revista, proceso que se realiza en forma anónima bajo el sistema de doble ciego. Conformar el Consejo Editorial Internacional y cada Comité Editorial por área del conocimiento de la revista, incorporando como revisores a investigadores del país y del extranjero adscritos a instituciones de Educación Superior y Centros de Investigación, que son reconocidos como académicos y científicos especializados en su campo.

### Tipos de escritos científicos

En la revista se publican las siguientes clases de escritos originales: artículos científicos en extenso, notas científicas, ensayos científicos y artículos de revisión.

### A quién se dirige

A académicos, científicos, tecnólogos, profesionistas, estudiantes y empresarios

# Editorial

Los residuos minero-metalúrgicos expuestos a la intemperie son una fuente de contaminación que pueden afectar la salud de la población, deteriorar la calidad del hábitat y reducir la biodiversidad. En el artículo "*Contenido de metales en sedimentos: una herramienta para evaluar pasivos ambientales mineros*" se detallan las ventajas de usar sedimentos como medio de muestreo, y metodologías para determinar la magnitud de la contaminación, su potencial de dispersión y toxicidad, con la finalidad de crear estrategias de remediación más efectivas.

En un estudio en huerta de toronja en Nuevo León, se evaluó la concentración de fructosa en frutos de toronja, como respuesta a la aplicación de ácido giberélico, urea foliar y anillado de ramas. Los investigadores encontraron que las aplicaciones de urea foliar y ácido giberélico resultaron en los valores más altos en la concentración de fructosa en frutos de árboles de producción elevada, a los 30 días después de anthesis (dda), mientras que a 90 dda se cuantificó una menor concentración de fructosa con urea foliar y anillado. Los detalles están en el artículo "*Concentración de fructosa en frutos de toronja (Citrus paradisi Macf.) en desarrollo*".

En el artículo "*Peso fresco y calidad de nopalito (Opuntia ficus-indica L.) fertilizado con composta de estiércol de vaca*" se compararon diferentes fuentes de fertilización en el rendimiento, calidad y vida de anaquel de la planta y cladodios. Los cladodios de plantas tratadas con composta y estiércol fresco mostraron un pH menor que aquellos de plantas tratadas con agua aplicada al suelo; mientras que cladodios de plantas tratadas con fertilizantes sintéticos mostraron mayor resistencia al corte. La composta de estiércol podría ser un sustituto apropiado del estiércol fresco de vaca para fertilizar el cultivo de nopal, y con ello reducir los gases de efecto invernadero al ambiente.

El objetivo del trabajo "*Sucesión bacteriana del género Bacillus en el proceso de compostaje y lombricompostaje con diferentes fuentes de estiércol*" fue determinar la abundancia y diversidad

de la comunidad de *Bacillus* en el proceso de compostaje en tres diferentes estiércoles (vacuno, ovino y porcino), composta natural y lombricomposta. Los resultados indican que las especies más abundantes son *B. Sporosarcina pasteurii* y *B. Paenibacillus alvei*. También se detectó que el lixiviado de lombricomposta posee mejor uniformidad y diversidad bacteriana, por lo que debería dársele mayor uso agrícola por su efecto positivo en las plantas.

El artículo "*Clasificación geoespacial de los indicadores del medio físico para la recarga del acuífero Palomas-Guadalupe Victoria, Chihuahua, México*" detalla una propuesta metodológica para la clasificación geoespacial de los Factores Potenciales de Recarga (FPR) como indicadores del medio físico, procesando y analizando datos vectoriales e imágenes satelitales ASTER. Se resalta la alta efectividad de esta metodología para identificar las zonas potenciales para la recarga de acuíferos.

En el artículo "*Grado de marginación de la zona metropolitana de Chihuahua: un comparativo entre el año 2000 y el 2010*" se realiza un análisis comparativo entre el año 2000 y el 2010 del grado de marginación urbana de Chihuahua, considerando como fuente de información los censos generales de población y vivienda de 2000 y de 2010. El análisis comparativo mostró un comportamiento estable en el grado de marginación del periodo estudiado, y permitió determinar que muy bajo porcentaje de la población reside en áreas con grandes privaciones en salud, educación, vivienda y bienes.

EQUIPO EDITORIAL  
REVISTA TECNOCENCIA CHIHUAHUA

# Contenido de metales en sedimentos: una herramienta para evaluar pasivos ambientales mineros

## Metal content in sediments: a tool to assess mining liabilities

MÉLIDA GUTIÉRREZ<sup>1,2</sup>

### Resumen

Los residuos minero-metalúrgicos que se encuentran expuestos a la intemperie son una fuente de contaminación que pueden afectar la salud de la población, deteriorar la calidad del hábitat y reducir la biodiversidad. Las situaciones donde estos residuos constituyen un riesgo potencial y permanente se denominan pasivos ambientales mineros. Las estrategias de remediación son más efectivas entre mejor se conozca la magnitud de la contaminación, su potencial de dispersión y su toxicidad potencial. En este artículo se mencionan las ventajas de usar sedimentos como medio de muestreo y algunas de las metodologías para su análisis que han sido utilizadas con éxito. Se concluye con las recomendaciones de: a) generar mapas donde se puedan visualizar fácilmente las áreas más contaminadas; b) complementar los mapas con información local sobre la movilidad de los elementos potencialmente tóxicos, su asociación con otros metales, así como las características del medio ambiente que podrían afectar su toxicidad, y; c) considerar aspectos políticos y sociales asociados con el pasivo ambiental minero.

**Palabras clave:** contaminación, metal, pasivo ambiental minero, sedimento, toxicidad.

### Abstract

The mining-metallurgical wastes that lay exposed to the weather represent a source of contamination that can affect public health, deteriorate the quality of the habitat and reduce biodiversity. Cases where these wastes constitute a permanent and potential risk of contamination are known as mining environmental liability situations. Remediation strategies are more effective the better known the degree of contamination, its potential for dispersion and its potential toxicity. This article lists the advantages of using sediments as sampling medium and some methodologies of analysis that have been reported as successful. The author concludes with these recommendations, to (a) generate concentration maps where areas of highest contamination are visually identifiable, (b) provide complementary local information about mobility of potentially toxic elements, their association with other metals, and environmental characteristics that may influence their toxicity, and (c) consider political and social aspects associated with mining environmental liability .

**Keywords:** contamination, metal, mining environmental liability, sediment, toxicity.

### Introducción

Los residuos generados por la extracción de metales del subsuelo, también conocidos como jales mineros, representan un peligro para el entorno, ya que fácilmente pueden contaminar acuíferos, aguas superficiales, suelos o sedimentos (Romero *et al.*, 2008). Son numerosas las situaciones donde los jales mineros se encuentran en estado de abandono y sin planes para ser remediados, lo cual representa un grave problema a nivel mundial (Hudson-Edwards *et al.*, 2011; Gutierrez *et al.*, 2016).

<sup>1</sup> Missouri State University, Department of Geography, Geology and Planning. 901 S. National Ave., Springfield, MO, EUA. 65897.

<sup>2</sup> Dirección electrónica del autor de correspondencia: mgutierrez@missouristate.edu

En este artículo se discuten las condiciones bajo las cuales los elementos potencialmente tóxicos (EPT) afectan al entorno, se mencionan las ventajas de usar sedimentos como medio de muestreo en estudios de reconocimiento y algunas de las metodologías para su análisis que han sido utilizadas con éxito.

## Pasivos ambientales mineros

Hacia finales del siglo XIX y principios del siglo XX, las compañías mineras fueron especialmente trascendentales al proveer los metales que la nueva industria pesada requería (Figura 1). Para lograrlo, utilizaron la nueva tecnología disponible incrementando su capacidad de extracción y refinación (Rodríguez-Vázquez *et al.*, 2010; Hudson-Edwards *et al.*, 2011; Melo-Cuervo, 2011). A la vez, favorecieron a las economías locales al crear nuevos empleos (Castro-Larragoitia *et al.*, 1997). Sin embargo, los depósitos son finitos y al acabarse el mineral, las compañías, ya sin razón para existir, terminaron por disolverse dejando el entorno afectado en mayor o menor medida, tanto físicamente (túneles, oquedades, apilamientos de material, lodos de lagunas de contención) como químicamente (residuos potencialmente tóxicos, cuya toxicidad aumenta con el tiempo de exposición) (Romero *et al.*, 2008; Romero *et al.*, 2011, Gutiérrez *et al.*, 2015). Estas situaciones donde residuos mineros constituyen un riesgo potencial y permanente para la salud de la población y de contaminación al entorno se conocen como "pasivos ambientales mineros" (Russi y Martínez-Alier, 2002; Melo-Cuervo, 2011). El Cuadro 1 presenta algunos lugares afectados por residuos mineros.

**Figura 1.** Fundición de Avalos Chihuahua (1905-1993). Ahora abandonada, operó como beneficiadora de plomo, plata y zinc con una capacidad para 250 toneladas diarias.



**Cuadro 1.** Algunos casos de pasivos ambientales mineros.

Mina	Operación	Material extraído	Problema	Referencia
Distrito Tri-State de Oklahoma, Kansas y Missouri, USA	1850-1970 (aprox.)	Zinc, plomo	Colapso de suelo por oquedades. Acuífero y población contaminados con plomo.	Gutiérrez <i>et al.</i> , 2015
Matehuala, San Luis Potosí, MX	1905-1948	Zinc, plomo, plata, oro, cobre	Altas concentraciones de metales y arsénico	Melo-Cuervo, 2011
Espinara, Perú	1980-continúa en operación (2015)	Cobre	Alto contenido de plomo y arsénico en agua, muerte de ganado	Russi y Martínez-Alier 2002
Peña de Hierro, Huelva, España	1853-1972, reapertura? (2015)	Cobre, azufre, oro, plata	Drenaje ácido de minas	Romero <i>et al.</i> , 2011
Doe Run, Herculaneum, Missouri USA	1892-2013	Plomo	Suelos contaminados con plomo, emisiones de azufre	Russi y Martínez-Alier 2002
Bunker Hill (Coeur d'Alene Mining District) Idaho USA	1885-1983	Plomo, zinc, plata	Contaminación por plomo y cadmio en ríos y lagos, alto contenido de plomo en pobladores	Macintyre, 1998

La extracción de metales como fierro, cobre, plomo y zinc produce enormes volúmenes de producto. Aunque cada proceso es único, *a grosso modo* consiste en la extracción del mineral, seguido por concentración del metal por uno o varios métodos (p. ej., flotación). El concentrado se comercializa y los residuos se apilan en la superficie, a la intemperie. Dentro de los residuos, es común encontrar otros metales (metales asociados) y metaloides como arsénico (Zuomis *et al.*, 2001; Gutiérrez-Ruiz *et al.*, 2007; Rodríguez-Vázquez *et al.*, 2010). La toxicidad de estos residuos varía dependiendo de los elementos potencialmente tóxicos (EPT) presentes, su concentración, tipo de material geológico en contacto con los EPT y condiciones de pH (Salomons y Förstner 1984; Zuomis *et al.*, 2001; Romero *et al.*, 2008). Algunos metales, como el cadmio, son tóxicos aún en concentraciones muy pequeñas. Para otros metales la toxicidad depende de su estado de oxidación (p. ej., arsénico, cromo), mientras que otros producen acidez al oxidarse, p. ej., oxidación de fierro de  $FeS_2$  a  $Fe(OH)_3$  (Romero *et al.*, 2011). Un medio ácido favorece la disolución y movilidad de metales, promoviendo que se alcancen niveles tóxicos en los medios receptores (Förstner, 2004; Martínez Sánchez *et al.*, 2008; Romero *et al.*, 2011; Lynch *et al.*, 2014).

## Sedimentos

Las investigaciones sobre contaminación por residuos mineros se realizan en varios medios de muestreo: agua, aire, jales, suelos, o sedimentos

(Salomons y Förstner 1984; Förstner, 2004) o combinaciones de ellos (Gutiérrez-Ruiz *et al.*, 2007; Romero *et al.*, 2008; Romero *et al.*, 2011). Dentro de estos medios, los sedimentos sobresalen por su capacidad de representar la contaminación del entorno, al retener información de los EPT durante un intervalo mayor de tiempo y por la inevitable exposición de EPT una vez que las escorrentías atraviesan la superficie en su travesía hacia el río o arroyo. La capacidad de los metales de adsorberse preferentemente en la fase sólida, reteniéndose en los sedimentos, se describió como la «memoria» de los sedimentos por Förstner (2004). Dentro de esta fase sólida, el mayor poder de adsorción se concentra en la fracción fina, la que está compuesta por arcillas, óxidos de hierro y manganeso, y materia orgánica (Salomons y Förstner, 1984; Axtmann y Luoma, 1991). En contraste, componentes inorgánicos en la fracciones de limo grueso y arena son casi inertes en cuanto a adsorción y retención de metales (Axtmann y Luoma, 1991).

Con base en su recorrido a través del entorno se distinguen tres tipos de contaminación: a) contaminación primaria, en donde los residuos están en alrededor de lo que fuera la mina o centros de refinación del mineral; b) contaminación secundaria, cuando agua o viento han dispersado los EPT de su sitio original, y; c) contaminación terciaria, donde el metal se ha movilizadado luego de haberse transformado a una forma móvil (Martínez-Sánchez *et al.*, 2008; García-Lorenzo *et al.*, 2012).

## Distribución espacial de la contaminación

Una manera efectiva de analizar la distribución de EPT en un área afectada por jales mineros es ubicando las concentraciones de EPT en un mapa, por ejemplo, usando un sistema de información geográfica (SIG), y seguido de análisis estadísticos como *box-plot*, *kriging* o componentes principales (Carranza, 2009; Chiprés *et al.*, 2009; Gutiérrez *et al.*, 2015). Una herramienta que se ha utilizado con éxito en las últimas décadas se basa en aplicar la metodología descrita anteriormente a la geoquímica de sedimentos (Chiprés *et al.*, 2009; Gutiérrez *et al.*, 2012), donde se consideran tanto la concentración de metales en el sedimento como su relación con el medio geológico.

Otra ventaja de usar geoquímica de sedimentos consiste en la posibilidad de contar con una extensa base de datos, lo que fortalece el análisis estadístico. Gracias a la memoria de los sedimentos, los datos reportados en otros estudios se pueden añadir a la base de datos propia, siempre y cuando la metodología de análisis sea la misma. Para hacer esta ventaja accesible a investigadores, las agencias gubernamentales de servicios geológicos de Estados Unidos (USGS), Canadá, y México (SGM) analizaron muestras de de sedimentos como parte del programa North America Landscape Project en 2002. El servicio geológico USGS tiene estos datos disponibles en: <http://mrddata.usgs.gov/geochem/>. Existen otras bases de datos (p. ej., la agencia de suelos USDA reporta concentraciones en suelos).

Los datos reportados en estas bases de datos fueron obtenidos utilizando una metodología estándar. Esta metodología consiste en aislar del sedimento las partículas menores de 2 mm (por tamizado) seguido por digestión con *aqua regia* y determinación de metales por espectrometría (ICP-MS). A esta concentración se le denomina la concentración total, aunque en realidad es una aproximación (suficientemente cercana) a la extracción total obtenida con ácido fluorhídrico (HF).

El agente extractor varía de agua a HF, sin embargo, el más comúnmente utilizado para determinación de concentración total, mencionada arriba, es *aqua regia*, una mezcla de HCl y HNO<sub>3</sub>. Tessier *et al.* (1979) propusieron una técnica de digestión de cinco pasos con un solvente más fuerte en cada extracción, y es una técnica ampliamente utilizada por investigadores (Förstner, 2004; García-Lorenzo *et al.*, 2012). La cantidad de metal obtenida en cada una de las extracciones se relaciona con su grado de movilidad en el entorno.

Bases de datos cubriendo regiones a escala regional, aunque utilizadas originalmente para la identificación de depósitos minerales, han sido ampliamente usadas con éxito en estudios de contaminación (Chiprés *et al.*, 2009, Gutiérrez *et al.*, 2012, Gutiérrez *et al.*, 2015). El gran número de datos (200 a más de 1,000) de estas bases de datos hace posible la utilización de métodos estadísticos complejos (Carranza, 2009; Chiprés *et al.*, 2009)

En cuanto a la representación visual, las concentraciones se ubican en su localización geográfica para así obtener un mapa de concentración donde se puedan identificar fácilmente las áreas de enriquecimiento, especialmente si se cuenta con una cobertura de datos adecuada. El mapa puede resaltar, por ejemplo, la separación entre áreas más y menos contaminadas usando como separación valores límites de toxicidad reportados en la literatura, p. ej., MacDonald (2000).

## Sedimentos vs. suelos

Es costumbre reportar concentraciones de metales para suelos o para sedimentos por separado, por ser medios con características y propiedades diferentes (Cannon *et al.*, 2004, Grunsky *et al.*, 2009), también el reportar la profundidad a la que se tomó la muestra de suelo o sedimento, ya que las propiedades físicas y químicas varían con la profundidad.

Los suelos generalmente se estudian con respecto a su capacidad para sustentar vegetación (usos agrícola, forestal, etc.) mientras que los sedimentos incluyen al material sólido que se encuentra bajo agua, ya sea de manera temporal o permanente (Salomons y Förstner, 1984). Los sedimentos son afectados químicamente en forma más indirecta que los suelos y, además, es de esperarse que haya una cierta homogenización de las propiedades químicas durante este proceso; otra razón por la que la mayoría de estudios de contaminación ambiental se realizan en sedimentos.

## Toxicidad

La toxicidad de sedimentos ha sido objeto de numerosos estudios (MacDonald, 2000; Förstner, 2004; Besser *et al.*, 2009). Valores límite PEC y SQG, siglas en inglés para «*probable effect concentration*» y «*sediment quality guidelines*» son concentraciones a partir de las cuales la vida acuática muestra evidencia de estar siendo afectada. Estos valores son determinados con base en cambios de comportamiento (o porcentajes de mortalidad) para uno o varios organismos y para un hábitat en particular, por lo que, en teoría, estos límites son válidos para solamente el área en donde se determinaron; p. ej., los grandes lagos (Long y Morgan, 1990) y el área central de los Estados Unidos (MacDonald *et al.*, 2000).

La toxicidad está íntimamente relacionada con la movilidad, ya que bajo ciertas condiciones de pH y redox, los EPT que se encuentran adsorbidos en la fase sólida pueden retomar su forma disuelta, aumentando su bioaccesibilidad. La movilidad de EPT se determina midiendo la cantidad que se desprende por extracción. El EPT será menos movable si se desprende únicamente por un ácido fuerte (p. ej., ácido nítrico concentrado) y más movable si se desprende al estar en contacto con agua o con un ácido débil (Tessier *et al.*, 1979).

Un dato interesante es que de haber piedra caliza presente en el sistema, ésta produce un efecto *buffer* que neutraliza la acidez, resultando en un aumento del pH y, por consiguiente, reduciendo el poder de disolución y la toxicidad de la mayoría de los metales (MacDonald, 2000).

La toxicidad es, asimismo, dependiente del estado de oxidación (redox) del sistema. Por lo general, las especies reducidas son más tóxicas (por ejemplo,  $As^{+3}$  es más tóxico que  $As^{+5}$ ). Una excepción es el cromo, para el cual la forma oxidada es más tóxica.

## Conclusiones

Los residuos minero-metalúrgicos, en especial aquellos que se encuentran abandonados, pueden crear una severa contaminación, afectar la salud de la población, deteriorar la calidad del hábitat y reducir la biodiversidad. La solución a este problema es la remediación del área, lo cual es un procedimiento complejo, ya que requiere de grandes inversiones y de la cooperación de los sectores político, social, y científico. Dentro de la contribución científica se recomienda realizar los análisis necesarios para: a) generar mapas donde las áreas más contaminadas se puedan visualizar fácilmente y, b) complementar este mapa con información sobre la movilidad de los elementos potencialmente tóxicos, su asociación con otros metales, así como las características del medio ambiente que podrían afectar su toxicidad. Esta información es indispensable para que los tres sectores unidos logren diseñar una mejor estrategia que minimice el daño ecológico y proteja la integridad del ecosistema y la salud de la población.

## Literatura citada

- AXTMANN, E.V. and Louma S.N. 1991. Large-scale distribution of metal contaminants in the fine-grained sediments of the Clark Fork River, Montana USA. *Applied Geochemistry*, 6:75-88.
- BESSER, J.M., Brumbaugh W.G., Allert A.L., Poulton B.C., Schmitt C.J., Ingersoll C.G. 2009. Ecological impacts of lead mining on Ozark streams: Toxicity of sediment and pore water. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72:516-526.
- CANNON, W.F., Woodruff L.G., Pimley S. 2004. Some statistical relationships between sediment and soil geochemistry in northwestern Wisconsin – can stream sediment compositions be used to predict compositions of soils in glaciated terranes? *Journal of Geochemical Exploration* 81:29-46
- CARRANZA, E.J.M. 2009. Exploratory analysis of geochemical anomalies. In M. Hale (Ed.) *Geochemical Anomaly and Mineral Prospectivity Mapping in GIS*, Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry, Vol 11, Elsevier BV.
- CASTRO-LARRAGOITIA, J., Kramar U., Puchelt H. 1997. 200 years of mining activities at La Paz/San Luis Potosí/Mexico-Consequences to environment and geochemical exploration. *Journal of Geochemical Exploration* 58:81-91.
- CHIPRÉS, J.A., Castro-Larragoitia, J., & Monroy, M.G. 2009. Exploratory and spatial data analysis for determining regional background levels and anomalies of potentially toxic elements in soils from Catorce-Matehuala, Mexico. *Applied Geochemistry*, 24:1579-1589.
- FÖRSTNER, U. 2004. Traceability of sediment analysis. *Trends in Analytical Chemistry*, 23:217-236.
- GARCIA-LORENZO, M.L., Perez-Sirvent C., Martinez-Sanchez M.J., Molina-Ruiz J. Tudela M.L. 2012. Spatial distribution and sources of trace elements in sediments affected by old mining activities. *Environmental Monitoring Assessment*, 184:7041-7052.
- GRUNSKY, E.C., Drew L.J, Sutphin D.M. 2009. Process recognition in multielement soil and stream-sediment geochemical data. *Appl Geochem* 24:1602-1616
- GUTIÉRREZ, M., Reyes Gómez V.M., Alarcón Herrera M.T., Núñez López D. 2012. Exploratory analysis of sediment geochemistry to determine the source and dispersion of Ba, Fe, Mn, and Cu in Chihuahua, northern Mexico. *Journal of Geography and Geology*, 4:26-39.
- GUTIÉRREZ, M., Alarcon-Herrera M.T., Camacho L.M. 2009. Geographical distribution of arsenic in sediments within the Rio Conchos Basin, Mexico. *Environmental Geology*, 57:929-935.
- GUTIÉRREZ, M., Wu S.S., Peebles J. 2015. Geochemical mapping of Pb- and Zn- contaminated streambed sediments in southwest Missouri, USA. *Journal of Soils and Sediments*, 15:189-197.
- GUTIERREZ M., Mickus K., Camacho L.M. 2016. Abandoned Pb Zn mining wastes and their mobility as proxy to toxicity: A review. *Sci Total Environ* 565:392-400.
- GUTIÉRREZ-RUIZ M., Romero F.M., González Hernández G. 2007. Suelos y sedimentos afectados por la dispersión de jales inactivos de sulfuros metálicos en la zona minera de Santa Bárbara, Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 24:170-184.
- HUDSON-EDWARDS, K. Jamieson H.E., Lottermoser B.G. 2011. Mine wastes: past, present, future. *Elements*, 7:375-380.
- LONG, E.R. y Morgan L.G. 1990. The potential for biological effects of sediment-sorbed contaminants tested in the National Status and Trends Program. NOAA Technical Memorandum NOS OMA 52.
- LYNCH, S.F.L., Batty L.C., Byrne P. 2014. Environmental risk of metal mining contaminated river bank sediment at redox-transitional zones. *Minerals*, 4:52-73.
- MACDONALD, DD, Ingersoll CG, Berger TA. 2000. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems: *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 39:20-31.
- MACINTYRE, M. 1998. Bunker Hill: light at the end of the tunnel. *The Seattle Daily Journal of Commerce* <https://www.djc.com/special/enviro98/10043970.htm>
- MARTÍNEZ-SANCHEZ, M.J., Navarro M.C., Perez-Sirvent C., Marimon J., Vidal J., Garcia-Lorenzo M.L., Bech J. 2008. Assessment of the mobility of metals in a mining-impacted coastal area. *Journal of Geochemical Exploration* 96:171-182.
- MELO-CUERVO, R., 2011. Evaluación de un pasivo ambiental metalúrgico. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México, 64 pp.
- TESSIER, A., Campbell P.G.C., Bison M. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Analytical Chemistry* 51:844-851.
- RODRÍGUEZ-VÁZQUEZ, L., Ferman Ávila H., Torres Carrillo E., Sáenz Macías L., Luna Carrete J., Herrera, E., González G, Aranda Caro D., Carrillo J. and Lozoya L. 2010. Characterization of Topsoil Samples and Analysis of the Distribution of Heavy Metals in Parral Chihuahua, México; *Journal of Environmental Science and Engineering*, 4:12-17.
- ROMERO, A, González I, Galán E. 2011. Stream water geochemistry from mine wastes in Peña de Hierro, Riotinto area, SW Spain: a case of extreme acid mine drainage. *Environmental Earth Sciences*, 62:645-656.
- ROMERO, F.M., Armienta M.A., Gutiérrez M.E., Villaseñor G. 2008. Factores geológicos y climáticos que determinan la peligrosidad y el impacto ambiental de jales mineros. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental, México*, 24(2):43-54.
- RUSSE, D., Martinez-Alier J. 2002. Los pasivos ambientales. *Revista Iconos* 22:123-131. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Ecuador.
- SALOMONS, W, Förstner U. 1984. Sediments and the transport of Metals, In: Salomons W, Förstner U. (Eds.) *Metals in the Hydrocycle*, Springer –Verlag, Berlin, New York, 63-98.
- ZOUMIS, T, Schmidt A, Grigorova L, Calmano W. 2001. Contaminants in sediments: remobilization and demobilization. *Science of the Total Environment* 266:195-202. 

Este artículo es citado así:

Gutiérrez, M. 2016. Contenido de metales en sedimentos: una herramienta para evaluar pasivos ambientales mineros. *TECNOCIENCIA Chihuahua* 10(1): 1-5.

## Resumen curricular de la autora

**MÉLIDA GUTIÉRREZ.** Tiene un doctorado en geohidrología otorgado por la Universidad de Texas en El Paso en 1992 y un posgrado en ciencias ambientales otorgado en 1987 por el Instituto de Hidrología de Delft Holanda. Desde 1993 labora en el departamento de Geografía, Geología y Planeación de la Universidad del Estado de Missouri en Springfield, Missouri. Imparte los cursos de Geología Física, Geoquímica y Recursos hídricos a nivel de licenciatura y maestría. Ha dirigido 9 tesis de maestría. Es autora de 49 artículos científicos, más de 60 ponencias en congresos, y es árbitro de varias revistas científicas de circulación internacional. Ha escrito 3 capítulos de libros sobre sustentabilidad de agua en Chihuahua, en colaboración con investigadores mexicanos.

# Concentración de fructosa en frutos de toronja (*Citrus paradisi* Macf.) en desarrollo

## Fructose concentration in fruit development in grapefruit (*Citrus paradisi* Macf.)

HÉCTOR ROJAS PÉREZ<sup>1</sup>, JESÚS MARTÍNEZ-DE LA CERDA<sup>1,3</sup>, ADALBERTO BENAVIDES-MENDOZA<sup>2</sup>, EMILIO OLIVARES-SÁENZ<sup>1</sup>, JUANA ARANDA-RUIZ<sup>1</sup>, ADRIANA GUTIÉRREZ-DIEZ<sup>1</sup>, ALEJANDRO I. LUNA-MALDONADO<sup>1</sup>, ERIKA N. RIVAS-MARTÍNEZ<sup>2</sup>

Recibido: Abril 12, 2016

Aceptado: Mayo 17, 2016

### Resumen

El estudio se realizó en el ciclo 2014-2015, en una huerta de toronja (*Citrus paradisi* Macf.) variedad Rio Red, del Municipio de General Terán, N.L. México. El objetivo fue evaluar la concentración de fructosa en frutos de toronja en desarrollo procedentes de árboles de producción elevada («on») y producción escasa («off»), en un ciclo de producción en respuesta a la aplicación de ácido giberélico (Acigib 10% de GA<sub>3</sub>, 25 ppm), urea foliar (1 kg 100 L<sup>-1</sup>) y anillado de ramas. La fructosa fue cuantificada en frutos de toronja a los 30, 60 y 90 dda (días después de antesis). El análisis de fructosa se realizó mediante Cromatografía Líquida de Alta Presión (HPLC). A los 30 dda, las aplicaciones de urea foliar y GA<sub>3</sub> en árboles «on» resultaron en los valores más altos en la concentración de fructosa en frutos. A los 60 dda no se presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos. A los 90 dda los frutos de árboles «on» con urea foliar y con anillado se comportaron estadísticamente diferentes al resto de los tratamientos, con menor concentración de fructosa. El comportamiento de la concentración de fructosa en frutos de toronja entre muestreos fue de un incremento en todos los tratamientos de árboles «on» y «off».

**Palabras clave:** anillado, carbohidratos, cítricos, ácido giberélico, urea foliar.

### Abstract

This research was conducted during the production year 2014-15 on a 18-year in a grapefruit (*Citrus paradisi* Macf.) grove, Rio Red variety in the municipality of General Teran, N.L. Mexico. The objective was to evaluate the concentration of fructose in small fruits from trees with a high production year («on») and others with a low production year («off») throughout the whole productive cycle, as a result of the application of gibberellic acid (Acigib 10% of GA<sub>3</sub>, 25 ppm), foliar urea (1 kg 100 L<sup>-1</sup>) and girdling. Fructose was quantified in fruits of grapefruit at 30, 60 and 90 days after anthesis (DDA). Fructose analysis was done by High Pressure Liquid Chromatography (HPLC). According with the results, application of foliar urea and GA<sub>3</sub> on trees «on» at 30 DDA, resulted in the highest values in the concentration of fructose in fruit. Treatments applied at 60 DDA resulted in not statistically differences for fructose concentration in fruits. Fruit fructose concentration from samples at 90 DDA showed statistical differences in trees «on» treated with foliar urea and girdling obtained the lowest concentration of fructose. The behavior of the concentration of fructose between samples was increased in all treatments of trees «on» and «off».

**Keywords:** Girdling, carbohydrates, citrus, gibberellic acid, foliar urea.

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Agronomía. Av. Francisco Villa S/N, Ex Hacienda el Canadá. Gral. Escobedo N.L. México, 66050. Tel. (81) 1340-4399.

<sup>2</sup> Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Horticultura. Calz. Antonio Narro 1923. Buenavista, Saltillo, Coah. México, 25315. Tel. 01 (844) 411-0200.

<sup>3</sup> Dirección electrónica del autor de correspondencia: jemarcer@gmail.com.

## Introducción

La alternancia de cosecha se refiere a un patrón de producción irregular que está internamente regulada por la planta y puede conducir a irregularidades en el ingreso del productor. Los cítricos inician la formación de yemas florales de la próxima producción un ciclo anterior, y la alternancia de cosecha elevada ("on") y escasa ("off") es causada por la competencia entre la producción de la cosecha actual y los botones florales de la cosecha de la próxima temporada.

La producción excesiva en el año «on» agota los nutrimentos, carbohidratos y almidón, necesarios para formar nuevos brotes reproductivos (Martínez *et al.*, 2012); sin embargo, hay pruebas que indican que las hormonas de las semillas producidas en los óvulos en desarrollo tienen un efecto inhibitorio directo sobre la iniciación floral (Martínez *et al.*, 2012). Esta secuencia de «on-off» normalmente sigue un patrón bianual. La variedad de toronja Rio Red es altamente susceptible a la alternancia, puede presentar dos años consecutivos «off» seguido de una cosecha elevada (Martínez *et al.*, 2012). Si bien regulada internamente, la alternancia es a menudo provocada por factores externos (clima o manejo del cultivo). Una vez activado, la fluctuación es probable que continúe durante algunos años. La alternancia es un problema económico en la industria cítrica de todo el mundo, en una producción elevada, año «on», debido a que los frutos cosechados obtienen precios bajos como resultado de su tamaño pequeño y sobreproducción (Martínez *et al.*, 2012). En cambio, en un año, «off», la fruta es generalmente demasiado grande y de mala calidad, con un mayor número de frutos con corteza gruesa (*Sheepnose*). El rendimiento neto para el productor es bajo en un año de cosecha «off», porque hay pocos frutos (Martínez *et al.*, 2012). Por lo tanto, la alternancia de cosecha da lugar a inestabilidad de los precios y rendimientos anuales erráticos. La alternancia de cosecha en toronja (variedad Rio Red), es un problema que se presenta en todo el mundo y está directamente relacionada con el cuajado de frutos, y este a la vez con la disponibilidad de

carbohidratos (glucosa, fructosa y sacarosa) para los frutos en desarrollo, ya que en esta etapa del fruto se producen cambios intensos en donde los azúcares son los sustratos preferidos para la biosíntesis y suministro de energía, la cual queda disponible para la biosíntesis de otros componentes (ácidos orgánicos, ácido ascórbico, proteínas, nucleótidos azucarados, glucósidos, etc.); además una reducción en el suministro de metabolitos durante el desarrollo temprano del fruto, puede desarrollar daños irreversibles en la capacidad de asimilación y reducir la tasa de crecimientos del fruto en estados posteriores, cuando el suministro no constituye un factor limitante, por lo tanto, entre mayores concentraciones de carbohidratos estén presentes en los frutos al inicio del desarrollo, mayores serán las reservas disponibles y la probabilidad de alternancia se reduce (Guardiola y García-Luis, 2000; Espinoza, 2012). Laskowski (2010) encontró en frutos de naranja dulce (*Citrus sinensis*), variedad Salustiana, un incremento progresivo en el contenido de carbohidratos solubles, aumento a partir de los 48 días después de anthesis (dda), coincidió inicialmente con el incremento en masa seca del pericarpio, y después de los 76 dda, con el desarrollo de las vesículas. Al final del ciclo, el fruto presentó 25% de carbohidratos reductores (glucosa y fructosa) y 18.5% de sacarosa, principalmente en las vesículas, las cuales constituyen al pericarpio como órgano de reserva.

Una técnica para incrementar las concentraciones de carbohidratos de frutos en desarrollo, disminuyendo la alternancia de cosecha, es el

anillado de ramas. El anillado de ramas en mandarina 'Clemenules' (*Citrus reticulata* Blanco), provoca la interrupción temporal del transporte de foto-asimilados por el floema hacia las raíces y la acumulación de sustancias en la copa del árbol. Los cambios provocados en el balance endógeno de carbohidratos y elementos minerales, son considerados como la acción primaria del anillado que ayudan al cuajado y desarrollo del fruto (Rivas *et al.*, 2010). Mahouachi *et al.* (2009), analizaron la fructosa en mandarina Satsuma (*Citrus unshiu* (Mak) Marc.) cv. Okitsu, en frutos en desarrollo con ramas anilladas y sin anillar (testigo) desde la antesis hasta 69 días después de antesis (dda), encontraron que en los frutos de los árboles sin tratar, la fructosa varió de 3.4 a 4.4 mg g<sup>-1</sup> de peso seco (p.s.) durante los primeros 32 dda y posteriormente disminuyó drásticamente al mostrar su concentración más baja (1 mg g<sup>-1</sup> de p.s.) a los 41 dda. A partir de entonces, la fructosa se acumuló para llegar a 6.3 mg g<sup>-1</sup> de p.s. al final del experimento. En frutos de árboles con ramas anilladas, los cambios de concentración de fructosa a lo largo del crecimiento del fruto fueron similares a los registrados en los frutos testigo, a excepción de una sola fecha. Por lo tanto, los frutos en las ramas anilladas a los 21 dda, contenían concentraciones más altas de fructosa (40%) que las frutas de las ramas de testigo.

El aumento del cuajado en variedades de cítricos con reducida capacidad partenocárpica, como es el caso de la mandarina 'Clemenules' (Talón *et al.*, 1992), se consigue con aplicaciones de GA<sub>3</sub>, que aumenta la demanda por asimilados de los ovarios y así su crecimiento, o mediante el anillado de ramas en mandarina 'Fortune', que aumenta directamente la disponibilidad de carbohidratos (Rivas *et al.*, 2006). Por lo tanto, existen fuertes evidencias que soportan el hecho que las GAs juegan un papel clave en el proceso de transición de flor a fruto a través de su estímulo como activadores de la división y crecimiento celular (Talón *et al.*, 1992; Ben-Cheikh *et al.*, 1997).

En la variedad Clementina 'Cadoux', la aplicación de urea foliar (1 kg por 100 litros de agua), aumentó la superficie de las hojas con mayor área fotosintética incrementando los foto-asimilados (carbohidratos), los cuales promovieron un aumento en el diámetro de frutos (El-Otmani *et al.*, 2004a y 2004b).

La toronja (*Citrus paradisi* Macf.) variedad Rio Red tiene una gran importancia económica en el mundo debido a su demanda para el consumo en fresco, procesado y jugo. Es una variedad que puede mantener frutos maduros en el árbol durante varios meses sin perder sus cualidades organolépticas. Sin embargo, esta variedad de toronja presenta alternancia de cosecha, la cual está directamente relacionada con el cuajado de frutos, y este a la vez con la disponibilidad de fructosa para los frutos en desarrollo; al no encontrarse referencias de la concentración de fructosa en frutos de toronja de la variedad Rio Red, se planteó el objetivo de evaluar las concentraciones y la tendencia (comportamiento) de fructosa en frutos de toronja en desarrollo, en un ciclo de producción en respuesta al anillado de ramas, aplicación de GA<sub>3</sub> y urea foliar.

## Materiales y métodos

El presente trabajo se realizó en el periodo 2014-15 en una huerta de toronja (*Citrus paradisi* Macf.) de la variedad Rio Red de 18 años de edad, injertada sobre patrón agrio (*Citrus aurantium*), con una densidad de plantación de 250 árboles por hectárea (8m x 5m), ubicada en la hacienda «Las Anácuas» del Municipio de General Terán N.L México, con coordenadas geográficas: 25° 18' 38" latitud norte y 99° 35' 25" longitud oeste y 261 msnm. La precipitación media anual en la región es de 550 mm y la temperatura media anual es de 23 °C, con temperaturas máximas que llegan a 45 °C durante el verano y mínimas por debajo de los 0 °C durante el invierno, con una humedad relativa promedio de 62%, y lluvias fuertes normalmente en mayo, agosto, septiembre y octubre (Martínez *et al.*, 2012).

El diseño experimental que se utilizó fue completamente al azar, con 8 tratamientos y 3 repeticiones, la unidad experimental consistió de un árbol. Los tratamientos fueron T1: árboles «on» y testigo, T2: árboles «on» con urea foliar (1 kg 100 L<sup>-1</sup> de agua), T3: árboles «on» con ácido giberélico (Aciggib al 10% de GA<sub>3</sub>, 25 ppm), T4: árboles «on» con anillado de ramas, T5: árboles «off» y testigo, T6: árboles «off» con urea foliar (1 kg 100 L<sup>-1</sup> de agua), T7: árboles «off» con ácido giberélico (Aciggib al 10% de GA<sub>3</sub>, 25 ppm) y T8: árboles «off» con anillado de ramas. En la misma huerta se presentaron árboles con abundante («on») y con escasa cosecha («off»).

A los 35 días antes de antesis (daa) (25/02/2014) a las 7:00 am, a temperatura de 20 °C y humedad relativa del 60%, se realizaron aplicaciones foliares de GA<sub>3</sub> (25 ppm) y urea foliar (1 kg 100 L<sup>-1</sup> de agua), utilizando un aspersor manual, se aplicaron 7 L árbol<sup>-1</sup>. La antesis (plena floración) se tomó como referencia cuando se presentó el 80% de la floración (31/03/2014). A los 17 dda (17/04/2014), se realizó el anillado de ramas, el cual consistió en eliminar 3 mm de corteza (floema) alrededor de las ramas terciarias (con un diámetro aproximado de 3"), evitando dañar el xilema, el corte se efectuó con navaja de filo circular.

Para el análisis de concentración de fructosa en frutos, se tomaron muestras de frutos a los 30, 60 y 90 dda, se colectaron tres frutos por unidad experimental de la parte media de la copa del árbol cada mes hasta los 90 dda. A las muestras se les retiró la cáscara, dejando únicamente la pulpa, se pesaron y almacenaron en un congelador a -15 °C, se liofilizaron y molieron hasta dejar un polvo fino.

Para la extracción de fructosa, se pesaron 100 mg de muestra y colocaron en un microtubo de centrifuga etiquetado, a cada microtubo se le añadió 1 ml de agua grado HPLC y se agitó en vortex durante 30 segundos, posteriormente, las muestras fueron transferidas a baño María a 85 °C en donde fueron incubadas por 1 h (sin

enzimas). Trascurrido el tiempo, las muestras fueron centrifugadas a 15,000 g por 10 min (Rivas *et al.*, 2006, modificado). Finalmente, para la purificación, cada una de las muestras se filtró mediante un filtro Pirinola de PVDF de 0.45 µm de diámetro de poro, el extracto filtrado fue colocado en un microtubo de centrifuga y etiquetado con la correspondiente clave. Las muestras fueron almacenadas a -20 °C hasta su análisis cromatográfico.

Para el análisis de fructosa, los extractos fueron analizados mediante un equipo de Cromatografía Líquida de Alta Presión (HPLC) Agilen (Modelo 1120 LC), con detector de índice de refracción, para lo cual se inyectaron 20 µl del extracto. Los parámetros utilizados para la cuantificación de la fructosa fue un flujo de 0.6 ml/min, con agua al 100% grado HPLC como fase móvil, como fase estacionaria se utilizó una columna de la marca PHENOMENEX (Modelo Rezex RPM-Monosaccharide con 8% de Plomo [Pb<sup>2+</sup>] con una longitud de 30 cm y 7.8 mm de diámetro interno), la temperatura del horno de columna fue de 80 °C, mientras el detector de Índice de Refracción se mantuvo a una temperatura de 40 °C. La fructosa fue identificada mediante el tiempo de retención.

Para el análisis de varianza y la prueba de comparación de medias por DMS ( $P \leq 0.05$ ), se utilizó el paquete estadístico versión 1.0, elaborado por Emilio Olivares Sáez (2012). El modelo estadístico fue:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + e_{ij}$$

$i = 1, 2, \dots$ , tratamiento;  $j = 1, 2, \dots$ , repetición

Donde:

$Y_{ij}$  es la observación del tratamiento  $i$  en la repetición  $j$ .

$\mu$  es la media verdadera general.

$\tau_i$  es el efecto del  $i$ -ésimo tratamiento.

$e_{ij}$  es el error experimental de la  $ij$ -ésima observación.

## Resultados y discusión:

### Concentración de fructosa en frutos 30 dda

El análisis para la concentración de fructosa en frutos, mostró diferencia significativa entre los tratamientos (Cuadro 1).

A los 30 dda, los árboles «on» con urea foliar (T2), árboles «on» con ácido giberélico (T3) y árboles «off» (T5 [testigo, sin aplicación]), se comportaron estadísticamente similares, siendo el T2 el de mayor concentración de fructosa, esto manifiesta que la aplicación de urea foliar incrementa la concentración de fructosa en frutos de árboles «on». Los valores más bajos en la concentración de fructosa se presentaron en árboles «on» con anillado (T4) y «off» con GA<sub>3</sub> (T7), estos resultados confirman lo encontrado por El-Otmani *et al.* (2004a) en Clementina 'Cadoux', donde manifiestan que la aplicación de urea foliar incrementó la concentración de carbohidratos, debido al incremento del área foliar.

**Cuadro 1.** Concentración de fructosa (mg g<sup>-1</sup> de p.s.) en frutos de toronja variedad Rio Red, de árboles tratados con GA<sub>3</sub>, urea foliar y anillado durante el ciclo productivo 2014-2015 en General Terán, Nuevo León, Méx.

Tratamientos	Concentración Fructosa (30 dda) (mg g <sup>-1</sup> p.s.)	Concentración Fructosa (60 dda) (mg g <sup>-1</sup> p.s.)	Concentración Fructosa (90 dda) (mg g <sup>-1</sup> p.s.)
T1 ("on" T)	7.60 <sup>b</sup>	31.72 <sup>NS</sup>	80.86 <sup>a</sup>
T2 ("on" UF)	13.60 <sup>a</sup>	30.46 <sup>NS</sup>	55.50 <sup>b</sup>
T3 ("on" GA3)	9.69 <sup>ab</sup>	29.83 <sup>NS</sup>	86.28 <sup>a</sup>
T4 ("on" A)	5.04 <sup>b</sup>	27.82 <sup>NS</sup>	57.03 <sup>b</sup>
T5 ("off" T)	8.93 <sup>ab</sup>	31.13 <sup>NS</sup>	81.05 <sup>a</sup>
T6 ("off" UF)	6.22 <sup>b</sup>	28.37 <sup>NS</sup>	83.07 <sup>a</sup>
T7 ("off" GA3)	5.31 <sup>b</sup>	43.51 <sup>NS</sup>	74.22 <sup>ab</sup>
T8 ("off" A)	7.60 <sup>b</sup>	37.73 <sup>NS</sup>	85.32 <sup>a</sup>

(\*) = Significativo (p ≤ 0.05). Letras iguales dentro de columnas son estadísticamente similares (Prueba de medias DMS). T=Testigo, UF=Urea foliar, GA<sub>3</sub>= Ácido giberélico, A= Anillado de ramas, dda= Días después de anthesis y mg g<sup>-1</sup> p.s.= miligramos por gramo de peso seco.

### Concentración de fructosa en frutos 60 dda

A los 60 dda no se presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos, para la concentración de fructosa en frutos de toronja (Cuadro 1).

En el caso de los frutos de los árboles «off» a los 60 dda, la concentración de fructosa se incrementó al aplicar GA<sub>3</sub> y anillado de ramas, con respecto al testigo («off»), coincide con lo reportado por Talón *et al.* (1992) en árboles «off» de mandarina 'Clemenules', donde mencionan que el incremento de la concentración de fructosa se observó con la aplicación de GA<sub>3</sub>, ya que aumenta la demanda de asimilados de los ovarios y así su crecimiento, o mediante anillado de ramas en mandarina 'Fortune', que aumenta directamente la disponibilidad de carbohidratos (Rivas *et al.*, 2006).

### Concentración de fructosa en frutos 90 dda

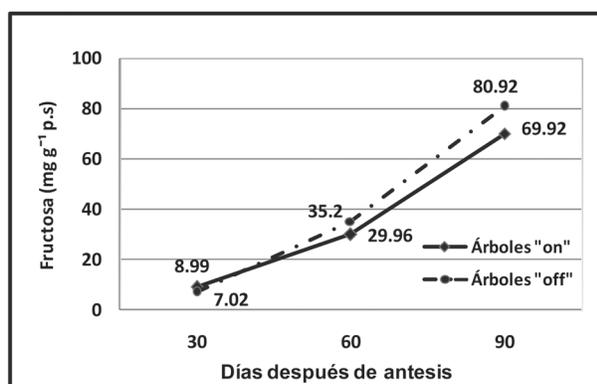
Los frutos de los árboles «on» tratados con urea foliar y anillado fueron estadísticamente diferentes al resto de los tratamientos, presentando menor concentración de fructosa. Se observó que los frutos de los árboles «on» tratados con GA<sub>3</sub>, fueron los de mayor concentración de fructosa, pero resultaron estadísticamente similar a los del control de los árboles «on» y todos los tratamientos en los árboles «off». Existen fuertes evidencias que soportan el hecho que las GAs juegan un papel clave en el proceso de transición de flor a fruto, ya que aumentan la demanda por asimilados de los ovarios y como activadores de la división y crecimiento celular (Talón *et al.*, 1992; Ben-Cheikh *et al.*, 1997).

### Tendencia de concentración de fructosa

La tendencia de la concentración de fructosa en frutos de toronja entre muestreos de los árboles «on» (Figura 1), fue de un incremento en promedio de todos los tratamientos de 3.30 veces más a los 60 dda, (29.96 mg g<sup>-1</sup> de p.s.) con respecto a los 30 dda (8.99 mg g<sup>-1</sup> de p.s.) y 2.33 veces más a los 90 dda (69.92 mg g<sup>-1</sup> de p.s.) con respecto a los 60 dda (29.96 mg g<sup>-1</sup> de p.s.), mientras que en los árboles «off», fue de un incremento en promedio de todos los tratamientos de 5 veces más a los 60 dda (35.20 mg g<sup>-1</sup> de p.s.) con respecto a los 30 dda (7.02 mg g<sup>-1</sup> de p.s.) y 2.30 veces más a los 90 dda (80.92 mg g<sup>-1</sup> de p.s.) con respecto a los 60 dda (35.20 mg g<sup>-1</sup> de p.s.) mostrando mayor

incremento de fructosa en los frutos de toronja a partir de los 30 dda en frutos de árboles «off», coincidiendo inicialmente con el incremento en masa seca del pericarpio, y después de 60 dda, con el desarrollo de las vesículas, esto debido a que a menor número de frutos, menos competencia por fructosa, similar a lo encontrado por Laskowski (2010), en el fruto de naranja dulce (*Citrus sinensis*), variedad 'Salustiana'.

**Figura 1.** Tendencia de concentración de fructosa ( $\text{mg g}^{-1}$  de peso seco [p.s.]) en frutos pequeños de toronja variedad Rio Red, en el ciclo de producción 2014-2015, en General Terán, Nuevo León, Méx.



## Conclusiones

Las aplicaciones de urea foliar y  $\text{GA}_3$  incrementan las concentraciones de fructosa en frutos de toronja al inicio del crecimiento de los frutos (30 dda).

La concentración de fructosa en frutos de toronja a los 60 dda no presentó diferencia significativa entre los tratamientos, sin embargo, el comportamiento en la concentración de fructosa fue de un incremento en árboles «off» con la aplicación de  $\text{GA}_3$ .

A los 90 dda se encontraron mayores concentraciones de fructosa en los frutos de árboles testigos («on» y «off»), esto indica que los tratamientos con urea foliar y  $\text{GA}_3$  fueron efectivos solo al inicio del crecimiento del fruto (30 dda) para incrementar las concentraciones de fructosa en frutos de toronja.

La tendencia de la concentración de fructosa en frutos de toronja entre muestreos, fue de un incremento en todos los tratamientos de árboles «on» y «off».

## Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por la beca otorgada para la realización del Doctorado en Ciencias Agrícolas y a la Facultad de Agronomía de la UANL por la realización de este proyecto, así como a todos los participantes que de alguna forma contribuyeron para hacer posible el presente trabajo de investigación.

## Literatura citada

- BEN-CHEIKH, W., J. Pérez-Botella, F. R. Tadeo, M. Talón, and E. Primo-Millo. 1997. Pollination increases gibberellin levels in developing ovaries of seeded varieties of citrus. *Plants Physiology* 114:557-564.
- EL-OTMANI, M., F. Z. Taibi, B. Lmoufid, A. Ait-Oubahou, and C. J. Lovatt. 2004a. Improved use of foliar on clementine mandarin to manipulate cropping in a sustainable production system. *Acta Horticulturae* 632:167-175.
- EL-OTMANI, M., A. Ait-Oubahou, C. J. Lovatt, F. El-Hassainate, and A. Kaanane. 2004b. Effect of gibberellic acid, urea and  $\text{KNO}_3$  on yield and on composition and nutritional quality of clementine mandarin fruit juice. *Acta Horticulturae* 632:149-157.
- ESPINOZA, P. F. L. 2012. Metabolismo de Carbohidratos. Universidad Católica Agropecuaria del Trópico Seco. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Nicaragua. Pp. 100.
- GUARDIOLA, J. L. y A. García-Luis. 2000. Increasing fruit size in Citrus. Thinning and stimulation of fruit growth. *Plant Growth Regulation* 31:121-132.
- LASKOWSKI, L. E. 2010. Determinación de carbohidratos solubles en pedicelo y fruto de *Citrus sinensis* (L.) Osbeck, durante el crecimiento inicial. *Interciencia* 35:388-392.
- MAHOUACHI, J., D. Iglesias, M. Agustí, and M. Talón. 2009. Delay of early fruitlet abscission by branch girdling in citrus coincides with previous increases in carbohydrate and gibberellins concentrations. *Plant Growth Regulation* 58:15-23.
- MARTÍNEZ DE LA C., J., H. Rojas P., A. Gutiérrez D., E. Olivares S. y J. Aranda R. 2012. Effect of organic and synthetic fertilization in grapefruit (*Citrus paradisi* Macf.) yield and juice quality. *Journal of Horticulture and Forestry* 4:61-64.
- OLIVARES, S. E. 2012. Diseños Experimentales. Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Escobedo N.L. México. Versión 1.0 en disco compacto.
- RIVAS, F., A. Martínez-Fuentes, C. Mesejo, C. Reig, and M. Agustí. 2010. Efecto hormonal y nutricional del anillado en frutos de diferentes tipos de brotes de cítricos. *Agrociencia Uruguay* 14:155-160.
- RIVAS, F., Y. Erner, E. Alós, M. Juan, V. Almela, and M. Agustí. 2006. Girdling increases carbohydrate availability and fruit-set in citrus cultivars irrespective of parthenocarpic ability. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 81:289-295.
- TALÓN, M., L. Zacarías, and E. Primo-Millo. 1992. Gibberellins and parthenocarpic ability in developing ovaries of seedless mandarins. *Plants Physiology* 99:1575-1581. 

Este artículo es citado así:

Rojas-Pérez, H., J. Martínez-de la Cerda, A. Benavides-Mendoza, E. Olivares-Sáenz, J. Aranda-Ruiz, A. Gutiérrez-Diez, A. Luna-Maldonado, E. Rivas-Martínez. 2016. Concentración de fructosa en frutos de toronja (*Citrus paradisi* Macf.) en desarrollo. *TECNOCIENCIA Chihuahua* 10(1): 6-12.

## Resumen curricular del autor y coautores

**HÉCTOR ROJAS PÉREZ.** Terminó su licenciatura en 1986, año en que le fue otorgado el título de Ingeniero Agrónomo en Horticultura por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Realizó su posgrado en Monterrey Nuevo León, donde obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Productividad Agropecuaria en 1991 por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), Campus Monterrey y el grado de Maestro en Ciencias en Producción Agrícola en el 2012 por la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL). Es co-autor de un artículo científico y de 14 ponencias en seminarios y congresos. De 1992-2010 laboró en empresas particulares en el área de administración, producción y comercialización de plantas ornamentales, árboles frutales y de ornato, así como diseño, construcción y mantenimiento de jardines, parques y campos deportivos. Certificación en Producción de Hortalizas en Sistemas protegidos por la Universidad de Almería en el 2012. Desde el 2010 labora en la Corporación para el Desarrollo Agropecuario de N.L. como extensionista, vinculado en la actividad de consultoría integral, asesoría estratégica y capacitación a productores de cítricos y hortalizas.

**JESÚS MARTÍNEZ DE LA CERDA.** Concluyó la licenciatura como Ing. Agrónomo Fitotecnista en la Facultad de Agronomía de la UANL en el año de 1985, cursó la Maestría en Tecnología de Semillas en UAAAN en 1992 y el Doctorado en Facultad de Agronomía de la UANL en Ciencia Agrícolas con mención CUM LAURO en el 2003. Auxiliar de Investigador de 1986 al 2009 y Maestro de tiempo completo en la Facultad de Agronomía, UANL desde el 2009. Con especialización en Hortalizas, Frutales, Nutrición y Aguas Residuales. SNI del 2005 al 2008. Tesis de licenciatura 25, 10 de maestría y 6 de doctorado. Artículos científicos publicados: 5 y conferencias nacionales e internacionales: 30. Investigador de proyectos de investigación en Fundación Produce Nuevo León del 2004 al 2012 y evaluador desde el 2010. Responsable del Proyecto de Hortalizas (2010) en la Facultad de Agronomía, UANL. Director de Organización y Capacitación de Productores del 2003 al 2009 y Director de Desarrollo Rural del 2009 al 2015 en la Corporación para el Desarrollo Agropecuario de N.L. Certificación en Producción de Hortalizas en Sistemas Protegidos por la Universidad de Almería en el 2012. Director general honorífico de FIDESUR del 2013 al 2015 con premio nacional "Miguel Alemán Valdés" a la Innovación para la Productividad Agropecuaria 2010.

**ADALBERTO BENAVIDES MENDOZA.** Terminó su licenciatura en 1985, recibiendo el título de Licenciado en Biología por el ICCAC-UAAAN. Terminó una Maestría en Fitomejoramiento en la UAAAN en 1989, y el Doctorado en Ciencias, en la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL en 1998. Trabajó en la Secretaría de Agricultura de 1989-1990, en el Centro de Investigación en Química Aplicada de 1990-1994, en el Grupo Industrial Bimbo de 1994-1998 y en la UAAAN de 1998 a la fecha. Es profesor Investigador del Departamento de Horticultura de la UAAAN. Cuenta con perfil PRODEP de la SEP y es miembro del SNI del CONACYT con nivel 2. Ha publicado 93 artículos científicos en revistas especializadas, cuenta con libros y capítulos de libros publicados en México y otros países. Ha dirigido 11 tesis de doctorado, 22 de maestría y 81 de licenciatura. Ha coordinado múltiples proyectos con financiamiento de fuentes privadas, del CONACYT y otras instituciones. Sus áreas de investigación son la ecofisiología y nutrición vegetal así como la relación entre la calidad nutricional de los cultivos y la tolerancia al estrés.

**EMILIO OLIVARES SÁENZ.** Terminó su licenciatura en 1971, año en que le fue otorgado el título de Ingeniero por la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL). Realizó una maestría en estadística en el Colegio de Postgraduados en Chapingo, Méx. De 1974 a 1975. Posteriormente obtuvo una maestría en fertilidad de suelos y un doctorado en nutrición vegetal en la Universidad Estatal de Nuevo México E.U. Desde 1975 labora en la Facultad de Agronomía de la UANL. Fue miembro del Sistema Nacional de Investigadores del 2003 al 2011 con Nivel I. Su área de especialización es agricultura protegida, nutrición vegetal y estadística. Ha dirigido 17 tesis de maestría y 9 de doctorado. Es autor de 50 artículos científicos, más de 40 ponencias en congresos; además ha impartido 45 conferencias por invitación y ha dirigido 10 proyectos de investigación financiados por fuentes externas. Es evaluador de proyectos de investigación Fundación Produce Nuevo León y del Programa de Docencia Universitaria.

**JUANA ARANDA RUIZ.** Terminó su licenciatura en 1989, año en que le fue otorgado el título de Biólogo por la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL. Realizó su posgrado en México donde obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Producción Animal, 1993 por la FAUANL y el grado de Doctor en Ciencia Animal en el año 2000. Labora en la Facultad de Agronomía de la UANL y posee la categoría de Profesor de Tiempo Completo titular A. Cuenta con el reconocimiento de Perfil Deseable, proporcionado por el PRODEP desde el 2009. Su área de especialización es influencia de los microorganismos en la alimentación y utilización de extractos vegetales en el control de microorganismos. Ha dirigido 6 tesis de licenciatura y 1 de maestría. Es autora de 10 artículos científicos, más de 10 ponencias en congresos, y 2 capítulos de libros científicos; además ha impartido 4 conferencias por invitación y dirigido 3 proyectos de investigación financiados por fuentes externas. Ha evaluado proyectos de Fundación Produce Nuevo León, y ha sido árbitro de tres revistas científicas de circulación nacional.

**ADRIANA GUTIÉRREZ-DIEZ.** Terminó su licenciatura en 1993, año en que le fue otorgado el título de Ingeniero Agrónomo Fitotecnista por la Facultad de Agronomía de la UANL. Realizó su posgrado en la misma Facultad de Agronomía, donde obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Producción Agrícola en el año de 1998 y el grado de Doctor en Ciencias Agrícolas en 2002. Desde 2004 labora en la Facultad de Agronomía de la UANL y posee la categoría de Profesor de Tiempo Completo titular B. Ha sido miembro del Sistema Nacional de Investigadores de 2004 a 2006 Nivel Candidato y Nivel 1 de 2014-2016, 2017-2020. Su área de especialización es la aplicación de marcadores moleculares para caracterización de recursos fitogenéticos, entre otras. Ha dirigido 3 tesis de licenciatura. En 2007 ganó el Premio a la Mejor Tesis de Licenciatura de la UANL. Es autora de 25 artículos científicos, 4 artículos de divulgación, 3 capítulos de libros, ha participado como compiladora de un libro, ha dirigido 13 proyectos de investigación financiados por fuentes internas y externas a la UANL. Es líder del cuerpo académico en consolidación de Agrobiotecnología de la UANL. Es evaluadora de proyectos de investigación del CONACYT, evaluadora desde 2008 a la fecha del Premio a la Mejor Tesis de Licenciatura y Maestría de la UANL, y revisora de artículos científicos de revistas científicas de circulación nacional e internacional.

**ALEJANDRO ISABEL LUNA MALDONADO.** Terminó su licenciatura en 1990, año en que le fue otorgado el título de Ingeniero Agrícola por la Facultad de Agronomía de la UANL. Realizó estudios de posgrado en UAAAN, donde obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en el área de diseño mecánico agroindustrial en 2004. Sus estudios de doctorado los realizó en Japón, donde obtuvo el grado de Doctor en Filosofía en la ciencia agrícola, con especialidad en desarrollo de tecnología para ecosistemas, en 2009 por la Universidad de Kyushu. Desde 1992 labora en la Facultad de Agronomía de la UANL y posee la categoría de Profesor titular C. Ha sido miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 2010 (candidato 2010-2012; Nivel 1 2013-2015; 2016-2019). Obtuvo el Reconocimiento Profesional FAUANL 2014 por su aportación al ámbito científico en el sector agroindustrial. Su área de especialización es el desarrollo de tecnología y automatización para la agricultura y la industria alimentaria. Ha realizado 4 estancias de investigación internacional. Ha dirigido 2 tesis de licenciatura, 4 de maestría y 2 de doctorado. Es autor de 27 artículos científicos, más de 50 ponencias en congresos, y 3 capítulos de libros científicos; además ha impartido 10 conferencias por invitación y ha dirigido 5 proyectos de investigación financiados por fuentes externas y 3 proyectos de investigación financiados por fuentes internas. Es evaluador de proyectos de investigación del CONACYT y revisor del seguimiento de los Fondos sectoriales Sagarpa-Conacyt. Es evaluador de la Agencia Centroamericana de Acreditación de Posgrados (ACAP) y del Consejo de Acreditación para la Ingeniería y Tecnología (ABET, pos sus siglas en inglés) y árbitro de cuatro revistas científicas de circulación internacional.

**ERIKA NOHEMI RIVAS MARTÍNEZ.** Terminó su licenciatura en 2007, año en que le fue otorgado el título de Químico Farmacobiólogo por la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Coahuila (UAC). Obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en el área de Ciencia y Tecnología de los Alimentos en 2010 por la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Coahuila (UAC) y el grado de Doctor en Ciencias en el área de Manejo y Administración de Recursos Vegetales por la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL en 2016. Laboró como técnico académico desde año 2010 hasta 2014 en el Departamento de Horticultura de la UAAAN y como docente en la Universidad del Valle de México durante el 2015 y 2016. Actualmente labora como docente por asignatura para el Departamento de Botánica de la UAAAN durante el semestre Agosto-Diciembre del presente año. Ha dirigido 3 tesis de licenciatura. Es autora de 2 artículos científicos y coautora de 1 artículo científico. Comparte autoría de 1 capítulo de libro científico.

# Peso fresco y calidad de nopalito (*Opuntia ficus-indica* L.) fertilizado con composta de estiércol de vaca

Fresh weight and quality of nopalito (*Opuntia ficus-indica* L.) fertilized with cow manure compost

HORACIO E. ALVARADO-RAYA<sup>1,4</sup>, EDMAR SALINAS-CALLEJAS<sup>2</sup> Y GUADALUPE ORTIZ-HUERTA<sup>3</sup>

Recibido: Diciembre 22, 2015

Aceptado: Febrero 29, 2016

## Resumen

La producción de nopal verdura en Milpa Alta, D.F., México, se ha basado por más de 40 años en la utilización de altas dosis de estiércol fresco de vaca (hasta 600 t.ha<sup>-1</sup>) y podría ser fuente de gases de efecto invernadero como metano y óxido nitroso; se necesitan alternativas de nutrición amigables con el ambiente. Para comparar diferentes fuentes de fertilización en el rendimiento de planta y en la calidad y vida de anaquel de cladodios, plantas de tres años de edad fueron tratadas con composta, lixiviado de composta aplicado al suelo o asperjado al tallo, estiércol fresco de vaca y fertilizante sintético; plantas tratadas con agua aplicada al suelo o asperjada al tallo fueron tratamientos testigo. Respecto al rendimiento, no hubo diferencias significativas entre tratamientos. Los cladodios de plantas tratadas con composta y estiércol fresco mostraron un pH menor (4.7) que aquellos de plantas tratadas con agua aplicada al suelo (5.1;  $p \leq 0.007$ ). Cladodios de plantas tratadas con fertilizantes sintéticos mostraron mayor resistencia al corte (6.9 Nw) que aquellos de plantas tratadas con estiércol (5.2 Nw), lixiviado de composta foliar (5.1 Nw) y agua aplicada al suelo (5.1 Nw;  $p \leq 0.002$ ). Cladodios de plantas tratadas con fertilizante sintético y lixiviado de composta foliar tardaron más días en mostrar oscurecimiento en anaquel (4.6 y 4.4 días, respectivamente) que aquellos producidos con agua aplicada al suelo (1.2 días;  $p \leq 0.001$ ). Se concluye que la composta de estiércol podría ser un sustituto apropiado del estiércol fresco de vaca para fertilizar el cultivo de nopal verdura.

**Palabras clave:** lixiviado de composta, producción orgánica, oscurecimiento enzimático, calidad de vida de anaquel.

## Abstract

Cactus crop as a tender leaf at Milpa Alta, D.F., Mexico, has depended for more than 40 years in the use of high doses of fresh cow manure (600 t.ha<sup>-1</sup>) and this could be a source for greenhouse gases such as methane and nitrous oxide; friendly nutrition alternatives are needed to the environment. To compare different sources of fertilizing on cactus plant yield, cladode quality and cladode shelf-life, three-year-old cactus plants were treated with compost, compost lixivate applied to the soil or as a foliar spray, fresh cow manure and synthetic fertilizer; plants treated with water applied to the soil or as a foliar spray served as checks. Regarding to the plant yield, there was no statistical difference among treatments. Cladodes of plants treated with compost and fresh manure showed a lower pH (4.7) than those of plants treated with water applied to the soil (5.1;  $p \leq 0.007$ ). Cladodes from plants treated with synthetic fertilizer showed higher resistance to cutting (6.9 Nw) than those from plants treated with manure (5.2 Nw), foliar sprayed with compost lixivate (5.1 Nw) and water applied to the soil (5.1 Nw;  $p \leq 0.002$ ). Cladodes of plants treated with synthetic fertilizer and foliar sprayed with compost lixivate took more days to show darkening on shelf (4.6 and 4.4 days, respectively) than cladodes from plants treated with water applied to the soil (1.2 days;  $p \leq 0.001$ ). It is concluded that compost manure could be a suitable substitute for fresh cow manure in fertilizing cactus tender leaf crops.

**Keywords:** compost lixivate, organic production, enzymatic browning, shelf-life quality.

<sup>1</sup> Universidad Autónoma Chapingo. Área de Biología, Preparatoria Agrícola. Km. 38.5 Carretera México-Texcoco. 56230. Texcoco, Estado de México. Tel. (595) 952-1500 Ext. 5289.

<sup>2</sup> Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco. Departamento de Economía. Avenida San Pablo 180, Reynosa Tamaulipas. 02200. Azcapotzalco, Ciudad de México.

<sup>3</sup> Instituto Politécnico Nacional. SEPI. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería, Ciencias Sociales y Administración (UPIICSA), Avenida Té 950. Colonia Granjas México, Iztacalco. 08400. Ciudad de México.

<sup>4</sup> Dirección electrónica del autor de correspondencia: horacio\_alvarado@hotmail.com.

## Introducción

La producción de nopal verdura (nopalito) en la Delegación Milpa del Distrito Federal, México, históricamente se ha basado en altas dosis de estiércol fresco, con ventajas para la nutrición de la planta, las características físico-químicas del suelo, la retención de humedad y la reducción de malezas (Rivera *et al.*, 2006); sin embargo, es necesario también considerar las desventajas que esta práctica podría tener y ofrecer alternativas de fertilización.

En 2014, la superficie plantada de nopalito en esta delegación fue de 2,850 hectáreas, representando un 23.7% del total de la superficie nacional plantada con este cultivo en ese año; solamente seguida por Tlalneantla, Morelos, municipio colindante con Milpa Alta que registró en ese año 2,458 hectáreas de nopalito (SIAP, 2014). Si se considera que la producción de nopal verdura en Milpa Alta depende de la aplicación de hasta 600 t.ha<sup>-1</sup> de estiércol fresco de vaca (Rivera *et al.*, 2006; Vázquez-Alvarado, *et al.*, 2006), la cantidad potencial de este insumo utilizada en la producción anual de nopalito en esa delegación ascendería a 1.71 millones de toneladas cada año. Esta gran cantidad de estiércol fresco en una región agrícola hace obligado considerar los efectos ambientales y de inocuidad que se podrían generar.

La aplicación de estiércoles en la agricultura tiene ventajas ya conocidas, pero es también necesario considerar sus posibles desventajas ambientales. En comparación con la aplicación de fertilizantes sintéticos, la aplicación de estiércoles a los suelos agrícolas incrementa el carbono orgánico y minerales como el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K); mejora el pH, aumenta la masa microbiana e incrementa la actividad enzimática haciendo disponible para la planta al N y el P; también incrementa la formación y estabilidad de agregados. Con lo anterior, no sólo se aumenta el rendimiento de los cultivos sino también la capacidad del suelo para secuestrar carbono de la atmósfera (Zhong *et al.*, 2010; Acosta-Martínez *et al.*, 2011; Karami *et al.*, 2012; Liang *et al.*, 2012); sin embargo, la aplicación de altas

dosis de estiércoles en Milpa Alta también puede generar problemas de altas concentraciones de materia orgánica, N y P en las escorrentías, y participar en los problemas de eutrofización en las aguas de los lagos del Valle de México, e.g. el Lago de Chalco (Chanduví, 1993; Withers *et al.*, 2014). Lo anterior, aunado a la alta probabilidad de emisión de gases efecto invernadero (GEI) como el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), y también a que podría ser el origen de lixiviados de nitratos (NO<sub>3</sub>) al manto freático (Martínez *et al.*, 2003; Massé *et al.*, 2003; Sistani *et al.*, 2011; Kariyapperuma *et al.*, 2012) hace obligada la reconsideración de este tipo de fertilización en la producción de nopal verdura en Milpa Alta y la generación de alternativas.

La utilización de composta podría considerarse como una alternativa ambientalmente amigable en la producción de nopal verdura en esta zona. El compostaje de estiércoles puede resultar en menor emisión de GEI en comparación con su almacenamiento (Chen *et al.*, 2014), mientras que la aplicación de compostas al suelo podría reducir el contenido de NO<sub>3</sub> y PO<sub>4</sub> en las escorrentías y reducir las emisiones de GEI en comparación con el estiércol, sin perder las ventajas para el suelo y el cultivo que anteriormente se han mencionado para el caso de la aplicación de estiércoles (Martínez *et al.*, 2003; Lynch *et al.*, 2005; Kariyapperuma *et al.*, 2012). Por el lado del cultivo, se han encontrado incrementos del rendimiento de nopalito (número de cladodios, longitud y grosor, peso seco y peso fresco de cladodio) al utilizar composta o estiércol en comparación del cultivo sin composta ni estiércol (Murillo-Amador *et al.*, 2005).

Para considerar la utilización de composta de estiércol de vaca como una opción viable para sustituir el estiércol fresco en la producción de nopalito en Milpa Alta, se requiere de información surgida de la comparación objetiva entre este tipo de fertilización y otras fuentes minerales. La presente es una investigación exploratoria, cuyo objetivo es comparar diferentes fuentes de fertilización y su efecto en el rendimiento, calidad y vida de anaquel de nopal verdura en condiciones de campo en la zona rural de Milpa Alta, DF., haciendo énfasis en la comparación entre el estiércol en fresco y el estiércol en composta.

## Materiales y métodos

**Elaboración de la composta.** Para este experimento se utilizó composta elaborada previamente durante el periodo del 13 de marzo al 16 de junio de 2010. La composta se hizo a base de estiércol fresco de vaca, residuos de poda de nopal y residuos de jardinería (pasto y madera de eucalipto) en una proporción 2:2:1 basada en peso. El proceso de compostaje se realizó en una cama de concreto con una inclinación de cinco grados y se encuentra explicado en Tavera-Cortes *et al.* (2014). La pila de compostaje tuvo las dimensiones de 1.2 x 1.0 x 12 m (alto, ancho y largo) y se aireó por medio de volteo manual una vez a la semana. La temperatura registrada en la cama de compostaje varió entre los 37 y los 58 °C durante los tres meses del proceso (12 de marzo a 18 de junio de 2010). Se recolectó el lixiviado y al final del proceso se analizaron tanto la composta como el lixiviado (Cuadros 1 y 2), se envasaron y se almacenaron para su uso posterior.

**Cuadro 1.** Características de la composta aplicada al suelo en la huerta experimental de nopalito en 2012.

Materia orgánica (%)	Nitrógeno (%)	Carbono orgánico (%)	Relación C:N
49.2	1.12	28.54	25.5

**Cuadro 2.** Características del lixiviado de composta aplicado mensualmente a la huerta experimental de nopalito durante 2012 y 2013.

Minerales (mg.L <sup>-1</sup> )					pH	Conductividad (mS.cm <sup>-1</sup> )
Nitratos	Fósforo	Potasio	Magnesio	Calcio		
221.5	1995.5	64.80	5.0	50.0	8.5	5.83

**Establecimiento del experimento.** El experimento se inició en 2012 y se estableció en una huerta comercial de nopal verdura de tres años de edad en el ejido San Lorenzo Tlacoyucan de la delegación Milpa Alta, D.F. (LN 19°, 09', 53"; LW 99°, 02', 44"). La huerta estuvo diseñada en hileras con distancias de 1.0 m entre hileras y 50 cm entre plantas; las plantas estuvieron conformadas por tres a cuatro pencas estructurales.

Se consideraron siete tratamientos: fertilización sintética (250-50-200), estiércol fresco de vaca (600 t.ha<sup>-1</sup>), composta de estiércol de vaca (555 t.ha<sup>-1</sup>), lixiviado de composta aplicado en forma foliar, lixiviado de composta aplicado al suelo y como testigos se aplicó agua en forma foliar y agua al suelo. La composta y el estiércol fresco se aplicaron por única vez el 28 de abril de 2012, distribuyéndose en la calle (entre dos hileras de nopal); el fertilizante sintético se aplicó en 2012 y 2013, dividiéndose en dos aplicaciones anuales, una en abril (125-50-100) y otra en agosto (125-00-100); el lixiviado obtenido durante el compostaje se diluyó con agua en una proporción de 20:1 y su aplicación fue mensual, asperjada a la planta hasta formación de gota y en el suelo a una dosis de 2.0 litros de diluido por metro lineal en la hilera de plantas. La aplicación de agua foliar y al suelo se hizo de manera similar a la aplicación de lixiviado. La composta y su lixiviado utilizados en este experimento fueron producidos durante el compostaje de 2010 explicado en el párrafo anterior. El formula química utilizada para el tratamiento sintético se conformó a base de Urea (46-00-00), Triple-17 (17-17-17) y Nitrato de Potasio (13-00-46).

*Registro de variables de crecimiento en campo.* Después del establecimiento del experimento, se cosecharon los nopales aunque no se registraron datos. El registro de variables respuesta para crecimiento se realizó en el año siguiente al del establecimiento del experimento, de manera mensual y durante toda la temporada de producción 2013 (marzo a octubre). Se determinaron el número de cladodios cosechados por planta, así como el peso fresco y peso seco por cladodio. El peso seco se obtuvo por deshidratación a una temperatura de 70 °C y hasta peso constante.

*Análisis de calidad.* El 5 de julio de 2013 se realizó un análisis de calidad, para lo cual los cladodios se cosecharon al amanecer (7:00 a 9:00 am; 12:00 a 14:00 UTC); se les eliminaron las espinas en campo inmediatamente después de cosecharlos y se transportaron en una hielera ( $\pm 4$  °C; 90 min) al laboratorio donde se seleccionaron cinco cladodios con 10 a 20 cm de longitud para cada repetición, a los cuales se les determinó el índice de color, la resistencia al corte, la acidez titulable y el pH. Las variables de color se determinaron para cada cladodio con un Hunter Lab marca Reston, modelo D25-PC2, considerándose los valores L, a y b. La luminosidad se tomó directamente del aparato (L) y se determinó el ángulo de tono (Ecuación 1) y la pureza de color (Ecuación 2) con las variables a y b. Los valores de los cinco cladodios en una repetición se promediaron para contar con un valor por repetición.

*Ecuación 1.* Ángulo de tono ( $^{\circ}$ Hue) =  $\text{Tan}^{-1}(b/a)$

*Ecuación 2.* Pureza (Chroma) =  $(a^2 + b^2)^{1/2}$

Para determinar la resistencia al corte (firmeza), se obtuvo una tira longitudinal del centro del cladodio, y se midió la resistencia al corte (Newtons) en tres puntos (extremos y centro) de la tira con un texturómetro Force Five, modelo FDV con punta de cincel de 3.0 cm hasta cortarlo. Los tres valores de la tira se promediaron para generar un valor por cladodio y los valores de los cinco cladodios se promediaron para generar un valor por repetición. Para determinar el pH y la acidez titulable, se

tomaron 10.0 g de muestra por repetición. La muestra se conformó de las partes centrales de la tira derecha de cada cladodio de una repetición. La muestra mezclada para cada repetición se molió con 50 mL de agua destilada y se tamizó. Se tomaron 5.0 mL del tamizado y se determinó el pH con un potenciómetro marca Beckman, modelo 40 pH Meter. La acidez titulable se determinó por el método de la fenolftaleína y con base en el ácido málico. Se tomaron 5.0 mL del licuado y se le agregaron 3 gotas de fenolftaleína en solución alcohólica al 1%, después se agregó NaOH 0.1M hasta detectar cambio de color. Se registró la cantidad gastada de NaOH y la acidez se determinó mediante la Ecuación 3.

*Ecuación 3.*

Ac. Málico (%) =  $[(a \times b \times c \times V)/P \times A] \times 100$

Donde:

a = mL NaOH (0.1N) gastados

b = 0.1 (normalidad de NaOH)

c = 0.067 (miliequivalentes de ácido málico)

V = Volumen total del licuado (mL agua destilada + pulpa de cladodio)

P = 10.0g (peso de la muestra)

A = 5.0 (cantidad en mL de la alícuota)

*Vida de anaquel.* El primero de noviembre de 2013 se seleccionaron cinco cladodios por tratamiento (cosechado, desespinados y transportados al igual que aquellos utilizados para análisis de calidad). En el laboratorio se determinó el peso fresco, longitud y ancho de cladodio y se colocaron a temperatura ambiente ( $\pm 18$  °C) en contenedores de plástico transparentes cerrados, pero con ventilación. Se determinó la pérdida de peso y el avance del oscurecimiento en cada cladodio durante siete días. Para determinar el oscurecimiento se definió una escala subjetiva (1 = poco o nada de oxidación; 2 = oxidación ligera; 3 = oxidación regular; 4 = oxidación severa; 5 = oxidación muy severa), la cual se utilizó durante los siete días de evaluación.

**Diseño experimental y análisis de datos.** Se consideró un diseño completamente al azar para la distribución de los tratamientos en campo. Una planta se consideró como unidad experimental y se tuvieron seis repeticiones por tratamiento para determinar el efecto de tratamientos en las variables de crecimiento y calidad de cladodio, pero sólo cinco repeticiones en el análisis de vida de anaquel. Los datos se analizaron con el paquete estadístico SAS (SAS 2002, Institute Inc, Cary, NC, USA) por medio del modelo GLM. Las medias se separaron mediante la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) en caso de significancia estadística.

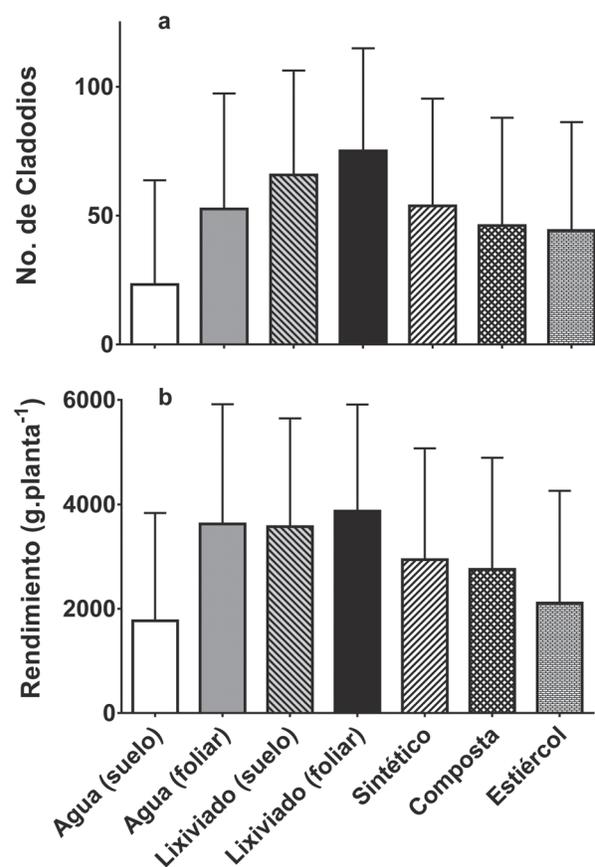
## Resultados y discusión

**Crecimiento y rendimiento de planta.** Aunque los tratamientos no mostraron efecto significativo sobre el número de cladodios ni sobre la acumulación de peso (fresco y seco) tanto de cladodio como de la planta, se observó una tendencia a un mayor número de cladodios en las plantas fertilizadas con lixiviado de composta, tanto al suelo como foliar (68.5 y 71.5 cladodios por planta, respectivamente; Figura 1a). Debido a la correlación negativa que el número de cladodios mostró con el peso fresco y seco de cladodio (Cuadro 3), los pesos fresco y seco tendieron a disminuir en aquellos cladodios producidos por plantas fertilizadas con lixiviado de composta y, por el contrario, el mayor peso fresco y seco de cladodio tendió a presentarse en aquellas plantas tratadas solamente con agua al suelo (70.8 y 3.5 g) y agua foliar (75.8 y 3.2 g). De la misma manera, la alta correlación positiva entre el número de cladodios y el peso fresco total acumulado por planta, permitió observar una tendencia a un mayor rendimiento (peso fresco de planta) acumulado en las plantas tratadas de manera foliar, tanto con agua como con lixiviado, así como en las plantas tratadas con lixiviado al suelo (Figura 1b).

Diferentes investigaciones han reportado el tiempo necesario para observar el efecto de la aplicación de materia orgánica al suelo. Rivera *et al.* (2006) mencionan que es necesario poco

menos de un año para que la materia orgánica aplicada a los suelos agrícolas de Milpa Alta se descomponga; Acosta-Martínez *et al.* (2011) encontraron que se requieren dos años para considerar beneficios potenciales de los fertilizantes orgánicos en los ciclos biogeoquímicos del suelo y su actividad enzimática. En el presente experimento, se permitió un año para que después de la aplicación de estiércol y composta se iniciara el registro de variables, pero aun así, no se encontraron diferencias significativas; una explicación podría ser la riqueza en materia orgánica y minerales que tienen los suelos agrícolas de Milpa Alta por la recurrente aplicación de altas dosis de estiércol desde hace más de 40 años (Rivera *et al.*, 2006).

**Figura 1.** Efecto de diferentes tipos de fertilización en el número total de cladodios (a) y el rendimiento acumulado (b) en nopal verdura en Milpa Alta, D.F. Méx. Las columnas son la media ajustada por cuadrados mínimos de seis valores. Las barras representan la desviación estándar.



**Cuadro 3.** Matriz de correlaciones entre las principales variables de crecimiento en nopal verdura en Milpa Alta, DF, Méx.

	NC <sup>2</sup>	FrPnc	SecPnc	SecPnc%	FrPlt	SecPlt	SecPlt%	Índice
NC	1.00	-0.31 <sup>y</sup>	-0.362 <sup>z</sup>	-0.261 <sup>NS</sup>	0.912 <sup>***</sup>	0.886 <sup>***</sup>	-0.322 <sup>z</sup>	0.753 <sup>***</sup>
FrPnc		1.00	0.872 <sup>***</sup>	0.123 <sup>NS</sup>	-0.042 <sup>NS</sup>	-0.032 <sup>NS</sup>	0.102 <sup>NS</sup>	0.069 <sup>NS</sup>
SecPnc			1.00	0.583 <sup>***</sup>	-0.158 <sup>NS</sup>	-0.078 <sup>NS</sup>	0.54 <sup>***</sup>	-0.012 <sup>NS</sup>
SecPnc%				1.00	-0.266 <sup>NS</sup>	-0.118 <sup>NS</sup>	0.961 <sup>***</sup>	-0.156 <sup>NS</sup>
FrPlt					1.00	0.973 <sup>***</sup>	-0.354 <sup>z</sup>	0.862 <sup>***</sup>
SecPlt						1.00	-0.189 <sup>NS</sup>	0.826 <sup>***</sup>
SecPlt%							1.00	-0.266 <sup>NS</sup>
Índice								1.00

<sup>2</sup> NC=Número de cladodios por planta; FrPnc = Peso fresco del cladodio (g); SecPnc = Peso seco del cladodio (g); SecPnc% = Peso seco de cladodio (%); FrPlt = Peso fresco acumulado por planta (g); SecPlt = Peso seco acumulado por planta (g); SecPlt% = Peso seco acumulado por planta (%); Índice = Peso fresco total acumulado por la planta dividido entre el número de pencas estructurales de la misma.

<sup>y</sup> Correlación significativa con p<0.05 (\*), p<0.01(\*\*), p<0.001(\*\*\*) y no significativa (<sup>NS</sup>).

Son pocos los estudios que versen sobre las correlaciones entre las variables de crecimiento en el cultivo de nopal verdura. Murillo-Amador *et al.* (2005) encontraron una correlación positiva entre el número de cladodios y su peso fresco y seco. En nuestro estudio, la correlación entre estas variables fue negativa, probablemente explicado porque la huerta de nopalito en Milpa Alta se manejó bajo condiciones de temporal, incrementando el efecto de competencia por humedad entre cladodios.

**Calidad de nopalito.** Los tratamientos no tuvieron efecto significativo sobre la acidez titulable ni sobre los parámetros de color (Cuadro 4); estos valores se encontraron cercanos a los encontrados en otras investigaciones (Aguilar-Sánchez *et al.*, 2007). Para el caso del pH de cladodios, los valores se encontraron dentro de los rangos reportados por otros autores para nopal verdura (Rodríguez-Felix y Cantwell, 1988; Betancourt-Domínguez *et al.*, 2006; Aguilar-Sánchez *et al.*, 2007). Los tratamientos con composta y estiércol redujeron significativamente el pH de los cladodios en comparación con el tratamiento testigo (agua aplicada al suelo). Aunque no hay estudios del efecto de fertilización orgánica en

el pH de nopal verdura, se ha reportado un pH de fruto menor en tomate producido por plantas fertilizadas con composta que en el producido por plantas fertilizadas con fertilizantes sintéticos (Riahi *et al.*, 2009). En nuestro experimento, los tratamientos en los que se observaron los menores valores para pH de cladodio fueron en los que también se registraron los mayores valores de peso fresco y seco por cladodio (sin diferencias estadísticas; datos no mostrados), lo que podría indicar una mayor actividad fotosintética en el cladodio, explicando el incremento en el pH por la mayor concentración de ácido málico, al ser el nopal una planta de metabolismo MAC; sin embargo, esta hipótesis queda pendiente para futuras investigaciones.

Respecto a la textura del cladodio, los valores encontrados en esta investigación se encuentran por debajo de los reportados por Aguilar-Sánchez *et al.* (2007) y Flores-Barrera (2013). El tratamiento con fertilizante sintético resultó en una mayor resistencia al corte que los tratamientos a base de estiércol, lixiviado aplicado de manera foliar y agua al suelo (Cuadro 4). Se ha mencionado que el grosor de la cutícula en nopalito influye en la resistencia al corte, existiendo una mayor resistencia en cladodios con una cutícula más gruesa (Flores-Barrera, 2013). En nuestro experimento, las plantas fertilizadas con fertilizante sintético pudieron también resultar en un menor contenido de humedad del suelo que en los otros tratamientos, resultando en una cutícula más gruesa en el cladodio. Al respecto, se conoce que algunas plantas suculentas y con metabolismo MAC como *Aloe vera*, incrementan el grosor de ambas cutículas -adaxial y abaxial- al reducir el contenido de humedad del suelo (Silva *et al.*, 2014).

**Vida de anaquel.** Aunque se encontraron diferencias estadísticas (p<0.05) en la pérdida de peso registrada en gramos en los cladodios después de siete días de almacenamiento a temperatura ambiente, esta pérdida de peso registrada en base a por ciento de peso inicial no mostró diferencias estadísticas (Cuadro 5).

Los cladodios de las plantas tratadas con lixiviado de composta asperjado a la penca y las tratadas con fertilizante sintético duraron más días en anaquel sin mostrar oscurecimiento, aunque este efecto duró más con la fertilización sintética. Aguilar-Sánchez *et al.* (2007) mencionan que la oxidación en nopal verdura se debe a la actividad de la enzima polifenoxidasa (PPO) y a la presencia de compuestos fenólicos, existiendo una variación en la intensidad de oscurecimiento que depende de la variedad y el estado de desarrollo del cladodio. Estos autores también encontraron que la variedad 'Milpa Alta' presenta alta actividad de PPO y potencial de oscurecimiento, en comparación con otras variedades con potencial para venta con procesamiento mínimo (pelado, cortado y rebanado). En nuestro experimento se encontró que el tipo de fertilización también puede afectar la velocidad de oscurecimiento; queda para futuras investigaciones el encontrar como es que el tipo de fertilización afecta la actividad de la PPO y la presencia de compuestos fenólicos en cladodios de nopal.

**Cuadro 4.** Análisis de calidad a cladodios producidos con diferentes fuentes de fertilización en Milpa Alta, D.F., Méx. Los valores son la media de seis repeticiones.

Tratamiento	pH	AT (% Ac. málico)	Textura (Nw)	Color		
				L	Chroma	Hue
Agua al suelo	5.1a <sup>z</sup>	0.92a	5.1c	33.2a	17.1a	54.6a
Agua foliar	4.9ab	0.67a	6.8ab	32.4a	17.6a	54.7a
Lixiviado al suelo	4.9ab	0.67a	5.8abc	33.8a	16.6a	58.4a
Lixiviado foliar	4.9ab	0.70a	5.1c	33.1a	17.6a	53.0a
Sintético (químico)	4.8ab	0.67a	6.9a	33.8a	17.3a	54.6a
Composta	4.7b	0.72a	5.3abc	32.0a	17.1a	54.4a
Estiércol	4.7b	0.97a	5.21bc	33.0a	17.8a	55.2a

<sup>z</sup> Valores con la misma letra dentro de la columna (tratamientos) no son diferentes estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

**Importancia para el consumidor.** Aunque el valor nutrimental es importante para nopalito, su apariencia y sabor pudieran ser de mayor relevancia para el consumidor. El nopalito, como

otros vegetales, es bajo en grasas y proteínas, pero su alto contenido de cenizas, fibras y agua lo ubican como un alimento dietético con posibilidades para el control de sobrepeso, el colesterol y la diabetes (Rodríguez-Felix y Cantwell, 1988; Saenz, 2000; Saenz-Hernández *et al.*, 2002; Stintzing y Carle, 2005); sin embargo, de acuerdo con Bruhn (2002), al momento de comprar los consumidores le darían más importancia a la apariencia y la frescura de un producto hortofrutícola que a otros atributos que hacen la calidad de consumo, incluyendo el sabor. En este sentido, se considera como nopalitos de buena calidad a aquellos «delgados, de apariencia fresca, turgentes y de un color verde brillante» (Saenz, 2000); además, el número de espinas junto con el color son factores de calidad evaluados por el consumidor al momento de la compra (Saenz-Hernández *et al.*, 2002). Por lo anterior, es importante también analizar el efecto que los tratamientos utilizados en este experimento podrían tener en la aceptación del producto en el mercado.

**Cuadro 5.** Pérdida de peso y velocidad de oxidación en cladodios producidos con diferentes fuentes de fertilización en Milpa Alta, D.F., Méx. Los valores son la media ajustada por cuadrados mínimos de cinco repeticiones.

Tratamiento	Pérdida de peso		Días a oscurecimiento	
	(g)	(%)	Regular	Muy Severa
Agua al suelo	13.3az	15.25a	1.2c	4.4b
Agua foliar	8.2ab	13.6a	2.3bc	6.0ab
Lixiviado al suelo	7.6b	13.8a	2.5bc	5.9ab
Lixiviado foliar	9.1ab	10.2a	4.4ab	6.4ab
Sintético (químico)	8.0ab	13.0a	4.6 <sup>a</sup>	6.6 <sup>a</sup>
Composta	11.2ab	7.4a	1.8bc	5.6ab
Estiércol	10.6ab	6.7a	2.1bc	5.8ab

<sup>z</sup> Valores con la misma letra dentro de la columna (tratamientos) no son diferentes estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).

El nopalito se clasifica como una hortaliza de tallo de consumo en fresco o cocinado, por lo que la textura tiene un efecto definitivo en la aceptación o rechazo por el consumidor. Considerando lo anterior, aunque los valores de textura (resistencia la corte) encontrados en

esta investigación fueron menores que los de otras investigaciones, es importante señalar que los nopalitos provenientes de plantas tratadas con fertilizante sintético podrían resultar en mayor rechazo por el consumidor al apreciarse más duros al corte que los nopalitos producidos en plantas tratadas con otras fuentes de nutrición (Cuadro 4). No obstante, sería necesario realizar pruebas de degustación para probar esta hipótesis.

Con respecto a la vida de anaquel, los nopalitos se consideran productos hortofrutícolas ácidos, con alto contenido de humedad y carbohidratos, por lo que son altamente susceptibles al ataque microbiano durante su almacenamiento, limitando su comercialización en fresco (Stintzing y Carle, 2005). En este sentido, el almacenamiento en condiciones controladas podría conservar las características visuales de los nopalitos por más tiempo; sin embargo, estos productos, al igual que otros productos hortofrutícolas tropicales, son muy sensibles a daño por frío, por lo que las temperaturas de almacenamiento que se les recomienda se encuentran entre los 7.5 y los 10 °C. Adicionalmente, se recomiendan atmósferas modificadas con las cuales se reduce la disponibilidad de O<sub>2</sub> para la oxidación y oscurecimiento (Cantwell y Kasmire, 2002; Saenz-Hernández *et al.*, 2002). Con las condiciones controladas antes mencionadas y los cuidados adecuados para evitar daños mecánicos durante la cosecha, la vida de anaquel esperada de nopalitos puede ser entre los 10 y los 21 días.

En esta investigación, los nopalitos obtenidos de plantas sujetas a los tratamientos experimentales fueron además sujetos a un análisis en su vida de anaquel. Aunque este análisis se hizo en condiciones no controladas (temperatura y concentración de O<sub>2</sub> ambientales), condiciones muy comunes en mercados regionales, es importante señalar el retraso en el oscurecimiento observado en los cladodios provenientes de plantas tratadas con fertilizante sintético y lixiviado foliar, así como el rápido oscurecimiento en cladodios producidos por

plantas tratadas con composta y estiércol (Cuadro 5). Whitaker (1994), citado por Aguilar-Sánchez *et al.* (2007), indica que el pH óptimo para la actividad de la polifenoloxidasasa se encuentra en el rango de 6.0 a 6.5 y que hay muy poca actividad de esta enzima a un pH de 4.5. Contrariamente, en nuestra investigación los tratamientos que tuvieron el menor pH (4.7; composta y estiércol) también mostraron los menores días a oscurecimiento. Es recomendable, sin embargo, realizar un análisis de vida de anaquel en nopalitos almacenados en ambiente controlados para reafirmar estas observaciones.

## Conclusiones

Las diferentes fuentes de nutrición no afectaron el rendimiento de nopal verdura; tampoco tuvieron un efecto significativo en la mayoría de las características químicas y físicas evaluadas como parámetros de calidad en esta investigación, excepto en la firmeza y el pH de los nopalitos. La fertilización sintética resulta en nopalitos más resistentes al corte que podrían ser rechazados por los consumidores; sin embargo, también incrementa la vida de anaquel en condiciones de almacenamiento no controladas. La utilización de compostas y estiércol, por su parte, podrían resultar en nopalitos menos firmes y con mayor posibilidad de aceptación por el consumidor, pero con menos vida en anaquel en condiciones de almacenamiento no controladas.

Considerando las ventajas ambientales que la composta podría tener en comparación con el estiércol fresco de vaca y la poca diferencia estadística que en general hubo entre estas dos fuentes de fertilización con respecto al rendimiento, calidad y vida de anaquel de nopalito, la fertilización con composta se muestra como una alternativa adecuada en la producción de nopal verdura en Milpa Alta, D.F.; sin embargo, es recomendable explorar realmente el efecto que tienen ambos tipos de fertilización en el ambiente, así como su efecto en parámetros de vida de anaquel de los nopalitos almacenados en ambientes controlados.

## Agradecimientos

Se agradece el apoyo financiero del ICyTDF para realizar esta investigación. Se agradece también el apoyo del Laboratorio de Poscosecha del Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo, al Dr. Crescenciano Saucedo Veloz y al M.C. Reyes López García por su apoyo en el estudio de calidad realizado. De la misma manera se agradece el apoyo de la Dra. María Elena Tavera Cortés y la M.C. Nalleli Valtierra García por su apoyo durante la fase de campo del experimento.

## Literatura citada

- ACOSTA-MARTÍNEZ, V. M.M. Mikha, K.R. Sistani, P.W. Stahlman, J.G. Benjamin, M.F. Vigil, and R. Erickson. 2011. Multi-location study of soil enzyme activities as affected by types and rates of manure application and tillage practices. *Agriculture* 1:4-21.
- AGUILAR-SÁNCHEZ, L.; M.T. Martínez-Damián, A.F. Barrientos-Priego, N. Aguilar-Gallegos y C. Gallegos-Vásquez. 2007. Potencial de oscurecimiento enzimático de variedades de nopalitos. *Journal of the Professional Association for Cactus Development* 9:165-184.
- BETANCOURT-DOMÍNGUEZ, M.A., T. Hernández-Pérez, P. García-Saucedo, A. Cruz-Hernández, and O. Paredes-López. 2006. Physico-chemical changes in cladodes (nopalitos) from cultivated and wild cacti (*Opuntia* spp.). *Plant Foods for Human Nutrition* 61:115-119.
- BRUHN, C.M. 2002. Consumer issues in quality and safety. In: A.A. Kader (ed). *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. 3<sup>rd</sup> edition. ANR-University of California. Oakland, CA. Pp: 31-37.
- CANTWELL, M.I. and R.F. Kasmire. 2002. Postharvest handling systems: flower, leafy, and stem vegetables. In: A.A. Kader (ed). *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. 3<sup>rd</sup> edition. ANR-University of California. Oakland, CA. Pp: 423-433.
- CHANDUVÍ, F. 1993. Riego con aguas servidas en Xochimilco, México DF, México. In: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. *Prevención de la Contaminación del Agua por la Agricultura y Actividades Afines*. Anales de la Consulta de Expertos Organizada por la FAO. Santiago, Chile 20-23 de octubre de 1992. Pp. 139-150.
- CHEN, R., Y. Wang, S. Wei, W. Wang, and X. Lin. 2014. Windrow composting mitigated CH<sub>4</sub> emissions: characterization of methanogenic and methanotrophic communities in manure management. *FEMS Microbiology Ecology* 90:575-586.
- FLORES-BARRERA, S. 2013. Fertilización y frecuencia de riego en la producción de nopal verdura (*Opuntia ficus indica* L.) en túnel de plástico. Tesis de Maestría en Ciencias. Posgrado de Recursos Genéticos y Productividad, Fruticultura. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Estado de México. 66 pp.
- KARAMI, A., M. Homaei, S. Afzalinia, H. Ruhipour and S. Basirat. 2012. Organic resource management: impacts on soil aggregate stability and other soil physico-chemical properties. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 148:22-28.
- KARIYAPPERUMA, K.A., A. Furon, and C. Wagner-Riddle. 2012. Non-growing season nitrous oxide fluxes from an agricultural soil affected by application of liquid and composted swine manure. *Canadian Journal of Soil Science* 92:315-327.
- LIANG, Q., H. Chen, Y. Gong, M. Fan, H. Yang, R. Lal and Y. Kuzyakov. 2012. Effects of 15 years of manure and inorganic fertilizers on soil organic carbon fractions in a wheat-maize system in the north China plains. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 92:21-33.
- LYNCH, D.H., R.P. Voroney, and P.R. Warman. 2005. Soil Physical properties and organic matter fractions under forages receiving compost, manure or fertilizer. *Compost Science & Utilization* 13:252-261.
- MARTÍNEZ, F., M.A. Casermeiro, D. Morales, G. Cuevas, and I. Walter. 2003. Effects on run-off water quantity and quality of urban organic waste applied in a degraded semi-arid ecosystem. *The Science of the Total Environment* 305:13-21.
- MASSÉ, D.I., F. Croteau, N.K. Patni, and L. Masse. 2003. Methane emissions from dairy cow and swine manure slurries stored at 10°C and 15°C. *Canadian Biosystems Engineering* 45:6.1-6.6.
- MURILLO-AMADOR, B., A. Flores-Hernández, J.L. García-Hernández, R.D. Valdez-Cepeda, N.Y. Ávila-Serrano, E. Troyo-Diéguez, and F.H. Ruiz-Espinoza. 2005. Soil amendment with organic products increases the production of prickly pear cactus as a green vegetable (nopalitos). *Journal of the Professional Association for Cactus Development* 7:97-109.
- RIAH, A., C. Hdidier, M. Sanaa, N. Tarchoun, M. B. Kheder, and I. Guezal. 2009. Effect of conventional and organic production systems on the yield and quality of field tomato cultivars grown in Tunisia. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89:2275-2282.
- RIVERA, G., J. Cortés, R. Soriano, H. Losada, J. Morales, and E. Arias. 2006. Edaphical characteristics of three vegetable cactus pear orchards (*Opuntia ficus-indica*) fertilized with high amounts of dairy manure at Milpa Alta, Mexico. *Acta Horticulturae* 728:159-163.
- RODRIGUEZ-FELIX, A. and M. Cantwell. 1988. Developmental changes in composition and quality of prickly pear cactus cladodes (nopalitos). *Plant Foods for Human Nutrition* 38:83-93.
- SAENZ, C. 2000. Processing technologies: an alternative for cactus pear (*Opuntia* spp.) fruits and cladodes. *Journal of Arid Environments* 46:209-225.
- SAENZ-HERNÁNDEZ, C., J. Corrales-García, and G. Aquino-Pérez. 2002. Nopalitos, mucilage, fiber, and cochineal. In: P.S. Nobel (ed.). *Cacti, Biology and Uses*. University of California Press. Berkeley, CA. Pp. 211-234.
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2014. Producción Anual. Cierre de la Producción Agrícola por Estado. [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx) (último acceso: agosto de 2015).
- SILVA, H., S. Sagardia, M. Ortiz, N. Franck, M. Opazo, M. Quiroz, C. Baginsky, and C. Tapia. 2014. Relationships between leaf anatomy, morphology, and water use efficiency in *Aloe vera* (L.) Burm f. as a function of water availability. *Revista Chilena de Historia Natural* 87:13.
- SISTANI, K.R., M. Jn-Baptiste, N. Lovanh, and K.L. Cook. 2011. Atmospheric emissions from of nitrous oxide, methane and carbon dioxide from different nitrogen fertilizers. *Journal of Environment Quality* 40:1797-1805.
- STINTZING, F.C. and R. Carle. 2005. Cactus stems (*Opuntia* spp.): A review on their chemistry, technology, and uses. *Molecular Nutrition & Food Research* 49:175-194
- TAVERA-CORTÉS, M.E., P.E. Escamilla, H. Alvarado, E. Salinas y S. Galicia. 2014. Regional development model based on organic production of nopal. *Modern Economy* 5: 239-249.
- VÁZQUEZ-ALVARADO, R.E., E. Olivarez, F. Zavala, and R.D. Valdez. 2006. Utilization of manure and fertilizers to improve the production of cactus pear (*Opuntia* spp.) a Review. *Acta Horticulturae* 728:151-158.
- WITHERS, P.J.A., C. Neal, H.P. Jarvie, and D.G. Doody. 2014. Agriculture and eutrophication: where do we go from here? *Sustainability* 6:5853-5875.
- ZHONG, W., T. Gu, W. Wang, B. Zhang, X. Lin, Q. Huang, and W. Shen. 2010. The effects of mineral fertilizer and organic manure on soil microbial community and diversity. *Plant Soil* 326:511-522.

Este artículo es citado así:

Alvarado-Raya, H. E., E. Salinas-Callejas y G. Ortiz-Huerta. 2016. Peso fresco y calidad de nopalito (*Opuntia ficus-indica* L.) fertilizado con composta de estiércol de vaca. *TECNOCENCIA Chihuahua* 10(1): 13-22.

## Resumen curricular del autor y coautores

**HORACIO E. ALVARADO RAYA.** Realizó sus estudios de licenciatura en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo (México), graduándose como Ingeniero Agrónomo en 1989. Obtuvo el grado de Maestro en Ciencias por el Departamento de Fruticultura del Colegio de Posgraduados (México) en 1997, donde realizó estudios sobre el efecto de promotores de floración en la salida de letargo y dimensiones del ovario en ciruelo japonés. Estudió la relación fuente-demanda en la floración y fructificación de frambuesa roja durante sus estudios de doctorado en el Departamento de Ciencias Hortícolas de la Universidad de Florida (EEUU) y obtuvo el grado de Doctor por ese departamento en 2006. Realizó una estancia de investigación en el Departamento de Biosistemas e Ingeniería Agrícola de la Universidad de Kentucky (EEUU) en 2014, en la cual investigó factores para la emisión de Gases con Efecto Invernadero (GEI) a partir de compostas. Ha sido integrante del Sistema Nacional de Investigadores (Candidato) de 2008 a 2012. Actualmente es profesor de Biología y Fruticultura en el Departamento de Preparatoria Agrícola y en la Carrera de Agrónomo en Horticultura Protegida de la Universidad Autónoma Chapingo. Realiza investigación en fisiología de frutales, producción orgánica, compostaje y emisiones de GEI. Es autor y coautor de 17 artículos científicos y dos capítulos de libro.

**EDMAR SALINAS CALLEJAS.** Realizó sus estudios de licenciatura en la Facultad de Economía de la UNAM, orientándose al análisis de los problemas del desarrollo económico (1968-1972); hizo estudios de maestría en el Centro de Estudios Rurales de El Colegio de Michoacán, A.C. (1987-1991) especializándose en desarrollo agroindustrial; los estudios de doctorado los cursó en El Colegio de Posgraduados Campus Montecillo (1997-2001) en la especialidad de Economía Agrícola. Ha dirigido alrededor de 50 tesis de licenciatura y ha sido lector de 10 tesis de licenciatura, 30 de maestría, y 3 de doctorado. Es miembro del SNI desde 2006 a la fecha, y del PRODEP desde 2008. Ha publicado más de 50 artículos periodísticos, 10 artículos de divulgación, ha colaborado en 24 libros colectivos y ha publicado alrededor de 20 artículos especializados en diversas revistas nacionales e internacionales. Fue jefe de área de investigación en dos ocasiones en el Departamento de Economía de la Unidad Azcapotzalco de la UAM, coordinador de licenciatura (1985-1987), coordinador de maestría (1992-1997), miembro de la comisión dictaminadora de recursos (2007-2008). También ha sido miembro de los cuerpos colegiados de la UAM, Consejo Divisional y Consejo Académico en varias ocasiones. Ha impartido los cursos de Historia Económica de México, Historia Económica de América Latina, Economía Política, Macroeconomía, Política Económica, Microeconomía, Teorías del Desarrollo Económico, Economía Internacional, Metodología de las Ciencias Sociales. Es miembro del Área de Relaciones Productivas en el Dpto de Economía de la UAM Azcapotzalco y colabora en un proyecto de investigación multidisciplinario de investigación aplicada con UPIICSA, ESCA Tepepan y Chapingo.

**GUADALUPE ORTIZ HUERTA.** Es Maestra en Ciencias en Proyectos Interdisciplinarios para Pymes y Licenciada en Administración Industrial por la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Ciencias Sociales y Administrativas del Instituto Politécnico Nacional. Desde 2011 ha participado en 5 proyectos de investigación incorporados a la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional. Además de participar en 2 proyectos de investigación vinculados al CONACYT. En Julio de 2014 toma el cargo de la Jefatura del Departamento de Diagnóstico y Soluciones Empresariales de la Unidad Politécnica para el Desarrollo y la Competitividad Empresarial, del Instituto Politécnico Nacional. Ha participado en diversas publicaciones de artículos de revistas así como en coautoría en capítulos de libros. En 2011 participó en la evaluación de proyectos obteniendo el nombramiento de "Técnico en Campo y diseñador de Información". Fue Acreedora al Premio BLIS (Buscando Lideres en Sustentabilidad) organizado por la Universidad Nacional Autónoma de México en marzo de 2013. La publicación más destacada es "El Comportamiento del Mexicano en las Empresas". Su principal área de especialización en el análisis de ciclo de vida de productos industriales así como el desarrollo sustentable en las PYMES.

# Sucesión bacteriana del género *Bacillus* en el proceso de compostaje y lombricompostaje con diferentes fuentes de estiércol

## *Bacillus* bacterial succession during composting and vermicomposting using different manure sources

ANTONIO DE LA MORA-COVARRUBIAS<sup>1</sup>, FRANCISCO J. VÁZQUEZ-GONZÁLEZ<sup>2</sup>  
Y JOSÉ VALERO-GALVÁN<sup>1</sup>

Recibido: Enero 9, 2016

Aceptado: Febrero 16, 2016

### Resumen

Las especies del género *Bacillus* ejercen un efecto positivo en las plantas debido a que inducen la producción de sideróforos, fitoestimulantes y biosurfactantes, así como compuestos con actividad inhibitoria para fitopatógenos. El objetivo del trabajo fue determinar la abundancia y diversidad de la comunidad de *Bacillus* en el proceso de compostaje en tres diferentes estiércoles y clarificar el rol de *Eisenia foetida* en la colonización de esta bacteria en los lixiviados de lombricomposta. Se estableció un experimento con nueve tratamientos considerando tres fuentes de estiércol (vacuno, ovino y porcino), los lixiviados del compostaje natural y los lixiviados de lombricompostaje con *Eisenia foetida*. Para la identificación del género *Bacillus* se emplearon cultivos bacterianos de 48 h en agar y caldo nutritivo y se identificaron por las características morfológicas, físico-químicas y microbiológicas. Se estimó la cantidad máxima de unidades formadoras de colonias en estiércol crudo de ganado ovino en el orden de  $62.33 \times 10^5$  UFC/g de estiércol, abundancia que se redujo a  $7.00 \times 10^4$  UFC/ml en el lixiviado de composta. En estiércol crudo se aislaron 33 cepas distribuidas en 11 especies, en lixiviados de lombricomposta 24 cepas en 8 especies y en lixiviados de composta solo 18 cepas en 5 especies. Las especies más abundantes fueron *B. Sporosarcina pasteurii* y *B. Paenibacillus alvei*. Se demostró que el lixiviado de lombricomposta posee mejor uniformidad y diversidad bacteriana, por lo que debería dársele mayor uso agrícola.

**Palabras clave:** conteo, especies, identificación.

### Abstract

Species of the genus *Bacillus* have a positive effect on plants due they induce the production of siderophores, phytoestrogens and biosurfactants as well as compounds with inhibitory activity to phytopathology. The objective of this study was to determine the abundance and diversity of *Bacillus* community in the composting process in three different manures and clarify the role of *Eisenia foetida* in the colonization of this bacterium in vermicompost leachates. An experiment was established with nine treatments considering three sources of manure (cattle, sheep and pigs), natural compost leachate and vermicomposting leachates with *Eisenia foetida*. To identify the genus *Bacillus* bacterial cultures were used for 48 h made of agar and nutrient broth and identified by morphological, physico-chemical and microbiological characteristics. The maximum number of colony forming units in raw manure of sheep was calculated in the order of  $62.33 \times 10^5$  CFU/g of manure, abundance was reduced to  $7.00 \times 10^4$  CFU/ml in the leachate of compost. Over 33 strains belonging to 11 species were isolated from the raw manure, 24 strains from 8 species were found in the vermicompost leachate and only 18 strains from 5 species in the leachate compost. The most abundant species were *B. Sporosarcina pasteurii* and *B. Paenibacillus alvei*. It was shown that vermicompost leachate has better uniformity and bacterial diversity which should be given greater agricultural use.

**Keywords:** Count, species, identification.

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Departamento de Ciencias Químico-Biológicas. Anillo envolvente del PRONAF y Estocolmo s/n. Ciudad Juárez, Chihuahua. México. 32315.

<sup>2</sup> El Colegio de Chihuahua. Anillo envolvente del PRONAF y Calle Partido Díaz s/n. Ciudad Juárez, Chihuahua. México, 32315. Tel. 011-521-(656)-639-0397.

<sup>4</sup> Dirección electrónica del autor de correspondencia: fjvazque@uacj.mx.

## Introducción

La agricultura moderna exige una mayor disponibilidad de insumos para aumentar la rentabilidad de los cultivos, lo que se logra generalmente con enmiendas orgánicas y abonos químicos. Actualmente hay una tendencia mundial para el uso de métodos en la agricultura sostenible, disminuyendo el empleo de agroquímicos sintéticos, lo que contribuye a la protección del medio ambiente y del hombre (Gómez *et al.*, 2004).

El aprovechamiento de los residuos urbanos, agropecuarios e industriales sólidos, de naturaleza orgánica fermentable, puede suponer una considerable fuente de energía, materia orgánica, fertilizantes, oligoelementos, bacterias beneficiosas y recursos en general para la agricultura, sin embargo, su utilización debe ser cuidadosamente estudiada para aplicar técnicas que faciliten su aprovechamiento. En el caso específico de los estiércoles de diferentes ganados, su incorporación al suelo puede representar una fuente potencial de nutrientes disponibles para las plantas cuando son reciclados mediante el compostaje (Olivares-Campos *et al.*, 2012).

El compostaje es un proceso biológico de descomposición aerobia que combina fases mesófilas y termófilas, mediante el cual los microorganismos actúan sobre la materia orgánica biodegradable (Gómez *et al.*, 2004). Este proceso se identifica como lombricompostaje cuando consiste en la bio-oxidación y estabilización de los sustratos orgánicos a través de la acción mineralizadora conjunta de diversas especies de lombrices y microorganismos (Duran y Henríquez, 2007). Existe la creencia de que ambos procesos biotecnológicos son excelentes para elaborar abonos orgánicos, pero que, en el caso del lombricompostaje, el material obtenido está enriquecido química y biológicamente (Olivares-Campos *et al.*, 2012).

Dentro de los principales microorganismos encontrados en la materia orgánica se encuentran las bacterias y los hongos, ambos grupos son fundamentalmente organismos mineralizadores, tienen funciones específicas

en los ciclos de los elementos como degradación de celulosa, almidón, lignina, fijación de nitrógeno atmosférico, proteólisis, amonificación y nitrificación (Bello, 2008).

El género *Bacillus* comprende un grupo de especies de bacterias filogenética y fenotípicamente heterogéneas. Incluye más de 100 especies y sus miembros se consideran ubicuos. Se caracterizan por ser gram positivas, con forma bacilar, aerobias estrictos o anaerobias facultativas que en condiciones estresantes forman una endospora central, que deforma la estructura de la célula. Esta forma esporulada es resistente a la desecación, a los desinfectantes y a las altas temperaturas, por lo que es posible encontrarla aun después de las fase termófila del compostaje (Kokalis-Burelle *et al.*, 2006; Bagge *et al.*, 2010; Tejera-Hernández *et al.*, 2011).

El género *Bacillus* posee una amplia diversidad de propiedades bioquímicas y ejerce un efecto positivo en las plantas, tanto de manera directa como indirecta (Rojas *et al.*, 2013), los primeros se refieren a la manera en que participa en el crecimiento vegetal mediante la producción de compuestos fitoestimulantes (Arkhipova *et al.*, 2005), por su actividad enzimática nitrogenasa para fijar el nitrógeno atmosférico al suelo (Morot-Gaudry, 2001; Ooi *et al.*, 2008), la producción de lipopéptidos que actúan como biosurfactantes permiten la solubilización de minerales como el fósforo, dejándolo accesible para ser absorbido por la planta (Rengel-Marschner, 2005; Rajankar *et al.*, 2007; El-Yazeid y Abou-Aly, 2011), productores de sideróforos para el aprovechamiento del hierro (Dertz *et al.*, 2006). Los beneficios

indirectos se refieren a la capacidad de *Bacillus* para la síntesis de compuestos con actividad inhibidora de fitopatógenos (Reinoso *et al.*, 2006; Reinoso *et al.*, 2007). En las últimas décadas se han evaluado a las especies del género *Bacillus* como antagonista de hongos fitopatógenos de interés económico, ya que presentan diferentes propiedades inhibidoras como la antibiosis, la competencia (Cook y Baker, 1983) y el micoparasitismo mediado básicamente por la lisis de la pared celular por acción enzimática (Lecuona, 1996). También las especies de *Bacillus* pueden mejorar el desarrollo vegetal y las capacidades de las plantas para resistir periodos más largos de sequía (Compant *et al.*, 2005) y reducción de enfermedades en las plantas (Kokalis-Burelle *et al.*, 2006). En función de todas las ventajas descritas, el objetivo de la presente investigación fue determinar la abundancia y diversidad de la comunidad del género *Bacillus* antes y después del proceso de compostaje de diversas fuentes de estiércol, y clarificar el rol de *Eisenia foetida* en la colonización de esta bacteria en los lixiviados de lombricomposta.

## Materiales y métodos

El estiércol de ganado utilizado fue proporcionado por el rancho escuela de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. El proceso de semicompostaje y lombricompostaje se realizó en recipientes de plástico de 0.5 m de largo, 0.3 m de ancho y 0.5 m de altura con perforaciones de 2 cm de diámetro en la parte inferior. Los recipientes se taparon con tela de malla fina para evitar la entrada de animales y permitir la aeración. Se depositaron 7 kg de estiércol por recipiente con una humedad del 60 al 70%, la cual se midió al tomar con el puño el estiércol húmedo y comprimiendo para formar una gota de agua debajo de la mano. Para el caso del tratamiento de semilombricompostaje, el estiércol fue precompostado 30 días antes de la inoculación con lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) con el fin de proveer condiciones adecuadas para su desarrollo. Pasado ese tiempo se incorporó al

estiércol 1 kg de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), todas ellas adultas, distribuidas en los diferentes tratamientos (Ferruzi, 1986; Bollo, 1999).

Se estableció un experimento con tres repeticiones para nueve tratamientos denominados EV (estiércol vacuno crudo), EO (estiércol ovino crudo), EP (estiércol porcino crudo), LXCv (lixiviado de composta de estiércol vacuno), LXCO (lixiviado de composta de estiércol ovino), LXCP (lixiviado de composta de estiércol porcino), LXLV (lixiviado de lombricomposta de estiércol vacuno), LXLO (lixiviado de lombricomposta de estiércol ovino), LXLP (lixiviado de lombricomposta de estiércol porcino).

Los recipientes con los sustratos respectivos se distribuyeron en un diseño de bloques completos al azar dentro del invernadero de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ). La humedad del 70% del material se mantuvo en los recipientes de plástico mediante riegos cada 48 horas, con el fin de mantener un ambiente apropiado para el desarrollo de las lombrices y permitir la descomposición de los materiales en forma adecuada. El periodo total de semicompostaje fue de 90 días y para el semilombricompostaje fue de 120 días; 30 días de precomposteo, 60 para que la lombriz realizara su reproducción y degradación orgánica junto con la acción bacteriana en los siguientes 30 días hasta lograr un pH mayor de ocho y un lixiviado café oscuro.

De los estiércoles crudos tomados al inicio del estudio se determinaron las unidades formadoras de colonia (UFC) por gramo y se seleccionaron las cepas que presentaron diferencias morfológicas que fueron conservadas en glicerol a -80 °C. Después de 90 días de inicio del precomposteo se disecaron las lombrices, los lixiviados se procesaron después de 100, días una vez alcanzado su aspecto café oscuro y un pH mayor de 8.0. Las cepas almacenadas fueron activadas en agar nutritivo y se realizaron las pruebas bioquímicas, físicas y microbiológicas,

bajo condiciones controladas en el laboratorio de genética aplicada de la UACJ. El aislamiento de bacterias para el conteo de las UFC del género *Bacillus* presentes en el estiércol crudo se llevó a cabo por medio de la dilución aséptica de 1 g de peso seco de estiércol en 100 mL de agua peptona estéril, con agitación vigorosa durante 30 s. Después de realizar las diluciones y someterlas a un tratamiento térmico de 80 °C durante 15 min en baño maría, se tomó 1 µL de la dilución tratada, se sembró con asa de nicromo en cajas Petri con medio de agar nutritivo (MCD-LAB) y fueron incubadas durante 24 h a 37 °C, seguidas de otras 24 h a temperatura ambiente, para realizar el conteo de las unidades formadoras de colonias (UFC), posteriormente fueron seleccionadas las cepas que presentaron diferencias morfológicas, se sembraron en caldo nutritivo (MCD-LAB), se centrifugaron, se suspendieron en glicerol al 20% y se conservaron a -80 °C hasta su posterior uso. De los lixiviados se tomó 1 mL, el cual se diluyó 1:10 con agua peptona estéril, se pasteurizó a 80 °C durante 15 min en baño maría y se depositó en caja Petri con agar nutritivo para su proceso final según la metodología descrita por Sánchez *et al.* (2011).

De manera paralela, se realizó disección a tres lombrices adultas por tratamiento de lombricompostaje, separando la faringe, el buche y el intestino. Cada estructura fue depositada en un 1 mL de agua peptonada y se llevó a cabo el mismo procedimiento ya descrito para el conteo, resiembra y conservación de colonias de *Bacillus*.

Se emplearon las cepas de *Escherichia coli* y *Proteus vulgaris*, proporcionados por el cepario de la Academia de Microbiología de la UACJ para estandarizar las reacciones bioquímicas a utilizar en la identificación de los aislados. Todas las colonias se caracterizaron morfológica, físico-química y microbiológicamente según las pruebas descritas por Holt (2009). Para la identificación del género *Bacillus* se emplearon cultivos bacterianos de 48 h en agar y caldo nutritivo y se realizaron las siguientes pruebas: Tinciones de Gram y

Fulton-Schaeffer para determinar el diámetro del bacilo y tipo de espora; prueba de la catalasa (Becton-Dickinson); amilasa (JALMEK); hidrólisis de gelatina; ureasa; reducción de nitrato a nitrito (Becton-Dickinson), NaCl al 6.5%, pH ácido y alcalino, Voges-Proskauer-Rojo de metilo (MCD\_LAB y Becton-Dickinson); citrato de Simmons; producción de ácidos a partir de glucosa (Becton-Dickinson); xilosa (GOLDEN BELL), manitol y arabinosa (JALMEK) y anaerobiosis (ANA-PAK-SYSTEMS).

Los resultados obtenidos se sometieron a un análisis de varianza con post prueba de Tukey a una significancia de 0.05 con el paquete estadístico MINITAB v14. El análisis de diversidad bacteriana fue llevado a cabo con el paquete estadístico PAST 2.0 para obtener los índices de riqueza y uniformidad de especies.

## Resultados y discusión

Los resultados relativos a la abundancia de bacterias, tanto en los sustratos crudos como semicomposteados y en las diferentes secciones del sistema digestivo de la lombriz *Eisenia foetida*.

El Cuadro 1 muestra los resultados relativos a la abundancia de bacterias del género *Bacillus* expresada en UFC/g en los estiércoles empleados, y su comparación mediante un ANOVA con post prueba de Tukey. La mayor abundancia de colonias de *Bacillus* la presentó el estiércol crudo de ovino con un promedio de  $62.33 \times 10^5$  UFC/g. Si bien existen estudios donde se obtuvieron valores muy por encima de lo estimado, como es el caso de Escobar y Solarte (2015), quienes reportaron *Bacillus* en estiércol de porcino de  $1.0 \times 10^8$  UFC/ml; Duran y Henríquez (2007) reportaron concentraciones en lixiviados de lombricompostaje de ganado vacuno de  $1.8 \times 10^7$  UFC/ml; y Bello (2008) indicó valores de  $32 \times 10^7$  UFC/ml en estiércol de ganado bovino, debe de hacerse la aclaración que en este trabajo sólo se consideraron a las bacterias formadoras de esporas y no del total de bacterias presentes en el estiércol. Este resultado podría hacer pensar que el estiércol

de ovino sería la mejor opción para usarse como mejorador de suelos agrícolas, sin embargo, habría que tomarlo con cautela, los estiércoles crudos representan peligros en los suelos agrícolas al provocar contaminación por plagas y enfermedades, además de ocasionar desbalances nutricionales en los cultivos. Sin embargo, cuando el estiércol es pasado por el proceso de semicompostaje (sea de manera natural o con lombriz) se puede observar que el número de UFC/ml en los lixiviados disminuye considerablemente y se estabiliza, oscilando entre 7 y  $12.44 \times 10^4$  UFC/ml, siendo ligeramente mayor en los lixiviados de semilombricomposta.

**Cuadro 1.** Comparación del promedio de unidades formadoras de colonias (UFC) de los diferentes tratamientos de acuerdo con la fuente de estiércol evaluada.

Fuente	Estiércol UFC X $10^5$ /g	Lixiviado de lombricomposta UFC X $10^4$ /ml	Lixiviado de composta UFC X $10^4$ /ml
Porcino	12.77±8.58 <sup>a</sup>	8.11±3.82 <sup>a</sup>	10.20±6.57 <sup>a</sup>
Vacuno	35.77±14.53 <sup>b</sup>	12.17±3.45 <sup>b</sup>	7.00±2.08 <sup>a</sup>
Ovino	62.33±27.53 <sup>c</sup>	12.44±3.85 <sup>b</sup>	9.83±2.72 <sup>a</sup>

Letras diferentes muestran diferencia significativa con la Post prueba de Tukey.

Las medias de UFC obtenidas del aparato digestivo en las lombrices según el sustrato y analizadas con la post prueba de Tukey no mostraron diferencia significativa (Cuadro 2). No obstante, al igual que en los sustratos evaluados de manera independiente, también las lombrices que consumieron estiércol ovino mostraron un ligero aumento en la abundancia de *Bacillus*. Idowu *et al.* (2005) evaluaron a las bacterias en el tracto digestivo de la lombriz *Libyodrilus violaceus* en suelos de cultivo y encontraron densidades de 0.9, 1.3 y  $1.6 \times 10^4$  UFC/ml en faringe, buche e intestino respectivamente, con predominancia del género *Bacillus*, lo que corroboraría que es la parte posterior del tracto digestivo la que acumula mayor cantidad de bacterias quizá por ofrecer mejores condiciones para su crecimiento (Valle-Molinares *et al.*, 2007). Para Picon *et al.* (2014) existen especies de *Bacillus* denominadas endógenas, que forman parte únicamente del

tracto digestivo de la lombriz y se mantienen asociadas de manera íntima a la pared interna del intestino y no se encuentran en el suelo o en la rizosfera, lo que explica de alguna manera la reducción de la abundancia comparada con los sustratos evaluados. Las UFC presentan desviaciones estándar mayores que las medias debido a que la distribución de *Bacillus* en el aparato digestivo no es uniforme con valores de 0 a 547, por lo cual no presenta valores estadísticos significativos (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Comparación del promedio de unidades formadoras de colonias (UFC de *Bacillus* x  $10^3$ /ml) para cada uno de los órganos de la lombriz *Eisenia foetida* de acuerdo con la fuente de estiércol evaluada.

Fuente	Faringe	Buche	Intestino
Porcino	13.0±22.42 <sup>a</sup>	6.1±7.27 <sup>a</sup>	30.55±48.48 <sup>a</sup>
Vacuno	21.4±30.32 <sup>a</sup>	14.4±9.84 <sup>a</sup>	12.11±11.85 <sup>a</sup>
Ovino	29.3±31.0 <sup>a</sup>	154.55±218.05 <sup>a</sup>	39.1±18.22 <sup>a</sup>

Letras diferentes muestran diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ).

Con relación a la diversidad del género *Bacillus* en los sustratos, se aislaron 75 cepas distribuidas en 14 especies (Cuadro 3). Separadas por tipo de fuente, se aislaron 24 cepas de estiércol vacuno en 10 especies, 26 de ovino en 10 especies y 25 de porcino en ocho especies. Sosa *et al.* (2004) reportaron en su estudio siete cepas en estiércol vacuno, 12 cepas de caprino y siete de porcino, además de 19 cepas en gallinaza y siete en estiércol equino. Como puede apreciarse, no existe un patrón definido en cuanto al número de cepas que prácticamente son equitativas así como en el número de especies por fuente de estiércol. Sin embargo, si agrupamos las cepas y las especies en tres categorías (Cuadro 5) podemos apreciar claramente una reducción de casi el 50% en el semicompostaje con relación a los sustratos crudos, lo que en este sentido le da más ventaja al método de lombricomposta.

Se encontró una especie exclusiva el *B. Paenibacillus popilliae* presente sólo en lixiviado de semicompostaje de estiércol vacuno, *B. circulans* sólo en lixiviado de semilombri-

composta de estiércol ovino, *B. coagulans* en estiércol crudo de ovino y *B. megaterium* presente exclusivamente en estiércol crudo de porcino.

La especie más abundante y recurrente fue *B. Sporosarcina pasteurii* ya que se encontró en todos los sustratos, excepto en el estiércol ovino crudo y semilombricompostado, y el segundo lugar fue para *B. Paenibacillus alvei* quien no se encontró en los lixiviados de semicomposta de ningún estiércol. Sin embargo, estas dos especies no han sido asociadas frecuentemente al estiércol.

La literatura muestra datos muy diversos sobre las especies de *Bacillus* en estiércol. Bagge *et al.* (2010) encontraron comúnmente a las especies *B. cereus*, *B. subtilis*, *B. pumilus*, *B. sphaericus* y *B. Paenibacillus polymyxa* en estiércol vacuno antes y después de someterlo al proceso de digestión. *B. megaterium* fue aislado únicamente después de la digestión. Escobar *et al.* (2012) encontraron que las especies más comunes en estiércol vacuno fueron *B. sphaericus*, *B. subtilis* y *B. laterosporus* aunque no muy abundantes. Yi *et al.* (2012)

reportaron ocho especies presentes en estiércol porcino (*B. subtilis*, *B. cereus*, *B. thuringiensis*, *B. anthracis*, *B. megaterium*, *B. licheniformis*, *B. pumilus*, and *B. circulans*). La especie predominante fue *B. subtilis*.

**Cuadro 4.** Distribución de cepas y especies del género *Bacillus* por tipo de sustrato sin considerar la fuente de origen del estiércol.

	Sustrato		
	Estiércol crudo	Lixiviado de semilombricomposta	Lixiviado de semicomposta
Número de cepas	33	24	18
Número de especies	11	9	6

En la lombriz se obtuvieron 23 cepas de siete especies (Cuadro 5), de las cuales 10 cepas fueron en estiércol vacuno de cinco especies, siete cepas en estiércol ovino de cinco especies y seis cepas en estiércol porcino de tres especies. Estos resultados coinciden con los de Brito-Vega y Espinoza-Victoria (2009) quienes encontraron un total de 28 cepas de *Bacillus* spp. en *Eisenia foetida*, considerando este género como el microorganismo más abundante.

**Cuadro 3.** Número de especies y cepas de *Bacillus* aisladas de diversas fuentes de estiércoles crudos y semicompostados.

Fuente	<i>B. polymyxa</i>	<i>B. macquariensis</i>	<i>B. licheniformis</i>	<i>B. micoides</i>	<i>B. alvei</i>	<i>B. cereus</i>	<i>B. pasteurii</i>	<i>B. subtilis</i>	<i>B. coagulans</i>	<i>B. sphaericus</i>	<i>B. megaterium</i>	<i>B. pantothen ticus</i>	<i>B. circulans</i>	<i>B. popilliae</i>	Total de especies
EV	1	2	1	1	2	1	1	1							8
LxLV	2		1		3	1	1								5
LxCV							3			2				1	3
EO	4	2	2	1	1				1						6
LxLO					2	1		3				2	1		5
LxCO				1			2					3			3
EP	2			1	3		4			1	1				6
LxLP				1	1	1	3					1			5
LxCP						1	4			1					3
Total de cepas	9	4	4	5	12	5	18	4	1	4	1	6	1	1	

Con relación a las especies encontradas en el tracto digestivo de la lombriz se puede apreciar que *B. subtilis* sólo aparece en aquellas alimentadas con estiércol porcino, no obstante, es este sustrato el que obtiene el número más bajo de especies totales comparadas con el estiércol de vacuno y ovino. Valle-Molinares *et al.* (2007) identificaron siete especies de *Bacillus* en el tracto digestivo de *Onychochaeta borincana* que fueron *B. insolitus*, *B. megaterium*, *B. brevis*, *B. pasteurii*, *B. sphaericus*, *B. thuringiensis* y *B. pabuli* todas ellas consideradas bacterias típicas del suelo. Méndez *et al.* (2003) mencionan que algunas bacterias generan una relación de mutualismo al pasar por el tracto digestivo de la lombriz y propusieron la presencia de una relación simbiótica entre *O. borincana* y *B. cereus*.

**Cuadro 5.** Número de especies y cepas de *Bacillus* aisladas de *Eisenia foetida* alimentada con diferente fuente de estiércol animal.

Estiércol	<i>B. polymyxa</i>	<i>B. alvei</i>	<i>B. cereus</i>	<i>B. pasteurii</i>	<i>B. subtilis</i>	<i>B. sphaericus</i>	<i>B. pantothenicus</i>	Total de especies
Vacuno	1	4	1	2		2		5
Ovino		2	1	1		2	1	5
Porcino	2				1		3	3
Total de cepas	3	6	2	3	1	4	4	

Prácticamente las 14 especies aisladas en esta investigación han sido reportadas en la literatura como benéficas sin presentar ningún riesgo para la salud humana. *B. subtilis*, *B. megaterium*, *B. mycoides*, *B. licheniformis*, *B. circulans*, *B. cereus*, y *B. polymyxa* son las especies que se han aislado con mayor frecuencia de la rizosfera o los tejidos internos de plantas, ya que favorecen su crecimiento y ejercen un efecto antagónico contra una gran variedad de hongos fitopatógenos (Nieto *et al.*, 1990; Rajankar *et al.*, 2007; Reinoso *et al.*, 2007; El-Yazeid y Abou-Aly, 2011) mientras que *B. sphaericus* y *B. popilliae* generan toxinas contra dípteros y coleópteros respectivamente (McSpadden, 2004).

Finalmente, con los datos obtenidos en cuanto al número de cepas y especies aisladas se realizó un análisis de diversidad (Cuadro 6). Si bien, el índice de diversidad de Shannon (H) es mayor en el estiércol crudo, la uniformidad (E) se encuentra más definida en el aparato digestivo de la lombriz pero combinando ambos índices se puede inferir que el género *Bacillus* se encuentra mejor representado en los lixiviados de lombricomposta.

**Cuadro 6.** Análisis de diversidad del género *Bacillus* por categoría de tratamiento.

Tipo de muestra	N	S	E	H'
Estiércol crudo	33	11	0.89	2.14
Lixiviado de lombricomposta	24	9	0.92	2.02
Lixiviado de composta	18	6	0.79	1.42
Aparato digestivo de lombriz	23	7	0.94	1.83

N = Número de cepas, S = riqueza de especies, E = uniformidad, H' = índice de Shannon.

## Conclusiones

Se demostró que el género *Bacillus* se encuentra en abundante densidad tanto en estiércol crudo como en estiércol sometido al proceso de compostaje de manera natural o con el uso de lombriz de tierra, lo que puede ser aprovechado dados los beneficios directos e indirectos que tiene en el desarrollo de cultivos de importancia económica. La mayoría de las especies aisladas están reportadas en la literatura como colonizadores típicos de suelos agrícolas y como componente de la fauna intestinal de la lombriz, a excepción de *B. Sporosarcina pasteurii*, *B. Paenibacillus alvei* y *B. Paenibacillus popilliae*.

Aún quedan preguntas por responder en cuanto al rol que desempeña *Eisenia foetida* en la sucesión de *Bacillus* spp., sin embargo, el lixiviado de semilombricomposta demostró tener mayor persistencia en cuanto a la diversidad y uniformidad de *Bacillus* que en composta.

## Literatura citada

- ARKHIPOVA, T. N., S. U. Veselov, A. I. Melentiev, E. V. Martynenko, and G. R. Kudoyarova. 2005. «Ability of Bacterium *Bacillus Subtilis* to Produce Cytokinins and to Influence the Growth and Endogenous Hormone Content of Lettuce Plants.» *Plant and Soil* 272:201-9
- BAGGE, E., M. Persson and K.-E. Johansson. 2010. Diversity of spore-forming bacteria in cattle manure, slaughterhouse waste and samples from biogas plants. *Journal of Applied Microbiology* 109:1549-1565
- BELLO, C. 2008. Respuesta de la bovinaza a inoculaciones microbianas. Ingeniería agroecológica. Invention No. 5 Facultad de Ingeniería Uniminuto 42-47
- BOLLO, E. 1999. Lombricultura: Una Alternativa de Reciclaje. Edited by Soboc Grafic. S. F. Quito.
- BRITO-VEGA, H., and D. Espinosa-Victoria, 2009. Bacterial Diversity in the Digestive Tract of Earthworms (Oligochaeta). *Journal of Biological Sciences* 9:192-199.
- COMPANT, S., B. Duffy, J. Nowak, C. Clément, and E.A. Barka. 2005. «Use of Plant Growth-Promoting Bacteria for Biocontrol of Plant Diseases: Principles, Mechanisms of Action, and Future Prospects.» *Applied and Environmental Microbiology* 71(9):4951-9.
- COOK, R.S y K.F Baker. 1983. «The Nature and Practice of Biological Control of Plant Pathogens.» The American Phytopathological Society St.Paul: 539.
- DERTZ, E.A., A. Stintzi, y K.N.Raymond.2006. Siderophore-mediated iron transport in *Bacillus subtilis* and *Corynebacterium glutamicum*. *J Biol Inorg Chem* 11(8):1087-97.
- DURAN, L., and C. Henriquez. 2007. «Caracterización Química, Física Y Microbiológica de Vermicompostes Producidos a Partir de Cinco Sustratos Orgánicos.» *Agronomía Costarricense* 31(1):41-51.
- EL-YAZEID, A. A. and H. E. Abou-Aly. 2011. «. Enhancing Growth, Productivity and Quality of Tomato Plants Using Phosphate Solubilizing Microorganisms.» *Aust. J. Basic Appl. Sci* 5:371-79.
- ESCOBAR, N., J. Mora, N.J. Romero. 2012. Identificación de poblaciones microbianas en compost de residuos orgánicos de fincas cafeteras de Cundinamarca. *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat.* 16(1):75 - 88
- ESCOBAR, N., and V. Solarte. 2015. «Microbial Diversity Associated with Organic Fertilizer Obtained by Composting of Agricultural Waste.» *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics* 5(2):70-79
- FERRUZI, C. 1986. Manual de lombricultura. Madrid. España: Mundi-Prensa. 138 p.
- GOMEZ, D.A., T. Yamiris, M. I. González, y S. Chiroles. 2004. Microorganismos presentes en el compost. Importancia de su control sanitario. Medio Ambiente y Desarrollo. *Revista Electrónica de la Agencia de Medio Ambiente* 4(7).
- HOLT, J.G. 2009. *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*. 9<sup>th</sup> ed. Williams and Wilkins editors. Maryland. USA. 754 pp.
- IDOWU, A. B.; M.O. Edema, A.O. Adeyi. 2006. Distribution of bacteria and fungi in the earthworm *Libyodrilus violaceus* (Annelida: Oligochaeta), a native earthworm from Nigeria. *Revista de Biología Tropical* 54(1):49-58.
- KOKALIS-BURELLE, N.; J.W. Kloepper, y M.S. Reddy. 2006. Plant growth promoting rhizobacteria as transplant amendments and their effects on indigenous rhizosphere microorganisms. *Applied Soil Ecology* 31:91-100.
- LECUONA, RE. 1996. Microorganismos Patógenos Empleados en el Control Microbiano de Insectos Plaga. Edited by Ed. Argentina. S. F. 338 p.
- McSPADDEN, B.B. 2004. Ecology of *Bacillus* and *Paenibacillus* spp. in Agricultural Systems. *Phytopathology* 94(11):1252-8.
- MENDEZ, R., S. Borgesa, C. Betancourta. 2003. A microscopical view of the intestine of *Onychochaeta borincana* (Oligochaeta: Glossoscolecidae). *Pedobiologia* 47(5-6):900-903
- MOROT-GAUDRY, J.F. 2001. Nitrogen assimilation by plants. Physiological, biochemical and molecular aspects. Plymouth, RU: Science Publisher Inc. pp.343-368
- NIETO, K.F., W.T. Frakenberger. 1990. Microbial productions of cytokinins. *Soil Biochemistry* 6:191-248.
- OLIVARES-CAMPOS, M.A., A. Hernández, C. Vences, J.L. Jáquez, & D. Ojeda. 2012. Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. *Universidad y Ciencia* 28(1):27-37
- Ooi, T.C., A.B. Ariff, M.S.Halimi, Z.H. Shamsuddin. 2008. Growth kinetics of diazotrophics *Bacillus sphaericus* UPMB cultured using different types and concentrations of carbon and nitrogen sources. *Malaysian Journal of Microbiology*, 4(2):15-25.
- PÉREZ, A., C. Céspedes, & P. Núñez. 2008. Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal* 8(3):10-29.
- PICÓN, M.C.; E.S. Teisaire; C.H. Bellone. 2014. Las cepas bacterianas del tubo digestivo de *Enantiodrilus borelli* (Annelida: Glossoscolecidae) y su recolonización en suelo estéril. *Rev. Agron. Noro. Argent.* 34(2):46-49
- RAJANKAR, P.N., D.H. Tambekar, S.R. Wate. 2007. Study of phosphate solubilization efficiencies of fungi and bacteria isolated from saline belt of Purna river basin. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences* 3(6):701-3.
- REINOSO, Y., F.D. Vaillant, R.L. Casadesús, P.E. García, y A.R.V. Pazos. 2007. «Selección de Cepas de *Bacillus* Y Otros Géneros Relacionados Para El Control Biológico de Hongos Fitopatógenos.» *FITOSANIDAD* 11 (1) 187-192
- REINOSO, Y., Luis Casadesús, Armando García, Jorge Gutiérrez, and V. Pazos. 2006. «Aislamiento, selección e identificación de bacterias del género *Bacillus* antagonistas de *Pectobacterium carotovorum*.» *FITOSANIDAD*. 10 (3)
- RENGEL, Z., and P. Marschner. 2005. «Nutrient Availability and Management in the Rhizosphere: Exploiting Genotypic Differences.» *New Phytologist* 168(2):305-312.
- ROJAS, S.D., P.M. Contreras, G. Santoyo. 2013. «Mecanismo de Estimulación del Crecimiento Vegetal en Bacterias del Género *Bacillus*». *Revista de Loa DES Ciencias Biológicas Agropecuarias* 15(2):36-41.
- SÁNCHEZ, E. R., Bautista, M. Á. M., Pech, M. S., & Ramírez, A. R. 2011. Aislamiento de Cepas Nativas de *Bacillus* spp. y su Actividad Antagónica en Hongos Fitopatógenos. XIV Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería.
- SOSA, B. M., C.C. Castillo, & J. Scorza. 2004. Actividad inhibitoria de cepas de *Bacillus* spp. contra dermatofitos. *Rev. Sociedad Venezolana de Microbiología* 24(1-2):59-64.
- TEJERA, H.B., B.M.M. Rojas, & P.M. Heydrich. 2011. Potencialidades del género *Bacillus* en la promoción del crecimiento vegetal y el control biológico de hongos fitopatógenos. *CENIC* 42(3):131-138.
- VALLE-MOLINARES, R., S. Borges and C. RIOS-Velasquez. 2007. Characterization of possible symbionts in *Onychochaeta borincana* (Annelida: Glossoscolecidae). *European Journal of Soil Biology* 43:S14-S18.
- YI, J., H.Y. Wu, J. Wu, C.Y. Deng, R. Zheng, Z. Chao. 2012. Molecular phylogenetic diversity of *Bacillus* community and its temporal-spatial distribution during the swine manure of composting. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 93(1):411-21. 

Este artículo es citado así:

De la Mora-Covarrubias, A., F. J. Vázquez-González y J. Valero-Galván. 2016. Sucesión bacteriana del género *Bacillus* en el proceso de compostaje y lombricompostaje con diferentes fuentes de estiércol. *TECNOCENCIA Chihuahua* 10(1): 23-31.

## Resumen curricular del autor y coautores

**ANTONIO DE LA MORA COVARRUBIAS.** Obtuvo el título de Ingeniero Agrónomo Parasitólogo por la Escuela Superior de Agricultura incorporada a la Universidad Autónoma Chapingo en 1984. El grado de Maestría en Ciencias con especialidad en Entomología en el Colegio de Graduados ESAHE en 1989 y el grado de Doctor en Filosofía área mayor Manejo de Recursos Naturales en la Facultad de Zootecnia de la Universidad Autónoma de Chihuahua en el año 2016. Desde el 2012 labora en el Instituto de Ciencias Biomédicas de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez con categoría de Profesor Investigador de tiempo completo titular C. Ha sido Coordinador del Programa de Biología y actualmente Jefe del Departamento de Ciencias Químico-Biológicas. Área de especialización en aplicación de herramientas geoespaciales (SIG, RS, GPS y estadística espacial) para el manejo de los recursos naturales; cartografía de riesgo e impacto ambiental; epidemiología y ecología de poblaciones. Integrante del Cuerpo académico Consolidado UACJ-05 "Contaminación en recursos naturales"; integrante de la Red Temática de Ecosistemas del CONACYT; miembro del Padrón Nacional de Acreditadores por el CACEB, AC; y árbitro en revistas nacionales e internacionales. Participación, desde 1990, en más de 300 eventos académicos (cursos, congresos, seminarios, simposiums, diplomados y talleres) a nivel local, regional, nacional, binacional e internacional con ponencias en el área entomológica, salud, medio ambiente, recursos naturales y tecnologías geoespaciales. Ha dirigido 42 tesis de licenciatura, 14 de maestría y 2 de nivel doctoral. En los últimos cinco años se han publicado 11 artículos, tres capítulos de libro, 12 memorias in extenso, dos reportes técnicos y dos manuales de prácticas y participado en quince proyectos de investigación con financiamiento de diversas organizaciones como son PROMEP, CONACYT-Fondos Mixtos, Gobierno del Estado de Chihuahua, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), El Paso Health Foundation, USDA- EPA-Frontera 2012 y el Desert Research Institute

**FRANCISCO JAVIER VÁZQUEZ GONZÁLEZ.** Obtuvo la licenciatura en 1974 como Químico Farmacobiólogo título otorgado por la Escuela de Farmacología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en Morelia Mich. El grado de Maestría en Ciencias en Biomedicina Molecular otorgado por el Instituto Politécnico Nacional en la Ciudad de México en 2007, candidato al grado de Doctor en Investigación por el Colegio de Chihuahua en Ciudad Juárez, Chih. De 1974 al 2003, trabajó como Químico Clínico en el Instituto Mexicano del Seguro Social en Ciudad Juárez, Chih. Del 2000 a la fecha Profesor en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez titular de Monera y habiendo impartido las clases de Biología Celular, Genética y Bacteriología Clínica, ha dirigido 14 tesis de licenciatura del departamento Químico Biológicas y dos tesis a nivel de maestría en Ciencias Odontológicas de la Universidad autónoma de Ciudad Juárez, actualmente dirige una tesis de maestría. Área de generación del conocimiento "La Bacteriología su aplicación en la salud y en el campo, beneficio o daño".

**JOSÉ VALERO GALVÁN.** Obtuvo el título de Ingeniero Agrónomo Especialista en Sistemas Agrícolas de Zonas Áridas por la Universidad Autónoma de Chapingo en 2003. El grado de Maestría en Ciencias en Biotecnología en la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Chihuahua en 2006 y el grado de Doctor en la Universidad de Córdoba en el 2012. Desde el año 2012 labora en el Instituto de Ciencias Biomédicas de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez con categoría de Profesor Investigador de Tiempo Completo. Ha impartido las clases de Biología Molecular y Fitopatología en el Departamento de Ciencias Químico-Biológicas. Área de especialización en Proteómica. Integrante del Cuerpo Académico En Consolidado UACJ-CA-102 "Bioquímica funcional y Proteómica del Estrés"; integrante de la Red Temática de Proteínas y la Sociedad Mexicana de Bioquímica; miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel 1. Ha dirigido 7 tesis de alumnos de la licenciatura de Biología y actualmente dirige dos tesis maestría. En los últimos tres años se han publicado 9 artículos y cinco capítulos de libro.

# Clasificación geoespacial de los indicadores del medio físico para la recarga del acuífero Palomas-Guadalupe Victoria, Chihuahua, México

Geospatial classification of the physical environment indicators to recharge the aquifer Palomas-Guadalupe Victoria, Chihuahua, Mexico

OSCAR RAMÍREZ-VILLAZANA<sup>1,3</sup>, ALFREDO GRANADOS-OLIVAS<sup>1</sup> Y ADÁN PINALES-MUNGUÍA<sup>2</sup>

*Recibido: Noviembre 19, 2015*

*Aceptado: Febrero 8, 2016*

## Resumen

La recarga de agua es una estrategia importante para el sostenimiento del nivel hidrostático de los acuíferos. En el norte de México se localiza el acuífero Palomas-Guadalupe Victoria, donde gran parte de su recarga ocurre sobre la superficie de la Cuenca Baja del río Casas Grandes (CBRCG), en esta cuenca la principal pérdida de agua ocurre en los procesos de evapotranspiración y evaporación, ya que es una cuenca endorreica. El proceso metodológico para el presente estudio consistió en la clasificación geoespacial de los Factores Potenciales de Recarga (FPR) como indicadores del medio físico, procesando y analizando datos vectoriales e imágenes satelitales ASTER. Los resultados obtenidos a partir del procedimiento metodológico determinan tres clases, que indican el potencial de recarga; la clase tres que se distribuye en los piedemonte de la sierra de Las Coloradas, sierra de Boca Grande, sierra Las Lilas, sierra El Cartucho y sobre el cauce del río Casas Grandes, y tiene un área de 192.94 km<sup>2</sup>, la clase dos que se distribuye principalmente en el valle que forman la sierra de las Coloradas, la sierra de Boca Grande, y por el río Casas Grandes, y cuenta con un área de 838.83 km<sup>2</sup>, por último se tiene la clase uno, la cual se distribuye al este del río Casas Grandes, y cuenta con un área de 747.97 km<sup>2</sup>. Se concluye que la metodología empleada para la clasificación de los indicadores del medio físico es altamente efectiva para identificar las zonas potenciales para la recarga de acuíferos.

**Palabras clave:** FPR, CBRCG, lineamientos.

## Abstract

The groundwater recharge is a strategic important to the water table aquifers sustainability. In northern Mexico the aquifer Palomas-Guadalupe Victoria is located, where much of its recharge occurs on the surface of the Lower Casas Grandes Basin (LCGB), in this basin the main water loss occurs in the processes of evaporation and evapotranspiration, since it is an endorheic basin. The methodological process for this study consisted of geospatial classification of the Recharge Potential Factor (RPF) as indicators of the physical environment, processing and analyzing vector data and satellite images ASTER. The obtained results from the methodological process determine three classes that indicates the recharge potential; the class three is distributed in the foothills of the Sierra Las Coloradas, Sierra Boca Grande, Sierra Las Lilas, Sierra El Cartucho and on the Casas Grandes River, and it has an area of 192.94 square kilometers; the class two is mainly distributed in the valley formed by the Sierra Las Coloradas, Sierra Boca Grande and the Casas Grandes River, and it has an area of 838.83 square kilometers; finally, it is the class one, that is distributed to the east of the Casas Grandes River and it has an area of 747.97 square kilometers. It is concluded that the methodology for the classification of the indicators of the physical environment is highly effective to identify the potential zones for ground water recharge.

**Keywords:** RPF, LCGB, lineaments.

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Avenida Del Charro #450 Norte. Ciudad Juárez, Chihuahua. México. 32315. Tel. (656) 688-2100.

<sup>2</sup> Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Circuito Número I s/n, Nuevo Campus Universitario II, 31100 Chihuahua, Chih. Tel. (614) 442-9500.

<sup>3</sup> Dirección electrónica del autor de correspondencia: oramirez.villazana@gmail.com.

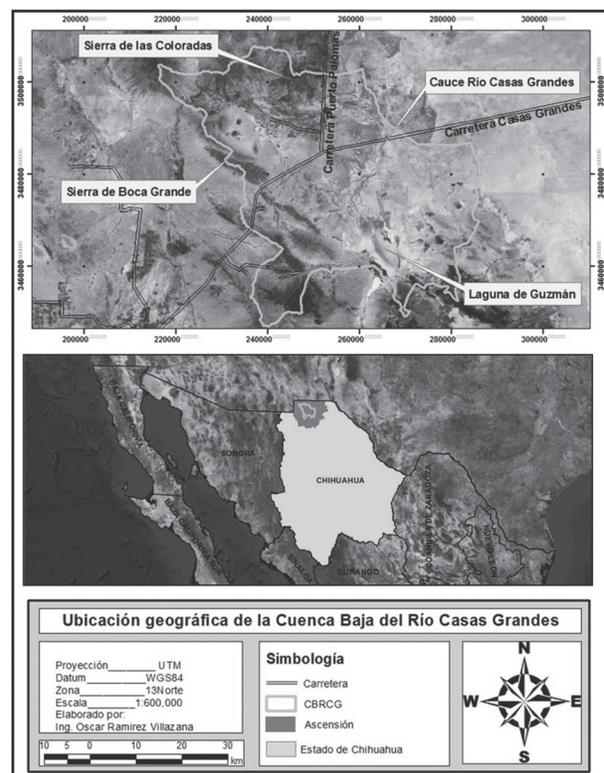
## Introducción

**E**n el mundo, uno de los recursos naturales más valiosos es el agua, y sólo el 2.5% corresponde al agua dulce (Shikolomanov, 1993). En la actualidad, la principal fuente de abastecimiento de agua dulce son los acuíferos, ya que estos se encuentran distribuidos a lo largo de la corteza terrestre, y a su vez, se recargan mediante el conducto del agua que cae sobre la superficie.

En México se tienen contabilizados a la fecha 653 acuíferos, de los cuales 101 se encuentran sobreexplotados y a 49% de ellos se les extrae agua para todos los usos (CONAGUA, 2012). En el norte de México, en el estado de Chihuahua, existen al menos 14 acuíferos sobreexplotados, uno de ellos es el acuífero Palomas-Guadalupe Victoria (CONAGUA, 2012). Este acuífero se ubica en el Municipio de Ascensión (Figura 1), cuya principal fuente de recarga es proporcionada por la Cuenca Baja del río Casas Grandes (CBRCG). Esta cuenca se delimita por; la sierra de las Coloradas al norte y noroeste, para el suroeste por la sierra de Boca Grande, para el sur por la sierra Las Lilas y sierra El Cartucho, mientras que al este de la cuenca se delimita por el escarpe de las Montañas del Camello, (Reeves, 1969; SGM, 2001). Esta cuenca se compone de suelos arcillosos y limosos formados a partir del depósito de sedimentos transportados por medio del viento y corrientes de agua (Morrison, 1969). La geomorfología en la sierra de las Coloradas corresponde a flujos de lava basálticos de edad del cuaternario medio al cuaternario tardío, mientras que en la sierra de Boca Grande, el basamento se encuentra mayormente expuesto en la superficie, aunque en algunas partes se halla a pocos metros por debajo de la superficie, los piedemonte son compuestos de pendientes aluviales (Morrison, 1969). La elevación promedio del valle es de 1210 msnm, mientras que en las sierras se alcanzan elevaciones de 1300 a 1800 msnm con ligeros escarpes y pendientes muy pronunciadas, principalmente en la sierra de Boca Grande. La geología en la superficie de la

CBRCG corresponde al 10.27% de rocas sedimentarias, 16.40% rocas ígneas extrusivas, 0.03% rocas ígneas intrusivas, distribuidas de forma heterogénea, lo que hace que las sierras presentes dentro de la cuenca sean similares, en cuestión, de su composición geológica, excepto la sierra Las Coloradas, que se compone principalmente de rocas ígneas extrusivas, que forman parte del campo volcánico Palomas (Hawley *et al.*, 1999; SGM, 2001; INEGI, 2007).

**Figura 1.** Mapa de la ubicación geográfica la CBRCG con una vista desde la parte norte de la República Mexicana (Fuente: elaboración propia).



En la CBRCG, la mayor pérdida de agua se debe a la evapotranspiración y evaporación, a consecuencia de que la cuenca es endorreica, por lo tanto, si las condiciones del medio físico no son las óptimas, provocará que la tasa de recarga no sea suficiente para mantener el nivel estático del acuífero Palomas-Guadalupe Victoria. Por este motivo, la presente investigación tiene como objetivo clasificar los indicadores del medio físico en la CBRCG para determinar las zonas potenciales de recarga del acuífero Palomas-Guadalupe Victoria, y de este modo aportar información que contribuya a desarrollar planes que incrementen la recarga de agua.

## Materiales y métodos

Los indicadores del medio físico de la CBRCG para determinar las zonas potenciales de recarga en el acuífero Palomas-Guadalupe Victoria, fueron clasificados geoespacialmente. De los indicadores del medio físico se tomó la geología, pendientes, uso de suelo/vegetación, drenaje y lineamientos. Para la clasificación de los indicadores del medio físico, el presente estudio se enfocó en determinar cuáles son los Factores Potenciales de Recarga (FPR) que contribuyen en la recarga del acuífero Palomas-Guadalupe Victoria, por lo que de acuerdo a investigaciones referentes a la recarga de los mismos se determinó que los FPR, son la geología, pendientes, uso de suelo/vegetación, drenaje y lineamientos (Hsin-Fu *et al.*, 2009; Shaban *et al.*, 2006).

Para llevar a cabo el análisis geoespacial es necesario contar con los FPR en formato vectorial, por lo que se buscó en el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), las curvas de nivel a escala 1:50,000 con el fin de delimitar la CBRCG y a partir de ella encontrar los FPR que cubran el área. Una vez que los FPR fueron generados, se cotejaron y clasificaron con apoyo del software AutoCAD y ArcMap. La delimitación de la CBRCG, se realizó aplicando un análisis visual de las elevaciones de las curvas de nivel hechas por el INEGI. Una vez que se obtuvo el polígono de la CBRCG, se

buscó cada uno de los FPR, encontrando que las pendientes y lineamientos no están realizados, por tal motivo se generó un mapa de pendientes a partir de las elevaciones de las curvas de nivel del INEGI, en el caso de los lineamientos, se trabajó con imágenes ASTER del año 2007 (Al Saud, 2008; Mancebo, 2008). Para los demás FPR se adquirió la información a partir de investigadores e instituciones (CONABIO, 1999; Hawley *et al.*, 1999; INEGI, 2007). De los FPR se tiene que los lineamientos y el drenaje se encuentran definidos por la continuidad de líneas, lo que resulta complicado cotejar con la demás información, por este motivo, se realizó un análisis geoespacial que consiste en determinar la frecuencia de líneas a partir de las coordenadas de inicio y fin de cada una de ellas, y determinar una malla de lineamientos y de drenaje (Prabu y Rajagopalan, 2013). Una vez obtenida la información geoespacial de los FPR, ésta se convirtió a ráster, con el objetivo de clasificar los indicadores del medio físico de acuerdo con su potencial de recarga, por lo que se realizó una tabla de indicadores del medio físico que maneja tres clasificaciones; la clase 3 corresponde a una permeabilidad alta, la clase 2 corresponde a una permeabilidad media y la clase 1 corresponde a una permeabilidad baja. Para la asignación de clases en la tabla, se tomó la información proporcionada por diferentes literaturas; para la clasificación de la geología, y pendientes se basó en el manual de hidrología, hecho por Heat en 1983, para el uso de suelo/vegetación se basó en la tabla de valores  $k$  de SAGARPA en 2009 (Cuadro 1). En el caso de los lineamientos, la clasificación se basó, de acuerdo a la frecuencia de lineamientos, ya que entre mayor sea la presencia de lineamientos, mayor es la permeabilidad, por este motivo se realizó un proceso extra, el cual, consistió en reclasificar el ráster de frecuencia de lineamientos, realizando tres intervalos; la clase 3 corresponde a frecuencia alta, la clase 2 corresponde a una frecuencia media y la clase 1 corresponde a una frecuencia baja (Shaban *et al.*, 2006).

Para la clasificación del drenaje, el análisis fue inverso a los lineamientos, ya que si no hay demasiadas líneas de drenaje, es porque no hay suficientes escurrimientos debido a que gran parte del agua se infiltra, por lo que la clase 3 corresponde a una frecuencia baja de líneas de drenaje, la clase 2 corresponde a una frecuencia media de líneas de drenaje y la clase 1 corresponde a una frecuencia alta de líneas de drenaje (Shaban *et al.*, 2006).

Una vez asignada la clasificación a cada uno de los factores de recarga, se procedió a cotejar los factores, para poder llevar a cabo una suma ponderada de los indicadores del medio físico aplicando algoritmos de adición (Ortega *et al.*, 2008).

En este estudio, el análisis geoespacial de los FPR consistió en convertir los datos vectoriales en una superficie de Red Irregular de Triángulos (TIN, por sus siglas en inglés). Dicha TIN se obtiene a partir de mediciones de origen que son proporcionadas según el medio físico, sin perder la información original, y de este modo obtener un ráster que mantenga la información de origen demostrando un alto grado de confiabilidad (Kennedy, 2013). Durante el cotejo y ponderación de los indicadores del medio físico se sumó la información existente, es decir, en áreas donde alguno de los FPR no cubre, la operación no puede ser llevada a cabo por lo que ese espacio se queda sin información, eliminando el ruido que puede afectar en la interpretación de dichos datos.

## Resultados y discusiones

El desarrollo de la metodología para el análisis geoespacial de los FPR, dio como resultado un mapa de clasificaciones de recarga en la CBRCG, para la recarga de agua del acuífero Palomas-Guadalupe Victoria (Figura 2).

En el mapa de la Figura 2 hay dos polígonos empalmados, el polígono color verde corresponde a la CBRCG y el polígono color magenta corresponde al acuífero Palomas-Guadalupe Victoria, la cobertura de la CBRCG

**Cuadro 1.** La tabla muestra los FPR, así como también la clasificación que se usó para los indicadores del medio físico.

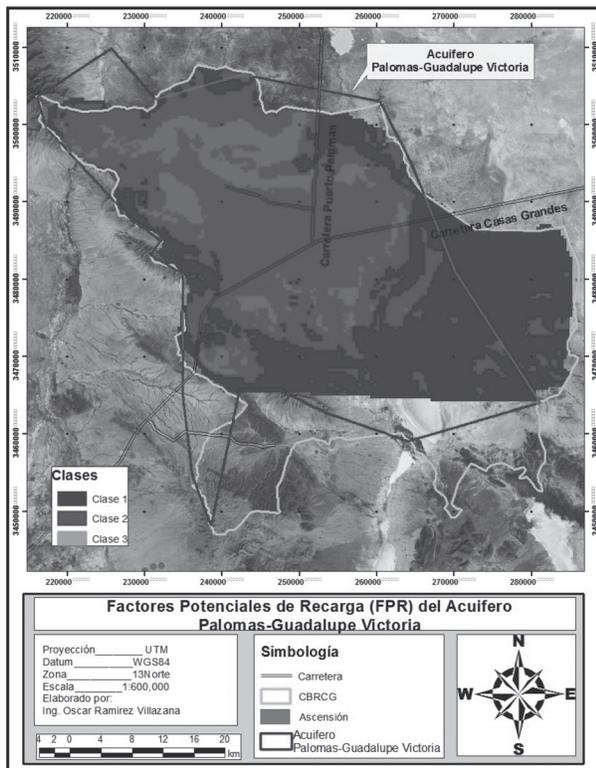
Indicadores del medio físico	
GEOLOGÍA	CLASIFICACIÓN
Aluvial	2
Basalto	3
Caliza	3
Riodacita	1
Conglomerado	2
Basalto-Toba básica	2
Caliza-Lutita	3
Arenisca	3
Toba ácida	2
Traquita-Andesita	1
Eólico	1
Riolita-Toba ácida	1
Lacustre	1
Lutita-Arenisca	3
Granito	1
PENDIENTES	CLASIFICACIÓN
Pendiente (< 1°)	3
Pendiente (1° - 5°)	3
Pendiente (5° - 10°)	3
Pendiente (10° - 15°)	2
Pendiente (15° - 27.36°)	1
USO DE SUELO Y VEGETACIÓN	CLASIFICACIÓN
Asentamientos humanos	1
Sin vegetación aparente	1
Cuerpo de agua	1
Matorral desértico micrófilo	2
Matorral desértico rosetófilo	2
Mezquital xerófilo	3
Pastizal halófilo	1
Pastizal inducido	1
Pastizal natural	1
Agricultura de riego anual	1
Vegetación halófila xerófila	1
Vegetación secundaria arbusciva de matorral desértico rosetófilo	1
Vegetación secundaria arbusciva de pastizal natural	1
Zona urbana	1

sobre el acuífero Palomas-Guadalupe Victoria es de aproximadamente el 90%, por lo que se demuestra que la CBRCG es la principal fuente de abastecimiento del acuífero Palomas-Guadalupe Victoria. En el mapa se observan tres clases de recarga de agua que fueron obtenidas a partir de la suma ponderada de los FPR (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Clases de recarga de agua obtenidas a partir de la suma ponderada de los FPR.

Clasificación	Descripción	Área (km <sup>2</sup> )
Clase 1	Bajo potencial de recarga	747.97
Clase 2	Medio potencial de recarga	838.83
Clase 3	Alto potencial de recarga	192.94

**Figura 2.** Mapa de las zonas potenciales de recarga del acuífero Palomas-Guadalupe Victoria, donde los tonos en gris claro representan las zonas con un potencial alto de recarga (Fuente: elaboración propia).



En el mapa se observa que la clasificación geoespacial no cubre por completo la extensión territorial del acuífero Palomas-Guadalupe

Victoria, sin embargo, por ser un área menor al 5% del área total del acuífero no produce un efecto adverso para el conocimiento de las zonas potenciales de recarga. La clasificación geoespacial de la clase uno en el mapa corresponde al color azul, se distribuye en el este de la CBRCG y se encuentra en los límites que forman el río Casas Grandes y el escarpe de las Montañas de Camello, en esta clase las pendientes y las líneas de drenaje contribuyen en la recarga de agua. La clase dos, corresponde al color morado y se encuentra en el valle que forman la sierra de las Coloradas y la sierra de Boca Grande; en esta clase, las pendientes, líneas de drenaje y los lineamientos son los FPR que contribuyen en la recarga de agua. La clase tres corresponde al color rojo y se distribuye de un modo circular, ubicándose principalmente en los piedemonte de la sierra las Lilas, sierra El Cartucho, sierra de Boca Grande, y sierra Las Coloradas, la última corresponde al cauce del río Casas Grandes, en el tramo que va de la sierra Las Coloradas a la Laguna de Guzmán. En la CBRCG, el medio físico presenta diversas heterogeneidades, sin embargo, al realizar la clasificación geoespacial se observa que la clase 3, es una frontera que divide la clase 1 de la clase 2, por lo que al verificar el medio físico en ambas clases, se observa que la clase tres se encuentra en estructuras geológicas asociadas a los abanicos aluviales, no obstante, existe una zona donde se ubica la clase 3 y corresponde al cauce del río Casas Grandes, en el trayecto que va de la sierra Las Coloradas, a la Laguna de Guzmán, en este tramo provoca ciertas dudas, ya que por el escurrimiento se infiere en una baja tasa de recarga, sin embargo por las velocidades que se alcanzan de los escurrimientos aguas arriba, impide que se infiltre adecuadamente, también se tiene un lineamiento que por su longitud se asocia a un fractura geológica, aunado a esto, o quizás sea el factor más importante, está el cambio de dirección del cauce del río Casas Grandes, debido a que lleva una dirección de oeste a este y cambia bruscamente en un ángulo de 90° para llevar una dirección de norte a sur, indicando que este cambio de dirección puede ser producto de la actividad ígnea del Campo Volcánico Palomas.

Existen estudios que sugieren la búsqueda de fracturas geológicas para la recarga de agua, debido a su alta conductividad hidráulica, empleando métodos geofísicos como principal herramienta (Parizek, 1999; Reynolds, 2011). Sin embargo, en este tipo de estudios la eficiencia está en función de la cantidad de estudios geofísicos que se realicen para conocer el medio físico, lo que provoca mayor cantidad de tiempo, y por ende resulta excesiva en cuestión de costos (Reynolds, 2011). Por este motivo es importante realizar la metodología empleada en la presente investigación, para conocer con mayor detalle las condiciones del medio físico en la región que se esté trabajando.

## Conclusiones

La metodología empleada para el análisis geoespacial de los indicadores del medio físico ha demostrado ser efectiva. La aplicación de instrumentos computacionales para el procesamiento y análisis de los datos vectoriales e imágenes satelitales ha sido relevante debido a que se conservó la información de origen, por lo que se obtuvieron tres clases que indican el potencial de recarga de agua, para el acuífero Palomas-Guadalupe Victoria, cuya clasificación tiene un orden numérico de mayor a menor, que es de la tasa mayor de recarga a la menor tasa de recarga.

De acuerdo con el análisis de los resultados obtenidos de los FPR para cada una de las clases, se encontró que la alta densidad de lineamientos es lo que diferencia la clase uno de la clase dos, las pendientes muy inclinadas, los suelos arcillosos son lo que se oponen al incremento de la tasa de recarga, y las zonas que cambian abruptamente su medio físico, en al menos tres de sus FPR, se relacionan con la clase tres.

Estos estudios son de suma importancia ya que permiten identificar en campo las zonas con alto potencial de recarga, demostrando su comportamiento en el medio físico para evitar la disminución del nivel hidrostático de los acuíferos sobreexplotados. Por esta razón, la identificación de las zonas potenciales de recarga forma parte

de las herramientas necesarias para dar solución a los problemas de gestión de recursos hídricos, sobre todo en zonas donde la escasez de agua representa uno de los límites para el desarrollo social y económico.

## Literatura citada

- AL SAUD, M. 2008. Using ASTER Images to Analyze Geologic Linear Features in Wadi Aurnah Basin, Western Saudi Arabia. *The Open Remote Sensing Journal* 1:17-25.
- COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD (CONABIO) 1999. Uso de suelo y vegetación modificado por CONABIO. [En línea]. México, disponible en <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> [accesado el día 15 de octubre de 2015].
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CONAGUA). 2012. Atlas digital del Agua México, en *Comisión Nacional del Agua*, [En línea]. México, disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/atlas/ciclo21.html> [accesado el día 20 de agosto de 2015].
- HAWLEY, J. W., Kennedy, J. F., Johnson, M., Dinterman, P., y J. Martin 1999. Plate 1. Surface geology and hydrostratigraphic units of the southern New Mexico region. En: NM Water Resources Research Institute (ed.). Escala 1: 500,000. NM Water Resources Research Institute.
- HEAT, R. C. 1983. Basic Ground-Water hydrology. En: United States Geological survey Water-Supply. Paper 2220. p. 86.
- HSIN-FU, Y., Cheng-Haw, L., Kuo-Chin, H., & Po-Hsun, C. 2009. GIS for the assessment of the groundwater recharge potential zone. *Environmental geology* 58:185-195.
- INSTITUTO NACIONAL DE GEOGRAFÍA Y ESTADÍSTICA (INEGI). 2007. Carta topográfica Ciudad Juárez H13-1. Escala 1: 250,000: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- KENNEDY, M., 2013. *Introducing Geographic Information Systems with ArcGIS: A Workbook Approach to Learning GIS*. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey Published simultaneously in Canada. 628 p.
- MANCEBO, Q. S., 2008. Cambios de formato. En: Mancebo, Q. S., Ortega P. E., Valentín C. A., Martín R. B., y L. F. Martín (eds.). Libro SIG: aprendiendo a manejar los SIG en la gestión ambiental. Primera edición, Madrid, España. p. 46-49.
- MORRISON, R. B. 1969. Photointerpretive mapping from space photographs of Quaternary geomorphic features and soil association in northern Chihuahua and adjoining New Mexico and Texas En: New Mexico Geological Society 20th Annual Fall Field Conference Guidebook. p. 228.
- ORTEGA, P. E., Q. S. Mancebo, y A. P. Esplugas. 2008. Análisis ráster. En: Mancebo, Q. S., Ortega P. E., Valentín C. A., Martín R. B., y L. F. Martín (eds.). Libro SIG: aprendiendo a manejar los SIG en la gestión ambiental. Primera edición, Madrid, España. p. 88-96.
- PARIZEK, R. 1999 Fractures traces and lineaments. En: National Groundwater Association (eds). Fractures traces and lineament analysis: application to ground water resources characterization and protection. Ohio, NGWA.
- PRABU, P. y B. Rajagopalan. 2013. Mapping of Lineaments for Groundwater Targeting and Sustainable Water Resource Management in Hard Rock Hydrogeological Environment Using RS- GIS. En: Zhang, Y., y P. Ray (ed.). Climate Change and Regional/Local Responses. [En línea]. Disponible en: <http://www.intechopen.com/books/climate-change-and-regional-local-responses/mapping-of-lineaments-for-groundwater-targeting-and-sustainable-water-resource-management-in-hard-ro> [accesado el día 15/10/2015].
- REEVES, C. C. 1965. Pluvial Lake Palomas, northwestern Chihuahua, Mexico. En: New Mexico Geological Society 20th Annual Fall Field Conference Guidebook. p.228.
- SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN (SAGARPA). 2009. Estudio de factibilidad de alternativas de riego por medio de una presa en el Municipio de Tétela de Ocampo en el Estado de Puebla. SAGARPA tomo 1, México, 160 p.

SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO (SGM). 2001. Carta Geológico-minera Ciudad Juárez H13-1. Escala 1:250,000: Servicio Geológico Mexicano.

SHABAN, A. Mohamad, K. y A. Chadi. 2006. Use of remote sensing and GIS to determinate recharge potential zones: the case of occidental Lebanon. *Hydrogeology journal* 14: 433-443.

SHIKOLOMANOV, I. A. 1993. World fresh water resources. En: P. H. Gleick (ed.). *Water in crisis: A guide to the world's fresh water*. New York and Oxford, Oxford University press.

REYNOLDS, J. M. 2011. An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. John Wiley and sons Ltd. United Kingdom. 681.

Este artículo es citado así:

Ramírez-Villazana, O., A. Granados-Olivas, A. Pinales-Munguía. 2016. Clasificación geoespacial de los indicadores del medio físico para la recarga del acuífero Palomas-Guadalupe Victoria, Chihuahua, México. *TECNOCENCIA Chihuahua* 10(1): 32-38.

## Resumen curricular del autor y coautores

**ÓSCAR RAMÍREZ VILLAZANA.** Terminó su licenciatura en ingeniería Física en el año de 2012 en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ). Actualmente se encuentra terminando el grado de Maestría en Ingeniería Ambiental en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ). Del 2012 a la fecha labora en grupo TESCO S. de R.L., donde se desempeña como jefe de proyectos. Su área de especialidad es la Geofísica, Sistemas de Información Geográfica, Sensores Remotos y Geotecnia. Ha participado en congresos como ponente, en abril del 2011 participó como auxiliar en la capacitación para el levantamiento de datos sísmicos en Sabinas, Zacatecas. En 2009 a 2011 participó en proyectos FOMIX desempeñando la actividad de colaborador técnico, en los veranos 2009 y 2010 fue becario en la empresa PEÑOLES participando en el proyecto polarización inducida y levantamiento de magnetometría, prospecto Chiquihuitillo, y el levantamiento de datos gravimétricos y topografía de alta precisión, en San José de Iturbide, Guanajuato, respectivamente. En 2007-2008 fungió como analista de GPS en la empresa BiWater.

**ALFREDO GRANADOS OLIVAS.** Desde 1990, ha sido Profesor-Investigador asignado al Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental en el programa de la Licenciatura en Ingeniería Civil y Ambiental y de la Maestría en Ingeniería Ambiental y Ecosistemas del Instituto de Ingeniería y Tecnología en la UACJ. De igual forma, imparte cátedra en la Maestría en Planeación y Desarrollo Urbano así como en el Doctorado en Estudios Urbanos del Instituto de Arquitectura, Diseño y Artes en la UACJ. Fue Coordinador del Centro de Información Geográfica en el Instituto de Ingeniería y Tecnología de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ) durante el periodo del 2000 al 2006. Tiene la distinción de haber obtenido el reconocimiento como Investigador Nacional Nivel I por parte del Sistema Nacional de Investigadores (2005-2018; SNI-CONACyT-SEP) y es Profesor con Perfil PROMEP (2006-2016). El Dr. Alfredo Granados Olivás obtuvo su grado de Doctorado en Filosofía- Área Mayor Agronomía en la Universidad Estatal de Nuevo México especializándose en la aplicación de Sistemas de Información Geográfica (GIS), Sensores Remotos (teledetección) y Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) en investigaciones relacionadas al agua, la agricultura y sus impactos en los inventarios de recursos naturales. Su maestría la realizó en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez en el área de Hidrología Subterránea y su licenciatura en la Escuela Superior de Agricultura "Hermanos Escobar" con especialidad en Economía Agrícola y Desarrollo Rural. Es especialista graduado del Programa de Liderazgo Aplicado en Energías Renovables y Eficiencia Energética ofrecido por la Escuela de Salud Pública y Medio Ambiente de la Universidad de Harvard con el proyecto "Comunidad de Granjas Eólicas en Ascensión, Chihuahua". El Dr. Granados fue Gerente Técnico del PRONACOSE (Programa Nacional Contra la Sequía) establecido por el Presidente Enrique Peña Nieto a principios del 2013. Obtuvo recientemente el premio "Distintivo Sustentable 2013 en el área de Investigación otorgado por parte de la SAGARPA y el Gobierno del Estado de Chihuahua, por sus estudios en el uso eficiente del agua en la agricultura. Así mismo obtuvo el Premio Estatal en Ciencia, Tecnología e Innovación 2013 categoría de Ciencia en el Área de Medio Ambiente y Recursos Naturales por parte del Consejo Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación del Gobierno del Estado de Chihuahua. Fue galardonado en el 2010 con la Medalla al Mérito Docente "Maestros Fundadores" otorgada por la UACJ a profesores que se destacan por su labor docente y de investigación. Así mismo, fue reconocido con la Medalla al Mérito Agronómico-2006 por parte de la Asociación de Profesionales por la Democracia y el Desarrollo (APRODE) y la Comisión de Honor y Justicia de la Asociación Nacional de Egresados de la ESAHE, AC. El Dr. Granados ha sido Director de Tesis en 8 tesis doctorales, 27 tesis de maestría y 25 tesis de licenciatura; y ha sido conferencista en 20 foros nacionales y en 15 foros internacionales (México, Brasil, Francia, Argentina, Costa Rica y Estados Unidos). Ha publicado como autor principal o en co-autoría con pares académicos 28 artículos arbitrados, 44 memorias en extenso y 14 reportes técnicos. Actualmente es el Investigador Principal por la sección mexicana del proyecto financiado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos denominado "Sustainable water resources for irrigated agriculture in a desert river basin facing climate change and competing demands: From characterization to solutions" proyecto que se desarrollara durante el periodo del 2015 al 2020 con una bolsa de 4.9 millones de dolares. El Dr. Granados es Presidente de la firma de consultoría Ingeniería Granados y Asociados SC; fue Presidente del Comité Técnico en Fundación Produce Chihuahua, AC (2010-2015); en el Consejo Estatal Agropecuario de Chihuahua funge como Coordinador General del Foro del Agua en la Expo Agro Internacional Chihuahua; es Presidente de la Asociación Ganadera Local Especializada de Productores de Ovinos de Ascensión, Chih.; es Subsecretario de la Asociación Mexicana de Hidráulica (AMH)- Sección Frontera Norte; es Miembro de la Sociedad Mexicana de Ingenieros (SMI); Miembro de la Asociación Nacional de Aguas Subterráneas de Estados Unidos (NGWA) y de la Asociación Internacional de Hidrogeología (IAH); es Miembro de la Mesa Directiva del Foro Ciudadano de la CILA-Sección México.

**ADÁN PINALES MUNGUÍA.** Terminó su licenciatura en Ingeniería Civil en el año de 1996 en la Universidad de Colima (UCol). Realizó el posgrado en la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), en Chihuahua, Chih., donde obtuvo el grado de Maestro en Ingeniería en Hidrología Subterránea en 1999 y el grado de Doctorado en Ciencia y Tecnología Ambiental en el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) en Modelación del Agua Subterránea, en el año de 2004. Desde 2005 labora en la Facultad de Ingeniería de la UACH y posee la categoría de Académico Titular C. Fue miembro del Sistema Nacional de Investigadores en el periodo de 2006 a 2009 (candidato). Sus áreas de especialidad son: Hidrología Subterránea, Modelación Matemática de Sistemas Acuíferos, Diseño de Redes de Monitoreo y Diseño de Códigos de Computadora para la Simulación Matemática de Acuíferos. Ha dirigido 20 tesis de licenciatura y 18 de maestría. Es autor o coautor en más de 40 publicaciones en congresos, capítulos de libros, libro y artículos. Ha dirigido 5 proyectos de investigación financiado por fuentes externas.

# Grado de marginación de la zona metropolitana de Chihuahua: un comparativo entre el año 2000 y el 2010

Degree of marginalization of the metropolitan area of Chihuahua: a comparative between 2000 and 2010

ANTONIO DÁVILA-RODRÍGUEZ<sup>1,3</sup>, GASPAR ALONSO JIMÉNEZ-RENTERÍA<sup>2</sup>

*Recibido: Abril 14, 2016*

*Aceptado: Junio 28, 2016*

## Resumen

El objetivo del presente trabajo fue realizar un análisis comparativo entre el año 2000 y el 2010 del grado de marginación urbana de la Zona Metropolitana de Chihuahua desde una perspectiva local. Para la estimación del índice de marginación urbana se consideró como fuente de información los censos generales de población y vivienda de 2000 y de 2010, debido a que cuentan con la cobertura, grado de desagregación y actualidad de los datos necesarios para la construcción del índice a escala de Área Geoestadística Básica (AGEB) urbanas. Se decidió homogenizar diez indicadores en las categorías Salud, Educación, Vivienda y Bienes. De las cinco categorías definidas Muy Baja, Baja, Media, Alta y Muy Alta marginación; la que presentó mayor porcentaje fue la de Muy Baja marginación con un 70.75%, equivalente a 300 AGEB urbanas de las 424 definidas para el año 2000 y del 68.05%, equivalente a 460 AGEB urbanas de las 676 definidas para el año 2010. El análisis comparativo mostró un comportamiento estable en el grado de marginación del periodo estudiado, también permitió determinar que muy bajo porcentaje de la población reside en AGEB con grandes privaciones en salud, educación, vivienda y bienes.

**Palabras clave:** índice de marginación urbana, grado de marginación, zona metropolitana.

## Abstract

The aim of this study was to conduct a comparative analysis between 2000 and 2010 the degree of urban marginalization of the metropolitan area of Chihuahua from a local perspective. To estimate the rate of urban marginalization was considered as a source of information the General Census of Population and Housing 2000 and 2010, due they have the coverage, degree of disaggregation and timeliness of the data needed for the construction of the index scale urban census tract. It was decided to standardize ten indicators in Health, Education, Housing and Real categories. Of the five categories defined Very Low, Low, Medium, High and Very High marginalization; which presents higher percentage was the marginalization of Very Low with 70.75% equivalent to 300 of the 424 urban census tract defined for 2000 and 68.05% equivalent to 460 of the 676 urban census tract set for the year 2010. The comparative analysis showed a stable behavior in the degree of marginalization of the studied period, it also allowed us to determine that a very low percentage of the population is living in census tract with great deprivation in health, education, housing and real.

**Keywords:** urban marginalization index, degree of marginalization, metropolitan area

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Arquitectura y Diseño. Blvd. Benito Juárez s/n Mexicali, B.C., México. Tel. y Fax (686) 566-4250.

<sup>2</sup> Instituto Tecnológico de Chihuahua. Departamento de Ciencias Económico Administrativas. Av. Tecnológico 2909 Col. Magisterial, 31200 Chihuahua, Chih. Tel. (614) 201-2000.

<sup>3</sup> Dirección electrónica del autor de correspondencia: gdavila@uabc.edu.mx.

## Introducción

**A** pesar de los esfuerzos que se han realizado con la finalidad de reducir la pobreza en el mundo, todavía nos encontramos con cifras que indican que estos esfuerzos deben intensificarse. Existen en el mundo 215 millones de niños que trabajan (ILO, 2013), cerca de 1.4 mil millones de personas no tienen acceso a la electricidad (OECD, 2012), 924 millones que no cuentan con un refugio adecuado (UN-HABITAT, 2003), 900 millones carecen de acceso a agua limpia y 2.6 mil millones de personas carecen de acceso a servicios de saneamiento básico (WHO & UNAIDS, 2010), 800 millones de jóvenes y adultos son analfabetos (UNDP, 2012), y 805 millones de personas sufren de desnutrición crónica (FAO, 2014).

Por años se ha tratado de entender por qué los más pobres se quedan rezagados a los avances del desarrollo en cuanto a la marginalidad (Gatzweiler, 2013). La marginación se asocia a la carencia de oportunidades sociales y a la ausencia de capacidades para adquirirlas o generarlas, pero también a privaciones e inaccesibilidad a bienes y servicios fundamentales para el bienestar (CONAPO, 2010). Para Gatzweiler *et al.* (2011, p. 3) es «una posición y condición involuntaria de un individuo o un grupo al margen de los sistemas sociales, políticos, económicos, ecológicos y biofísicos, que les impiden el acceso a los recursos, bienes, servicios, restringiendo la libertad de elección e impidiendo el desarrollo de capacidades y causando finalmente la pobreza extrema». En esta situación se encuentran las personas que viven con menos de \$ 1.25 USD por día (Ahmed, *et al.*, 2013). En México, existe un conjunto de medidas de desarrollo humano utilizadas sistemáticamente de manera institucional dentro de las cuales se encuentran: el Índice de Marginación (IM), desarrollado por el Consejo Nacional de Población (CONAPO); el Índice de Bienestar (IB), propuesto por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI); el Índice de Masas Carenciales (IMC), plasmado en la Ley de Coordinación Fiscal; y los Índices de Pobreza (IP), recientemente desarrollados por el Comité Técnico de Medición de la Pobreza convocado por la Secretaría de Desarrollo Social (López,

2004). De estos índices, el más utilizado es el Índice de Marginación ya que es un instrumento analítico que permite identificar dónde y por qué existen inequidades en ciertos grupos. Ante la relevancia actual del fenómeno urbano, hoy en día los procesos que ocurren dentro y en torno a las ciudades merecen una atención especial mediante el análisis interdisciplinario. Particularmente, es necesario entender estos procesos a través de los aspectos: sociales, urbanísticos, demográficos y económicos, que inciden en la comprensión de los factores que afectan la vida cotidiana de los que habitan la ciudad. Por lo tanto, el reto de la presente investigación fue entender el crecimiento urbano en relación con la marginación que se presenta en la zona de estudio, y tuvo como objetivo realizar una evaluación de la evolución en el grado de marginación urbana de la Zona Metropolitana de Chihuahua del año 2000 al año 2010 a nivel de Área Geoestadística Básica (AGEB) desde una perspectiva local. Para tal efecto se tomó como base la metodología para el cálculo del Índice de Marginación Urbana del año 2000 y 2010 utilizada por el Consejo Nacional de Población. De la metodología del año 2000 se tomaron nueve de los 11 indicadores, quedando excluidos el porcentaje de la población ocupada con ingresos de hasta dos salarios mínimos y porcentaje de mujeres entre 12 y 17 años de edad que han tenido al menos un hijo nacido vivo (CONAPO, 2000), con la intención de formar una matriz de 10

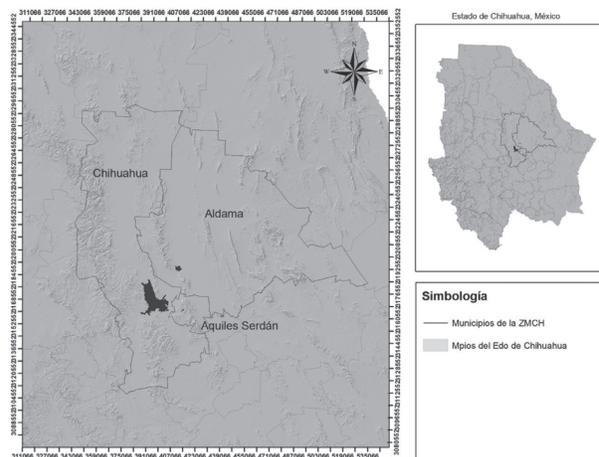
indicadores base y que fueran coincidentes con los 10 indicadores de la metodología del 2010 (CONAPO, 2010). Con la diferencia de que el nivel de comparación se realizó entre las tres localidades urbanas que conforman la zona metropolitana de Chihuahua. En el mismo sentido, se dejaron las cuatro dimensiones que se establecen en la metodología del 2010: Salud, Educación, Vivienda y Bienes. Si bien en el año 2000 Chihuahua no gozaba con la denominación de Zona Metropolitana, se decidió realizar el ejercicio con los tres municipios que la conforman al 2010 con la intención de evaluar su evolución en dicho periodo.

## Materiales y métodos

**Descripción del área de estudio.** El estado de Chihuahua tiene por capital el municipio del mismo nombre y cuenta con 67 alcaldías, tiene una extensión de 247,460 km<sup>2</sup> la cual representa el 12.6% del territorio nacional (Figura 1). Su población al 2010 fue de 3,406,465 habitantes, lo cual representa el 3.0% del total del país, la cual está distribuida en 85% urbana y 15% rural. La Zona Metropolitana de Chihuahua se conforma de tres municipios: Chihuahua, Aldama y Aquiles Serdán (Figura 2 y 3); entre los tres suman 852,533 habitantes que representan el 25.03% de la población del estado. El 97.94% de los habitantes vive en las tres localidades clasificadas como urbanas de las 1,268 que integran la Zona Metropolitana de Chihuahua: Aldama, se ubica entre los paralelos 28° 33' y 29° 41' de latitud norte; los meridianos 104° 39' y 106° 14' de longitud oeste; su altitud se establece entre los 900 y 2,300 msnm. Ocupa el 3.8% de la superficie del estado, cuenta con 453 localidades y una población total de 22,302 habitantes. Aquiles Serdán, se ubica entre los paralelos 28° 27' y 28° 43' de latitud norte; los meridianos 105° 41' y 106° 00' de longitud oeste; su altitud se establece entre 1,100 y 2,300 msnm. Ocupa el 0.2% de la superficie del estado, cuenta con 54 localidades y una población total de 10,688 habitantes. Chihuahua, se ubica entre los paralelos 28° 05' y 29° 48' de latitud norte; los meridianos 105° 41' y 106° 38'

de longitud oeste; su altitud se establece entre 1,200 y 2,800 msnm. Ocupa el 3.4% de la superficie del estado, cuenta con 761 localidades y una población total de 819,543 habitantes (INEGI, 2010).

**Figura 1.** Estado de Chihuahua y Zona Metropolitana de Chihuahua con mancha urbana al año 2000.



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI.

**Fuentes de datos.** Se utilizaron los censos generales de población y vivienda generados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) correspondientes a los años 2000 y 2010.

Para el año 2000 los polígonos de las tres localidades urbanas que conforman la Zona Metropolitana de Chihuahua fueron proporcionados por el nivel central del INEGI y las bases de datos se extrajeron del Sistema para la Consulta de Información Censal (SCINCE, 2000).

Para al año 2010 tanto los polígonos como la base de datos se extrajeron del Sistema para la Consulta de Información Censal (SCINCE, 2010). Respecto a la metodología se utilizó como base la propuesta por el Consejo Nacional de Población para la estimación del Índice de Marginación Urbana.

**Software utilizado.** Microsoft Office Excel 2007, Sistema para la Consulta de Información Censal, SCINCE 2000 y 2010, Mapa Digital V 5.1.1 y ArcMap V 9.3 de AcGIS V 9.0.

Figura 2. AGEB Urbanas que Integran la Zona Metropolitana de Chihuahua para el año 2000.

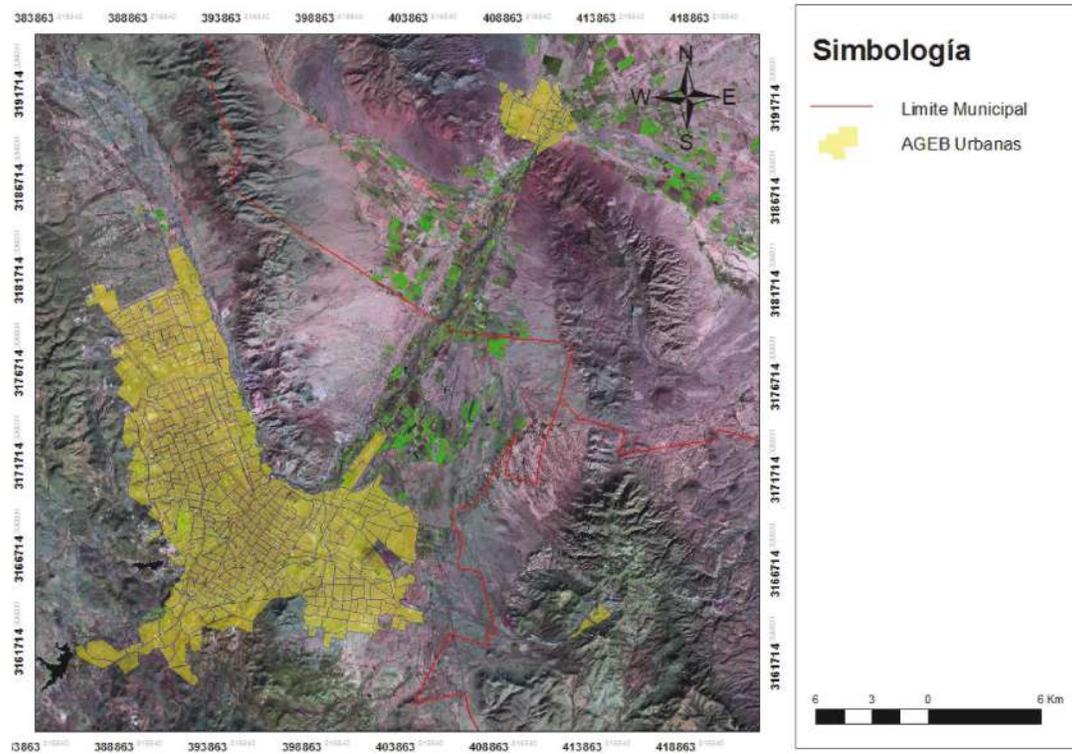
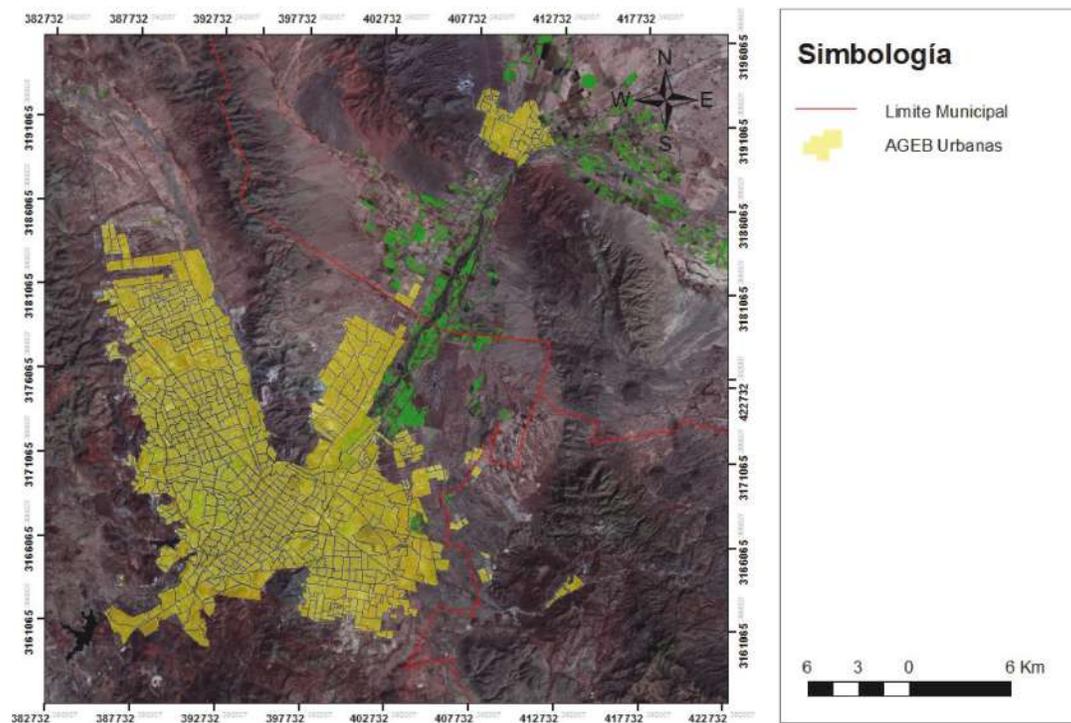


Figura 3. AGEB Urbanas que Integran la Zona Metropolitana de Chihuahua para el año 2010.



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI.

*Procesamiento de la información.* Se extrajo la base de datos (BD) de las variables censales de los municipios que conforman la zona metropolitana de Chihuahua (Aldama, Aquiles Serdán y Chihuahua) del programa SCINCE 2000 y 2010 en formato .xls para ser manipulados en Excel 2007. Posteriormente, se calcularon los 10 indicadores del Índice de Marginación, obteniendo en cada indicador un porcentaje producto de las variables censales involucradas. En un tercer paso, se procedió a filtrar la BD eliminando las AGEB cuya población era cero o se carecía de información censal. En el paso posterior se normalizó cada indicador y se promedió cada categoría con la intención de obtener el promedio de las cuatro categorías o Índice de Marginación. Por último, se determinó el Grado de Marginación (GM) de cada AGEB de acuerdo a la siguiente clasificación: De 0.00 – 0.20 Muy Baja; de 0.21 – 0.40 Baja; de 0.41 – 0.60 Media; de 0.61 – 0.80 Alta y de 0.81 – 1.00 Muy Alta. El resultado representa una medida útil, sencilla y sintética que permite diferenciar las AGEB urbanas de la Zona Metropolitana de Chihuahua según el impacto de las carencias que comprometen la calidad de vida de la población. En otra etapa, y con la intención de representar gráficamente el grado de marginación obtenido, se exportó el resultado del grado de marginación por AGEB procesado en Excel 2007 al programa Mapa Digital V 5.1.1 con el propósito de convertir el formato .xls a formato .dbf y poder unir la información a la del Cuadro del polígono del AGEB urbana proporcionado por el INEGI. Una vez unida la información, el polígono se abre en el programa ArcMap V 9.3 de AcGIS V 9.0 para representar el Grado de Marginación gráficamente y darle formato de presentación.

*AGEB.* En la determinación del Índice de Marginación Urbana se considera como unidad de análisis la unidad básica del Marco Geoestadístico Nacional el área geoestadística básica (AGEB). Sus límites están dados por detalles geográficos, de infraestructura permanente, o bien límites prediales identificables en

el terreno. Las AGEB pueden ser de dos tipos: rurales o urbanas.

El AGEB urbana «es el área geográfica que se encuentra dentro de una localidad de 2,500 o más (incluye todas las cabeceras municipales aunque no alcancen esa población). Se integra por un conjunto de manzanas edificadas y perfectamente delimitadas por calles y avenidas. El uso del suelo es habitacional, industrial, comercial, recreativo o de otro uso no agropecuario ni forestal».

Es precisamente con base en los indicadores censales referentes a las características de la población y de las viviendas a escala de las AGEB urbanas proporcionadas por el INEGI, que se construyó el índice de marginación urbana.

En el levantamiento del XII Censo General de Población y Vivienda del año 2000 se definieron un total de 424 AGEB urbanas para los municipios que integran la Zona Metropolitana de Chihuahua (INEGI, 2000) y un total de 676 para el año 2010 correspondiente al XIII Censo General de Población y Vivienda (INEGI, 2010). No obstante, se excluyeron aquellas AGEB que presentaban información incompleta al menos en uno de los indicadores, lo que impedía la estimación del índice para las mismas.

*Cálculo de los indicadores del índice de marginación urbana.* Para el cálculo del índice de marginación urbana se consideraron cuatro dimensiones: Salud, Educación, Vivienda y Bienes.

Para la dimensión de salud se tomaron en cuenta los indicadores de: porcentaje de población sin derechohabencia a los servicios de salud y porcentaje de hijos fallecidos para las mujeres entre 15 y 49 años de edad.

Para la dimensión de educación se tomaron los indicadores de: porcentaje de la población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela y porcentaje de la población de 15 años y más sin instrucción post primaria.

Para el caso de la dimensión de vivienda los indicadores que se consideraron fueron: porcentaje de viviendas particulares sin drenaje, porcentaje de viviendas particulares sin agua entubada dentro de la vivienda, porcentaje de viviendas particulares con techos de materiales ligeros, naturales o precarios, porcentaje de viviendas particulares con algún nivel de hacinamiento y porcentaje de viviendas particulares habitadas con piso de tierra.

Por último, para la dimensión de bienes sólo se tomó en cuenta el indicador de porcentaje de viviendas sin refrigerador.

*Construcción del índice de marginación urbana.* Una vez que fueron calculados los diez indicadores socioeconómicos correspondientes a las cuatro dimensiones del rezago social consideradas, se procedió a construir una medida resumen que sintetizara esta información. Para tal efecto, se procedió a la normalización de indicadores y a la obtención del grado de marginación.

## Resultados

Se puede observar un incremento en 252 AGEB urbanas en la zona metropolitana de Chihuahua en el periodo de 2000 a 2010 (Figura 4), distribuidas de la siguiente manera: Aldama

aumentó de 22 a 39, Aquiles Serdán pasó de 3 a 9 y Chihuahua de 399 a 628. El Cuadro 1 presenta la distribución de las AGEB urbanas, de la población en las AGEB urbanas de acuerdo con el grado de marginación y del número de viviendas particulares habitadas para el año 2000. Se aprecia que no hay AGEB urbanas en la Zona Metropolitana de Chihuahua con un grado de marginación muy alto. La categoría de alta marginación quedó representada por el 0.94 por ciento, un 4.01 por ciento para la categoría de media marginación, 20.05 por ciento para baja, y 70.75 por ciento para la categoría de muy baja marginación. En términos absolutos, esto significa que de las 424 AGEB urbanas registradas en el censo del 2000 para la zona metropolitana de Chihuahua, ningún AGEB presenta un grado muy alto de marginación y cuatro registran alta marginación (Figura 5). En relación con el volumen de la población residente, se aprecia que 99 personas de la zona metropolitana viven en AGEB urbanas de alta y muy alta marginación (0.00% y 0.01% de la población residente en AGEB urbanas, respectivamente), mientras que 673,626 personas de la zona metropolitana residen en AGEB urbanas de baja y muy baja marginación (12.46% y 87.29%, respectivamente).

**Cuadro 1.** Clasificación del Grado de Marginación, de las AGEB Urbanas de la ZMCH para el año 2000.

Grado	Cantidad	%	Población	%	Viviendas	%
Muy Baja	300	70.75	589485	87.29	152240	88.07
Baja	85	20.05	84141	12.46	20182	11.68
Media	17	4.01	1605	0.24	410	0.24
Alta	4	0.94	99	0.01	30	0.02
Muy Alta	0	0.00	0	0.00	0	0.00
No Dato	18	4.25	0	0.00	0	0.00
<b>Totales</b>	<b>424</b>	<b>100.00</b>	<b>675330</b>	<b>100.00</b>	<b>172862</b>	<b>100.00</b>

Figura 4. Crecimiento urbano de la Zona Metropolitana de Chihuahua durante el periodo 2000 - 2010.

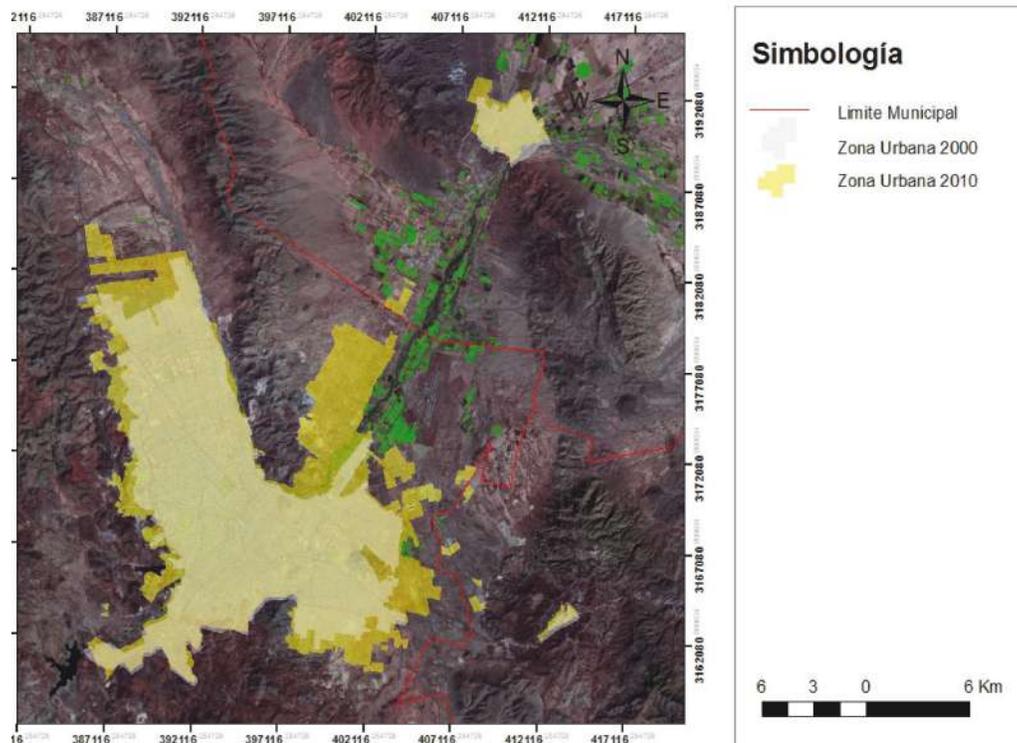
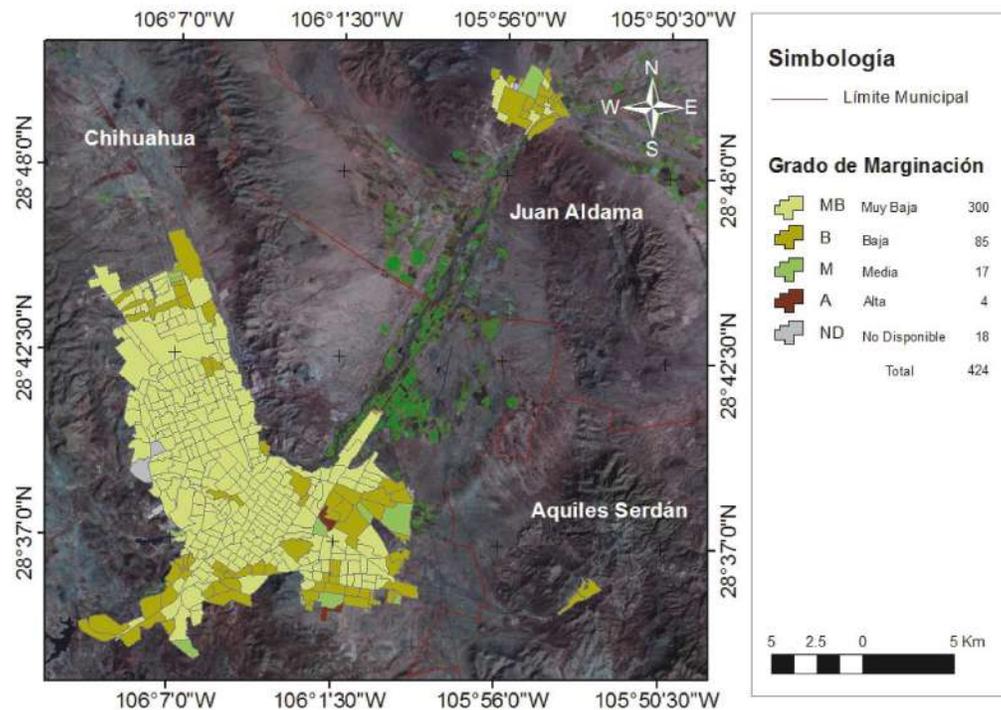


Figura 5. Grado de Marginación por AGEB urbana para el año 2000.



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI.

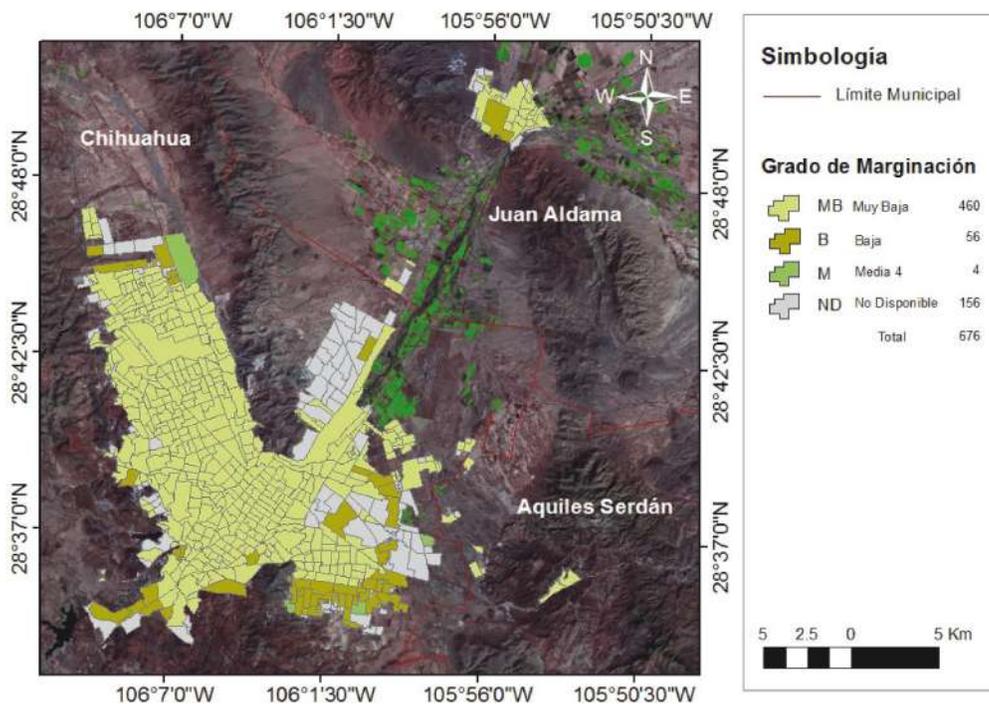
El Cuadro 2 presenta la distribución de las AGEB urbanas, de la población por AGEB urbanas de acuerdo con el grado de marginación y del número de viviendas particulares habitadas para el año 2010. Se aprecia que no hay AGEB urbanas en la Zona Metropolitana de Chihuahua con un grado de marginación alto o muy alto, 0.59 por ciento está en el nivel medio, 8.28 por ciento bajo, y 68.05 por ciento muy bajo. En términos absolutos, esto significa que de las 676

AGEB urbanas registradas en el censo del 2000 para la zona metropolitana de Chihuahua, ningún AGEB presenta un grado alto o muy alto de marginación (Figura 6). En relación con el volumen de la población residente, se aprecia que ninguna persona de la zona metropolitana vive en AGEB urbanas de alta y muy alta marginación, mientras que 830,649 Chihuahuenses de la zona metropolitana residen en AGEB urbanas de baja y muy baja marginación (3.64% y 95.84%, respectivamente).

**Cuadro 2.** Clasificación del Grado de Marginación de las AGEB Urbanas de la ZMCH para el año 2010.

Grado	Cantidad	%	Población	%	Viviendas	%
Muy Baja	460	68.05	800234	95.84	223666	96.19
Baja	56	8.28	30415	3.64	7750	3.33
Media	4	0.59	1304	0.16	357	0.15
Alta	0	0.00	0	0	0	0
Muy Alta	0	0.00	0	0	0	0
No Dato	156	23.08	3056	0.26	759	0.33
<b>Totales</b>	<b>676</b>	<b>100.00</b>	<b>835009</b>	<b>100.00</b>	<b>232532</b>	<b>100.00</b>

**Figura 6.** Grado de Marginación por AGEB urbana para el año 2010.



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI.

## Discusión

Para el año 2000 no existe un referente de comparación con los índices elaborados por el CONAPO, ya que en ese entonces Chihuahua no era considerada zona metropolitana y se elaboró únicamente para la ciudad de Chihuahua. Sin embargo, la evaluación del Consejo arroja 21 AGEB en las categorías de alta y muy alta marginación (4 y 17 respectivamente). Hay que considerar que para este estudio se tomaron en cuenta 424 AGEB para la zona metropolitana de Chihuahua, mientras que en el estudio de CONAPO se tomaron en cuenta 34,061. En ambas evaluaciones se coincide que la mayoría de los AGEB se clasifican en las categorías de baja y muy baja marginación. Respecto al año 2010, el Consejo Nacional de Población elaboró el grado de marginación urbana por AGEB considerando un total de 56,195 AGEB urbanas de toda la República Mexicana, en contraste con las 676 que se consideraron para la zona metropolitana de Chihuahua. Para este caso, en la evaluación del CONAPO también se determinaron AGEB en las categorías de alta y muy alta marginación; 30 AGEB para la clasificación de alta marginación y 18 en la categoría de muy alta marginación. En ambas evaluaciones se coincide también que la mayoría de los AGEB se clasifican en las categorías de baja y muy baja marginación.

## Conclusiones

De la evaluación se aprecia que las AGEB urbanas de la Zona Metropolitana de Chihuahua no solo se mantuvieron en las categorías de baja y muy baja marginación, sino que los 252 (62.72%) de los AGEB que aumentaron durante el periodo de estudio, también se clasifican en estas dos categorías. Sin embargo, aunque es evidente que el 99.75 por ciento de la población de la zona metropolitana de Chihuahua reside en AGEB que presentan un nivel de marginación Bajo o Muy Bajo (90.80 por ciento de las AGEB en estas categorías), esto no refleja la realidad que se observa en la zona de estudio. Tomemos

en cuenta que el único referente de comparación es la metodología desarrollada por el Consejo Nacional de Población y por lo tanto se está sujeto a sus limitantes. Según los resultados de este estudio y con base a los indicadores empleados, no existe marginación en la zona de estudio. Si consideramos que la marginación consiste en privaciones e inaccesibilidad a bienes y servicios fundamentales para el bienestar. Esto sugiere que los indicadores con los que se evalúan las carencias socioeconómicas deberían replantearse.

## Literatura Citada

- AHMED, A. U., Vargas Hill, R., & Naeem, F. 2013. The poorest: Who and where they are? In J. von Braun, & F. W. Gatzweiler (Eds.), *Marginality. Addressing the nexus of poverty, exclusion and ecology* (pp. 85–100). Dordrecht Heidelberg New York London: Springer.
- CONSEJO NACIONAL DE POBLACIÓN (CONAPO). 2000. *Metodología de estimación del índice de marginación urbana 2000*. De: [http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/indices\\_margina/Migra2/margina\\_urb/AnexoB.pdf](http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/indices_margina/Migra2/margina_urb/AnexoB.pdf). Marzo de 2015.
- CONSEJO NACIONAL DE POBLACIÓN (CONAPO). 2000. *Grado de marginación por AGEB urbana 2000*. Consejo Nacional de Población. México, D.F.
- CONSEJO NACIONAL DE POBLACIÓN (CONAPO). 2010. *Metodología de estimación del índice de marginación urbana 2010*. De: [http://www.coespo.yucatan.gob.mx/general/urbana\\_01\\_AGEB.pdf](http://www.coespo.yucatan.gob.mx/general/urbana_01_AGEB.pdf). Marzo de 2015
- CONSEJO NACIONAL DE POBLACIÓN (CONAPO). 2010. *Grado de marginación por AGEB urbana 2010*. Consejo Nacional de Población. México, D.F.
- FAO. 2014. *The state of food insecurity in the world 2014*. Rome: FAO, WFP, IFAD.
- GATZWEILER, F., Baumüller, H., Ladenburger, C., & Von Braun, J. 2011. *Marginality: Addressing the root causes of extreme poverty*. ZEF Working paper series, 77.
- GATZWEILER, F. W., & Baumüller, H. 2013. Marginality—A framework for analyzing causal complexities of poverty. In J. von Braun, & F. W. Gatzweiler (Eds.), *Marginality. Addressing the nexus of poverty, exclusion and ecology* (pp. 27–40). Dordrecht Heidelberg New York London: Springer.
- ILO. 2013. Child labour. *Child labour*, Retrieved January 7, 2013, from <<http://www.ilo.org/global/topics/child-labour/lang-en/index.htm>>.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI). 2000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, *Censo General de Población y Vivienda 2000*. De: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/ccpv/cpv2000/default.aspx>. Junio 2014.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI). 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, *Censo General de Población y Vivienda 2010*. De: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>. Junio 2014.
- LÓPEZ-CALVA, Luis F.; Lourdes Rodríguez Chamussy y Miguel Székely. 2004. *Medición del Desarrollo en México*. PNUD. México.
- OECD 2012. *World energy outlook: 2012*. Paris: Organization for Economic Cooperation & Development.

UNDP 2012. *Human development report 2011: Sustainability and equity – A better future for all*. New York: Palgrave Macmillan.

UN-HABITAT. 2003. *The challenge of slums*. Nairobi: UN-HABITAT. van Velthuisen, H., Huddleston, B., Fischer, G., Salvatore, M., Ataman, E., Nachtergaele, F. O., et al. (2007). *Mapping biophysical factors that influence agricultural production and rural vulnerability*. FAO.

SISTEMA PARA LA CONSULTA DE INFORMACIÓN CENSAL (SCINCE). 2000. *Sistema para la Consulta de Información Censal*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

SISTEMA PARA LA CONSULTA DE INFORMACIÓN CENSAL (SCINCE). 2010. *Sistema para la Consulta de Información Censal*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

WHO & UNAIDS. 2010. *Progress on sanitation and drinking-water*. 2010 update. Geneva: World Health Organization. 

---

Este artículo es citado así:

Dávila-Rodríguez, A. G. A. Jiménez-Rentería. 2016. Grado de marginación de la zona metropolitana de Chihuahua: un comparativo entre el año 2000 y el 2010. *TECNOCENCIA Chihuahua* 10(1): 39-48.

## Resumen curricular del autor y coautores

**ANTONIO DÁVILA RODRÍGUEZ.** Terminó su licenciatura en 2003, año en que le fue otorgado el título de Licenciado en Sistemas Computacionales y Administrativos. Realizó su posgrado en la Facultad de Contaduría y Administración de la Universidad Autónoma de Chihuahua, donde obtuvo el grado de Maestro en Sistemas de Información en 2007 y el grado de Maestro en Ciencias de la Productividad Frutícola en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la misma Universidad en 2010 y es Doctor en Planeación y Desarrollo Sustentable por la Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad Autónoma de Baja California. Fue maestro y coordinador académico del área de posgrado de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas y docente de la Facultad de Contaduría y Administración de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Actualmente trabaja en una investigación que tiene como objetivo identificar y cuantificar los procesos de crecimiento y expansión de la ciudad, así como determinar el cambio de cobertura y uso de suelo, su grado de marginación y el impacto ambiental producto de este crecimiento en las zonas metropolitanas de México, la cual servirá para comprender el proceso de urbanización regional y controlar y planificar el desarrollo futuro de las zonas de estudio.

# Guía para autores de escritos científicos

## Política editorial

Son bienvenidos manuscritos originales e inéditos de tipo científico, tecnológico o humanístico, los cuales deberán estar escritos con un lenguaje accesible a lectores con formación profesional, atendiendo a los principios de precisión, lógica y claridad. Todo manuscrito recibido es revisado en primera instancia por el Comité de Editores Asociados, para asegurar que cumpla con el formato y contenido establecido por las normas editoriales de *TECNOCENCIA Chihuahua*. Una vez revisado, los editores asociados determinarán su viabilidad para ser publicado; enseguida, se regresa al autor responsable para que incorpore las observaciones y sea editado. Posteriormente, es sometido a un estricto arbitraje bajo el sistema de doble ciego, realizado por dos especialistas en el área del conocimiento.

Para la evaluación de escritos se aplican los criterios de: Rigor científico, calidad y precisión de la información, relevancia del tema y la claridad del lenguaje. Los árbitros prestarán especial atención a la originalidad de los escritos, es decir, revisarán que el manuscrito sea producto del trabajo directo del autor o autores y que no haya sido publicado o enviado algo similar a otras revistas. Los artículos deben presentar: Un análisis detallado de los resultados, así como un desarrollo metodológico original, una manipulación nueva del tema investigado, o ser de gran impacto social. Sólo serán aceptados trabajos basados en encuestas donde se incluyan mediciones, organización, análisis estadístico, prueba de hipótesis e inferencia sobre los datos obtenidos del estudio.

## Lineamientos generales

Se aceptan manuscritos originales e inéditos, producto de la creatividad del o los autores, cuyos resultados de investigación no hayan sido publicados parcial o totalmente (excepto como resumen de algún congreso científico), ni estén en vías de publicarse en otra revista (nacional o internacional) o libro. Para tal fin, el autor y coautores deberán firmar la carta de autoría, donde declaran que su trabajo no ha sido publicado o enviado para su publicación simultáneamente en otra revista; además, en dicho documento señalarán estar de acuerdo en aceptar las normas y procedimientos establecidos por el Consejo Editorial Internacional de la *Revista*

*TECNOCENCIA Chihuahua*, especificando el nombre del investigador a quien se dirigirá toda correspondencia oficial (autor de correspondencia). Se aceptan artículos en español o inglés, sin embargo, tanto el título como el resumen deberán escribirse en ambos idiomas. El contenido puede ser cualquier tema relacionado con algunas de las áreas del conocimiento definidas previamente o que a juicio del Consejo Editorial Internacional pueda ser de interés para la comunidad científica.

El Comité Editorial del área a la que se envíe el manuscrito, revisará que los resultados obtenidos sean de impacto regional, nacional o internacional. Además, prestará atención a la metodología en la que se sustenta la información y que esta sea adecuada y verificable por otros investigadores. No se aceptarán artículos basados en pruebas de rutina, o cuyos resultados experimentales se obtuvieron sin un método estadístico apropiado.

Cuando un artículo presente resultados experimentales con un alcance limitado puede recomendarse su publicación como una Nota Científica. Reconocemos que una mejora de la calidad de la revista es responsabilidad tanto del Consejo Editorial Internacional como de los autores.

## Manuscritos

Se entregarán cuatro copias impresas y una versión electrónica del manuscrito. También podrán remitirse los manuscritos a las direcciones

electrónicas de la revista que fueron mencionadas anteriormente pero la carta de presentación, firmada debidamente por los autores, deberá entregarse personalmente en las oficinas de la Dirección de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma de Chihuahua; también puede escanearse para su envío por correo electrónico o remitirse por FAX [(614) 439-1823]. Todo manuscrito deberá acompañarse con la carta de autoría firmada por todos los autores, cuyo formato es proporcionado por la revista. En la carta deberá indicarse el orden de coautoría y el nombre del autor de correspondencia con la revista, para facilitar la comunicación con el Editor en Jefe. Esta carta debe incluir datos completos de domicilio, número de fax y dirección electrónica.

### Formato

El manuscrito científico tendrá una extensión máxima de 25 cuartillas, incluyendo figuras y cuadros, sin considerar la página de presentación. Para su escritura se utilizará procesador Word 2003 o posterior, para Windows XP o versión más reciente; todo texto se preparará utilizando la fuente Arial en 12 puntos, escrito a doble espacio y numerando páginas, renglones, cuadros y figuras del documento para facilitar su evaluación. Utilizar un margen izquierdo de 3.0 cm y 2.0 cm para el resto. Se recomienda no utilizar sangría al empezar cada párrafo del manuscrito. Los manuscritos de las diferentes categorías de trabajos que se publican en la revista deberán contener los componentes que a

continuación se indican, empezando cada uno de ellos en página aparte.

- a. Página de presentación.
- b. Resumen en español (con palabras clave en español).
- c. Resumen en inglés, abstract (con palabras en inglés, keywords).
- d. Texto (capítulos y su orden).
- e. Agradecimientos (opcional).
- f. Literatura citada.

**Página de presentación.** No se numera y debe contener: a) Títulos en español e inglés, escritos en mayúsculas y minúsculas, letras negritas y centradas; b) Nombres de los autores en el orden siguiente: Nombres y apellidos de autor y coautores, uniendo con un guión el apellido paterno y materno de cada uno; incluir su afiliación institucional; c) Información completa (incluyendo teléfono, domicilio con el código postal y dirección electrónica), anotando departamento e institución a la que pertenece el autor y coautores; si el autor y coautores pertenecen a la misma institución, no es necesario numerarlos (ver ejemplo mostrado en el cuadro de texto). Como una norma general, el Editor en Jefe se dirigirá solamente al autor de correspondencia mencionado en la carta de autoría y no se proporcionará información alguna a otra persona que lo solicite.

**Cuadro 1.** Ejemplo de una página de presentación de un manuscrito científico que incluye títulos, autores y coautores, así como nombre de institución de adscripción y datos generales para propósitos de comunicación.

---

## Análisis de áreas deforestadas en la región centro-norte de la Sierra Madre Occidental de Chihuahua, México

Deforest analysis areas in the north central region of the Sierra Madre  
Occidental of Chihuahua, Mexico

Carmelo Pinedo-Álvarez<sup>1,3</sup>, Rey Manuel Quintana-Martínez<sup>1</sup>  
y Martín Martínez Salvador<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua. Periférico Francisco R. Almada, Km 1 de la Carretera Chihuahua-Cuauhtémoc. Chihuahua, Chih., México, 31031. Tel. (614) 434-0303.

<sup>3</sup> Campo Experimental La Campana-Madera, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Av. Homero 3744, Fracc. El Vergel. Chihuahua, Chih., México, 31100.

<sup>3</sup> Dirección electrónica del autor de correspondencia: cpinedo@uach.mx.

**Título.** Es indicador del contenido del artículo, y si está escrito apropiadamente, facilitará indexarlo. Un buen título es breve (no más de 15 palabras), descriptivo e identifica el tema y propósito del estudio; al escribir el título debe elegirse palabras de gran impacto que revele la importancia del trabajo. Es recomendable evitar el uso de palabras o frases que tienen poco impacto y que no proporcionan información relevante sobre el contenido del estudio; por ejemplo: «*Estudio de . . . ; Influencia de la . . . , Efecto del . . . ; Relación de...*», entre otros.

**Resumen en español.** Al leer un resumen, el investigador puede reconocer el valor del contenido del escrito científico y decidir si lo revisa todo; por lo tanto, el resumen proporciona valiosa información del estudio facilita al lector decidir si lee todo el escrito. En la segunda página se debe incluir un resumen que no exceda 250 palabras. Aquí se indicarán la justificación y objetivos del estudio; una breve descripción de la metodología empleada; una descripción de los resultados más relevantes y presentar datos numéricos importantes (ejemplo: *se observó un incremento de 15 % en el rendimiento con la densidad de 60,000 plantas por ha*), y de ser posible, enfatizar el significado estadístico y escribir la conclusión general del trabajo.

**Palabras clave.** Después del resumen, en punto y aparte, escribir alfabéticamente de 4 a 6 palabras o frases cortas clave diferentes a las del título, que ayuden a indexar y clasificar el trabajo de acuerdo a su contenido. Las palabras se publicarán junto con el resumen. Los nombres de especies biológicas se escriben al principio de esta sección.

**Resumen en inglés (abstract).** Debe ser una traducción exacta del resumen en español, para ello es conveniente que los autores busquen la asesoría de profesionales de las ciencias que dominen el idioma inglés.

**Palabras clave en inglés (keywords).** Son las mismas palabras indicadas para el resumen en español que deberán ser traducidas al idioma inglés con la asesoría de un científico o técnico experto en la lengua.

**Texto (capítulos y su orden).** Existen diferencias en cuanto al contenido y estructura de cada una de las categorías de escritos científicos, que son

publicados en la revista. Las normas específicas para cada categoría son descritas enseguida, y para aquellos escritos recibidos que no se ajusten a estos formatos, el Consejo Editorial decidirá si pueden enviarse para su revisión al Comité Editorial del área correspondiente.

## 1. Artículo científico

Trabajo completo y original, de carácter científico o tecnológico, cuyos resultados se obtuvieron de investigaciones conducidas por los autores en alguna de las seis áreas del conocimiento citadas inicialmente. El manuscrito científico se divide en los capítulos siguientes:

- Resumen y abstract
- Introducción
- Materiales y métodos
- Resultados y discusión
- Conclusiones
- Agradecimientos
- Literatura citada

### Resumen y abstract

En una sección previa fueron descritas las normas editoriales para elaborar este elemento del escrito científico.

### Introducción

- a) Es importante resaltar el *tema* que trata la investigación. Se recomienda iniciar esta sección redactando una o dos oraciones de carácter universal, que sirva al investigador como argumento científico al describir su trabajo. A continuación se cita un artículo, cuyo título es: «Olor penetrante y azúcares de cultivares de cebolla de días cortos afectados por nutrición azufrada»; los autores empiezan con las oraciones siguientes:

«El sabor en la cebolla (*Allium cepa*) depende de hasta 80 compuestos azufrados, característicos del género *Allium*, además de varios carbohidratos solubles en agua. La intensidad del sabor es determinada por el genotipo de la variedad de cebolla y el ambiente en que se cultiva».

- b) También debe incluirse la *información previa y publicada* sobre el tema del estudio (*antecedentes*). Para orientar al lector es suficiente incluir referencias bibliográficas relevantes y recientes, en lugar de una revisión extensa de citas a trabajos viejos y de poca importancia sobre el tópico investigado. A continuación se presenta un ejemplo de cómo presentar cronológicamente las citas bibliográficas:

«La existencia de variación genética dentro de los cultivares de cebolla ha sido demostrada para intensidad de sabor y contenido total de azúcares (Darbyshire y Henry, 1979; Bajaj *et al.*, 1980; Randle, 1992b).

- c) *Problema a resolver*. Con una o dos oraciones especificar el problema abordado, justificar la realización del estudio, o bien, enunciar la hipótesis planteada por el investigador y cuya validez será probada por el experimento. Siguiendo con el ejemplo anterior, se presenta una breve descripción del problema estudiado:

«Se requiere un mayor conocimiento sobre características deseables, como el sabor intenso y contenido de carbohidratos solubles de la cebolla, que son afectadas por la interacción cultivar x niveles de fertilización azufrada»

- d) *Definición de los objetivos del estudio*. Aquí se enuncia brevemente hacia donde se dirige la investigación, es decir, se describe la manera o el medio a través del cual se pretende examinar el problema definido o la pregunta planteada por el investigador. Esta parte de la introducción permitirá al lector ver si las conclusiones presentadas por el investigador son congruentes con los objetivos planteados al inicio del trabajo. Ejemplo:

«Los objetivos de esta investigación fueron: **Evaluar cultivares** de cebolla de fotoperiodo corto, caracterizadas por su poco sabor y bajo contenido de carbohidratos solubles en agua, con niveles bajos y altos de azufre y **determinar la asociación** de dichas características con la fertilización».

## Materiales y métodos

Debe responder a las preguntas: ¿Dónde? ¿Cuándo? ¿Cómo se hizo el trabajo? Puede incluir cuadros y figuras. El autor debe proporcionar información concisa, clara y completa, para que las técnicas y/o los procedimientos descritos así como las condiciones bajo las cuales se llevó a cabo el estudio, puedan ser repetibles por otros investigadores competentes en el área (lugar, ciclo o etapa biológica, manejo del material biológico, condiciones ambientales, etc.).

Si un procedimiento es ampliamente conocido basta con citar a su(s) autor(es); sin embargo, cuando el método seguido ha sido modificado, debe proporcionarse detalles suficientes del mismo así como de un diseño experimental inusual o de los métodos estadísticos aplicados para el análisis de los resultados (arreglo de tratamientos, diseño experimental, tamaño de la unidad experimental, variables de respuesta, proceso de muestreo para obtener los datos, análisis estadístico de los datos, técnica de comparación de medias, etc.). Es recomendable dar una descripción cronológica del experimento y de los pasos de la metodología aplicada.

Al describir los materiales, deben señalarse especificaciones técnicas, cantidades, fuentes y propiedades de los materiales indicando nombre y dirección del fabricante. Para el caso de material biológico, dar información suficiente de las características particulares de los organismos (edad, peso, sexo, etapa fenológica, etc.); es importante también identificar con precisión el género, especie y nombre del cultivar o raza utilizado en el estudio. Si se trata de material no vivo, por ejemplo suelo cultivado, proporcionar los datos taxonómicos para facilitar su identificación.

## Resultados y discusión

Los resultados derivados del estudio se distinguen porque: son presentados en forma de cuadros y figuras, analizados estadísticamente e interpretados, bajo la luz de la hipótesis planteada antes de iniciar la investigación. Es recomendable que el autor incluya un número óptimo de cuadros y figuras de buena calidad, que sean absolutamente necesarios y que sirvan como fundamento para mejorar la comprensión de los resultados y darle soporte a la hipótesis sometida a prueba.

Cada cuadro y figura debe numerarse; su título debe ser claro y descriptivo; los símbolos y abreviaturas incluidos deben ser explicados apropiadamente. Los cuadros y figuras elaborados a partir de los *resultados* deben ser explicativos por sí mismos; los comentarios que se hagan deben resaltar características especiales tales como: Relaciones lineales o no lineales entre variables, una cantidad estadísticamente superior a otra, tendencias, valores óptimos, etc. En síntesis responde a la pregunta ¿qué ocurrió?

En la sección de *discusión* los datos presentados en forma de cuadros y figuras son interpretados enfocando la atención hacia el problema (o pregunta planteada) definido en la introducción, buscando demostrar la validez de la hipótesis elaborada por el investigador. Una buena discusión puede contener:

- a) Principios, asociaciones y generalizaciones basadas en los resultados.
- b) Excepciones, variables correlacionadas o no y definición de aspectos del problema no citados previamente pero que requieren ser investigados.
- c) Énfasis sobre resultados que están de acuerdo con otro trabajo (o lo contradicen).
- d) Implicaciones teóricas o prácticas.

Cuando la discusión se presenta en una sección separada no debe escribirse como una recapitulación de los resultados, pero debe centrarse en explicar el significado de ellos y explicar como proporcionan una solución al problema abordado durante el estudio. Cuando se comparan los resultados del presente estudio con otros trabajos, ya sea que coincidan o estén en desacuerdo con ellos, deben citarse las referencias más pertinentes y recientes.

### Conclusiones

Es aceptable escribir en una sección separada una o varias conclusiones breves, claras y concisas, que se desprenden de los resultados de la investigación y que sean una aportación muy concreta al campo del conocimiento donde se ubica el estudio. No se numeran las conclusiones y al redactarlas debe mantenerse la congruencia con los objetivos del trabajo y el contenido del resumen.

### Agradecimientos

En este apartado, se puede dar el crédito a personas o instituciones que apoyaron, financiaron o contribuyeron de alguna manera a la realización del trabajo. No se debe mencionar el papel de los coautores en este apartado.

### Literatura citada

Incluye la lista de referencias bibliográficas citadas en el manuscrito científico, ordenadas alfabéticamente y elaborada conforme a las reglas siguientes:

1. Es recomendable que las referencias bibliográficas obtenidas sean preferentemente de: *Artículos científicos* de revistas periódicas indexadas, *capítulos o libros y manuscritos en extenso* (4 o más cuartillas) publicados en memorias de congresos científicos.
2. Al escribir una referencia empezar con el apellido paterno (donde sea costumbre agregar enseguida el apellido materno separado por un guión) del autor principal y luego las iniciales de su(s) nombre(s). Enseguida escriba la inicial del nombre del segundo autor y su primer apellido. Continuar así con el tercero y siguientes autores separando sus nombres con una coma y una y entre el penúltimo y último autor.
3. Colocar primero las referencias donde un autor es único y enseguida donde aparece como autor principal. En estos casos el orden de las citas se establece tomando como base el apellido del primer coautor que sea diferente.
4. En las citas donde el(los) autor(es) sea(n) los mismos, se ordenarán cronológicamente; se utilizarán letras en referencias de los mismos autores y que fueron publicadas en el mismo año (2004a, 2004b, 2004c, etc.).
5. Títulos de artículos y de capítulos de libros se escribirán con minúsculas (excepto la primera letra del título y nombres propios). Los títulos de libros llevan mayúsculas en todas las palabras excepto en las preposiciones y artículos gramaticales.

Cada uno de los tipos de referencias bibliográficas y las reglas para citarlas se ilustran con ejemplos enseguida:

### Artículos científicos de revistas periódicas

- Gamiely, S., W. M. Randle, H. A. Mills, and D. A. 1991. Onion plant growth, bulb quality, and water uptake following ammonium and nitrate nutrition. *HortScience* 26(9):1061-1063.
- Randle, W. M. 1992a. Sulfur nutrition affects nonstructural water-soluble carbohydrates in onion germplasm. *HortScience* 27(1):52-55.
- Randle, W. M. 1992b. Onion germplasm interacts with sulfur fertility for plant sulfur utilization and bulb pungency. *Euphytica* 59(2):151-156.

### Capítulos de libros

- Darbyshire, B. and B. T. Steer. 1990. Carbohydrate biochemistry. In: H.D. Rabinowitch and J.L. Brewster (eds.). *Onions and allied crops. Vol. 3. CRC Press, Boca Raton, Fla. p. 1-6*

### Libros

- Steel, R. G. D. and J. H. Torrie. 1960. Principles and Procedure of Statistics: A Biometrical Approach. McGraw-Hill Book Company Inc. New York. 481 p.

### Memorias de Congresos Científicos

- Mata, R. J., F. Rodríguez y J. L. Pérez. 2005. Evaluación de aditivos fertilizantes: raíz-set LSS (producto comercial) y root N-Hancer (producto experimental) en la producción de ajo (*Allium sativum* L.) y cebolla (*Allium cepa* L.) en Chapingo, México. In: Memoria de artículos en resumen y en extenso, XI Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas (SOMECH). 27-29 de septiembre de 2005. Chihuahua, Chih., México. p.134.

### Boletín, informe, publicación especial

- Hoagland, D. R. and D. I. Arnon. 1980. The water culture method for growing plants without soil. Calif. Agr. Exp. Sta. Circ. 347. 50 p.
- Alvarado, J. 1995. Redacción y preparación del artículo científico. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Publicación Especial 2. 150 p.
- US Environmental Protection Agency (USEPA). 1981. Process design manual for land treatment

of municipal wastewater. USEPA Rep. 625/1-77-008 (COE EM1110-1-501). U.S. Gov. Print. Office, Washington, D.C. 60 p.

## 2. Nota científica

Son de menor extensión que un artículo (máximo 10 cuartillas a doble espacio, incluyendo cuadros y figuras). Pueden incluirse:

- a) Descubrimientos o aportaciones breves, obtenidas de un estudio reciente de carácter local o limitado;
- b) el producto de modificaciones o mejoramiento de técnicas, procedimientos experimentales, análisis estadísticos, aparato o instrumental (de laboratorio, invernadero o campo);
- c) informes de casos clínicos de interés especial;
- d) resultados preliminares, pero importantes y novedosos, de investigaciones en desarrollo, o bien,
- e) desarrollo y aplicación de modelos originales (matemáticos o de cómputo) y todos aquellos resultados de investigación que a juicio de los editores merezcan ser publicados.

Como en el caso de un artículo extenso, la nota científica debe contener: a) *título* (español e inglés), b) *autor(es)*, c) *institución de adscripción del autor(es)*, d) *resumen* (en español e inglés), e) *palabras clave* (español e inglés). El *texto* de una nota científica contendrá también la misma información señalada para un artículo extenso: f) *introducción*, g) *materiales y métodos*, h) *resultados y discusión* y i) *conclusiones*; sin embargo, su redacción será corrida de principio a final del trabajo; esto no quiere decir que sólo se supriman los subtítulos, sino que se redacte en forma continua y coherente. La nota científica también incluye el inciso k) *bibliografía*.

## 3. Ensayo científico

Manuscrito de carácter científico, filosófico o literario, que contiene una contribución crítica, analítica y solidamente documentada sobre un tema específico y de actualidad. Se caracteriza por ser una aportación novedosa, inédita y expresa la opinión del(os) autor(es) así como conclusiones bien

sustentadas. Su extensión máxima es de 20 cuartillas a doble espacio (incluyendo cuadros y figuras).

La estructura del ensayo contiene los incisos siguientes: a) *Títulos* (español e inglés), b) *autor(es)*, c) *Institución de adscripción*, d) *resumen* (español e inglés), e) *palabras clave* (español e inglés), f) *introducción*, g) *desarrollo del tema*, g) *conclusiones* y h) *bibliografía*. El tópico es analizado y discutido bajo el apartado *Desarrollo del tema*.

#### 4. Revisión bibliográfica

Consiste en el tratamiento y exposición de un tema o tópico relevante y de actualidad. Su finalidad es la de resumir, analizar y discutir, así como poner a disposición del lector información ya publicada sobre un tema específico. Ya sea que la revisión temática sea solicitada por el Consejo Editorial a personas expertas o bien que el manuscrito sea presentado por un profesional experimentado, debe resaltarse la importancia y significado de hallazgos recientes del tema. El texto contiene los mismos capítulos de un ensayo, aunque en el capítulo *desarrollo del tema* es recomendable el uso de encabezados para separar las diferentes secciones o temas afines en que se divide la revisión bibliográfica; además, se sugiere el uso de cuadros y figuras para una mayor comprensión del contenido.

#### Preparación de cuadros y figuras

Se recomienda insertar los cuadros y figuras, numerados progresivamente, en el lugar correspondiente del texto. Los cuadros y gráficas deberán dejarse como objetos editables (no como imágenes insertadas), con el propósito de modificarlos en caso de ser requerido. Los títulos de los cuadros y/o figuras se escriben en letra Arial, negritas y 12 puntos. En los títulos, el uso de las letras mayúsculas se limita a la primera letra y nombres propios.

#### Cuadros

Los cuadros con los resultados se presentan en tablas construidas preferentemente con tres o cuatro líneas horizontales; las dos primeras sirven para separar los encabezados, mientras que la(s) última(s), para cerrar la tabla. Las líneas verticales

se usan también para distinguir columnas de datos. A continuación se presenta un ejemplo de cuadros con información estadística:

#### Figuras

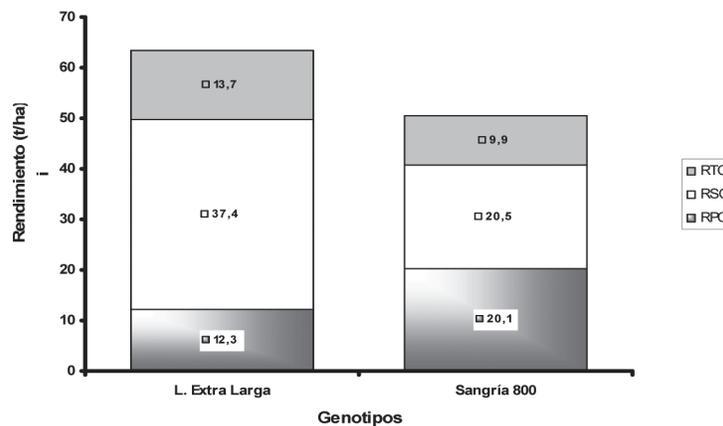
En las figuras no se debe duplicar la información presentada en los cuadros o viceversa. Se recomienda el uso de medidas de acuerdo al Sistema Métrico Decimal y las abreviaturas utilizadas deberán apegarse a las recomendaciones que aparecen en la tabla que se anexa al presente documento.

Siempre que se incluyan figuras de línea o de otro tipo deben utilizarse símbolos bien definidos para evitar confusiones. Si se usan gráficas del tipo de barras o pastel, los rellenos deben ser contrastantes. En lo posible, las fotografías e imágenes incluidas en el manuscrito deben ser en blanco y negro, en formato *tifó.jpg* con 300 puntos de resolución y el archivo original por separado.

**Cuadro 1.** Análisis de varianza de la variable Peso de flor fresca en Golden Delicius

Fuente de variación	Grados de libertad	Sumas de cuadrados	Cuadrado medio	F calculada	Significancia $P_r > F_t$
Colector	3	4306.25	1435.42	2.68	0.1099
Día	3	214118.75	71372.92	133.30	0.0001
Error	9	4818.75	535.42	-	-
Total	15	223243.75	Desv. Estándar =	23.14	
Estimadores	CV (%)	10.9	Media =	211.9	

**Figura 1.** Rendimiento de tres cortes en dos genotipos de sandía (Janos, Chih., UACH-2005)



**Cuadro 2.** Unidades de medición y abreviaturas de uso frecuente

Unidades	Abreviatura	Unidades	Abreviatura
cal	Caloría(s)	ml	Mililitro (s)
cm	Centímetro(s)	mm	Milímetro (s)
°C	Grado centígrado(s)	min	Minuto (s)
DL <sub>50</sub>	Dosis letal 50%	ng	Nanogramo (s)
g	Gramo(s)	P	Probabilidad (estadística)
ha	Hectárea(s)	p	Página
h	Hora (s)	PC	Proteína cruda
i. m.	Intramuscular (mente)	PCR	Reacción en cadena de la polimerasa
i. v.	Intravenosa (mente)	pp	Páginas
J	Joule(s)	ppm	Partes por millón
kg	Kilogramo(s)	%	Por ciento (con número)
km	Kilómetro(s)	rpm	Revoluciones por minuto
l	Litro(s)	seg	Segundo (s)
log	Logaritmo decimal	t	Tonelada (s)
Mcal	Megacaloría(s)	TND	Total de nutrientes digestibles
MJ	Megajoule(s)	UA	Unidad animal
M	Metro(s)	UI	Unidades internacionales
msnm	Metros sobre el nivel del mar	vs	Versus
µg	Microgramo(s)	xg	Gravedades
µl	Microlitro(s)	km.h <sup>-1</sup>	Kilómetro por hora
µm	Micrómetro(s) ó micra(s)	t.ha <sup>-1</sup>	Tonelada por hectárea
mg	Miligramo(s)	µg. ml	Microgramos por mililitro

Cualquier otra abreviatura se pondrá entre paréntesis inmediatamente después de la(s) palabra(s) completa(s).

Los nombres científicos y otras locuciones latinas se deben escribir en cursivas, como se indica

en los ejemplos siguientes: Durazno (*Prunus persica* L. Batsch), Tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.), Hongo fitopatógeno (*Pythium aphanidermatum* Edson), Palomilla de la manzana (*Cydia pomonella* L.), en laboratorio *in vitro*, sin restricción *ad libitum*. 

#### OBJETIVO DEL PROGRAMA

Formación integral del recurso humano en actividades de generación, validación y/o transferencia del conocimiento, que den respuesta a la problemática de los sistemas de producción animal, el uso sustentable y el aprovechamiento de los recursos naturales en México.

#### LÍNEAS DE GENERACIÓN Y APLICACIÓN DE CONOCIMIENTO

- Monitoreo y evaluación de los recursos naturales.
- Sistemas de alimentación animal, microbiología gastrointestinal y fisiología digestiva.
- Biotecnologías reproductivas y esquemas de conservación y mejoramiento genético.
- Control de calidad y aseguramiento de los productos de origen animal.

#### PERFIL DE EGRESO

El Doctor in Philosophia es un especialista del más alto nivel académico, con sentido ético y compromiso social, que posee e integra conocimientos, habilidades y actitudes para desempeñarse eficientemente y de manera efectiva en actividades de investigación científica, aplicación, difusión y transferencia de conocimientos para la solución integral de los problemas más complejos de la industria pecuaria nacional y de los recursos naturales.

#### En general cuenta con dominios de competencias para:

- La identificación de problemas relevantes
- La síntesis y comunicación efectiva del conocimiento
- El desarrollo independiente de investigación
- El diseño, aplicación y evaluación de estrategias basadas en el conocimiento para la solución de problemas en su área de especialidad
- La generación y análisis de información pertinente
- La colaboración para el trabajo en equipos disciplinarios y multidisciplinarios
- La implementación de dinámicas grupales para la identificación de problemas relevantes y la propuesta de acciones estratégicas de solución
- La comunicación efectiva de contenidos significativos en ambientes formales de enseñanza-aprendizaje, tanto presencial como virtual
- La gestión de la investigación y el desarrollo tecnológico

#### De acuerdo con su área de especialidad cuenta con dominios para:

- El diseño y evaluación de planes de uso sustentable, monitoreo y conservación de recursos naturales
- El desarrollo de planes de manejo sustentable de los pastizales para la producción animal y su aprovechamiento integral
- El desarrollo de procesos y productos biotecnológicos aplicables a la alimentación y manejo nutricional del ganado
- El desarrollo y complementación de modelos que fundamentan la fisiología digestiva y el metabolismo en los animales bajo diferentes condiciones del entorno
- El estudio de las interacciones de la nutrición con la reproducción, la salud y la calidad de los productos y su relación con la respuesta biológica del animal y la eficiencia en la producción
- El desarrollo y complementación de modelos que fundamentan los procesos reproductivos de los animales bajo diferentes condiciones del entorno
- El diseño y evaluación holística de esquemas innovadores de mejora y conservación de recursos genéticos animales bajo condiciones de sustentabilidad y la incorporación de tecnologías apropiadas
- La variación y adaptación de procesos tecnológicos para prevenir y solucionar problemas de calidad e inocuidad en las industrias cárnica y láctea e innovar productos que contribuyan a la salud del consumidor



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA  
Facultad de Zootecnia y Ecología

PROGRAMA DE:

# DOCTORADO



mail:

ahchavez@uach.mx  
pmanillas@uach.mx  
dplascencia@uach.mx

Tel: (614) 434-0303 y 434-1448

www.fz.uach.mx

www.posgrado.fz.ue.uach.mx



## DOCTORADO

### Requisitos de ingreso

#### Primera fase

Poseer título o acta de examen profesional del grado anterior. Promedio mínimo de 8.0 en estudios anteriores. Presentación del EXANI III de CENEVAL (mínimo 1000 puntos).

Acreditar 450 puntos del TOEFL o el nivel correspondiente del Centro de Aprendizaje de Idiomas de la Universidad Autónoma de Chihuahua.

#### Segunda fase

Presentar examen de conocimiento que aplica la Secretaría de Investigación y Posgrado. Realizar entrevista con el Comité de Admisión

#### PLAN DE ESTUDIO

##### CURSOS BÁSICOS (mínimo 4 créditos)

Bioquímica Avanzada  
Biología Celular Avanzada  
Relación Planta-Ambiente  
Análisis Bioeconómico de los Sistemas de Producción  
Optativa

##### CURSOS ESTADÍSTICA (mínimo 8 créditos)

Diseño de Experimentos II  
Métodos No Paramétricos  
Modelos Lineales  
Análisis de Datos Categóricos  
Regresión No Lineal  
Técnicas Multivariadas  
Series de tiempo  
Bioinformática II  
Modelado y Simulación

##### CURSOS FORMATIVOS (mínimo 12 créditos más tesis)

Seminario Doctoral  
Temas Especiales de Investigación  
Proyectos Especiales de Investigación  
Tópico Doctoral  
Escritura de Documentos Científicos  
Seminario Departamental  
Seminario de Lengua Extranjera  
Disertación Doctoral (30 créditos)  
Estancia de Investigación



## ÁREA DE ESPECIALIZACIÓN

(Mínimo 12 créditos)

#### RECURSOS NATURALES

Introducción a la Modelación Ambiental Compleja  
Geomática en Recursos Naturales  
Tópicos de Manejo de Pastizales  
Tópicos en Ecología de Recursos Naturales  
Avances en Manejo de Pastizales  
Avances en Manejo de Recursos Naturales  
Evaluación de Impacto Ambiental en Recursos Naturales  
Ecología Microbiana

#### NUTRICIÓN ANIMAL

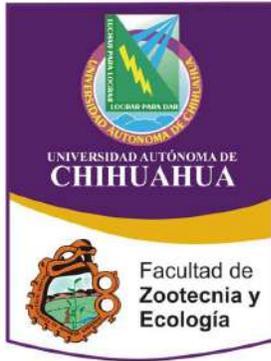
Fisiología Digestiva  
Los Minerales en Nutrición Animal  
Las Vitaminas en Nutrición Animal  
Metabolismo de las Proteínas  
Microbiología Gastrointestinal  
Bioenergética  
Tópicos en Biotecnología Nutricional  
Modelado Matemático en Nutrición Animal

#### REPRODUCCIÓN Y GENÉTICA ANIMAL

Fisiología y Endocrinología de la Reproducción Avanzada  
Embriogénesis  
Perinatología  
Genética Cuantitativa  
Metodologías para la Genética Cuantitativa  
Aplicaciones de la Biotecnología en el Mejoramiento Genético

#### TECNOLOGÍA DE PRODUCTOS DE ORIGEN ANIMAL

Procesamiento y Preservación de la Carne II  
Diseño de Rastros, Empacadoras y Plantas de Procesado  
Análisis Especiales de la Carne  
Tópicos Avanzados en Ciencias de la Carne  
Procesamiento y Preservación de la Leche II  
Análisis Especiales de la Leche  
Tópicos Avanzados en Ciencias de la Leche I



# Universidad Autónoma de Chihuahua Facultad de Zootecnia y Ecología

PROGRAMA DE:

## MAESTRÍA EN ECOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

### MAESTRÍA EN ECOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

#### Requisitos de ingreso

##### Primera fase

- Poseer Título o acta de Examen Profesional de nivel Licenciatura en área afín.
- Promedio mínimo de 8.0 en estudios anteriores.
- Presentación del EXANI III de CENEVAL y obtener un puntaje mínimo de 1000.
- Acreditar 400 puntos del TOEFL o el nivel correspondiente del Centro de Aprendizaje de Idiomas de la Universidad Autónoma de Chihuahua.

##### Segunda fase

- Presentar y aprobar el examen de conocimientos que aplica la Secretaría de Investigación y Posgrado.
- Realizar entrevista con el Comité de Admisión.

#### PLAN DE ESTUDIO

#### CURSOS BÁSICOS

##### PRIMER SEMESTRE

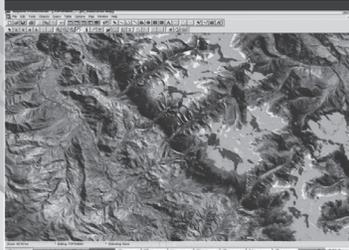
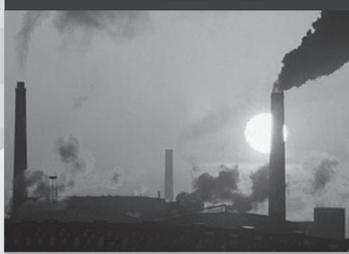
- Técnicas Estadísticas
- Legislación Ambiental
- Recursos Bióticos y Abióticos

##### SEGUNDO SEMESTRE

- Manejo de Recursos para la Sustentabilidad
- Economía Ambiental
- Contaminación Ambiental

#### ACTIVIDAD EXTRACURRICULAR

- SEMINARIO
- TESINA I



### CURSOS POR ÁREA DE ESPECIALIZACIÓN

#### TERCERO Y CUARTO SEMESTRE

##### EDUCACIÓN AMBIENTAL

- Ecología Social
- Educación para la Sustentabilidad
- Desarrollo de Programas en Educación y - Extensión para la Sustentabilidad
- Salud Y Medio Ambiente
- Innovación Tecnológica en el Manejo de Residuos
- Comunicación Ambiental

##### IMPACTO AMBIENTAL

- Técnicas Avanzadas de Evaluación de Riesgos e Impacto Ambiental
- Dinámica y Modelación de Cambios Ambientales
- Restauración de Ecosistemas Urbanos y Naturales
- Toxicología Ambiental
- Auditoría Ambiental
- Manifestación de Impacto Ambiental

##### ORDENAMIENTO ECOLÓGICO TERRITORIAL

- Ordenamiento Ecológico Territorial Urbano y Natural
- Manejo Integral de Cuencas Hidrológicas
- Geomática I
- Planeación Territorial
- Arquitectura del Paisaje Urbano
- Problemas Especiales de Geomática

#### ACTIVIDAD EXTRACURRICULAR

- TESINA II y III



**2010-2016**