

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

CIENCIAS AGROPECUARIAS, CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS, CIENCIAS DE LA SALUD,
INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS, CIENCIAS ECONÓMICAS, CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES

AÑO 22
MAYO-AGOSTO 2014

62

EDICIÓN CUATRIMESTRAL
ISSN: 1665-4412



- Remoción de plomo en solución acuosa por la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)
- Características fisicoquímicas y microbiológicas de suero de leche de queso Chihuahua
- Medición de la profundidad de flujo de calor y difusividad térmica en suelos con texturas diferentes por dos métodos de análisis
- Tecnologías de la información, orientación a mercado y desempeño organizacional
- Establecimiento de plantas beneficiadoras de frijol negro en Zacatecas: un estudio sobre ubicación óptima de instalaciones
- ¿Es óptimo el uso de los factores productivos en México? Una respuesta a través del análisis de fronteras estocásticas
- Análisis comparativo: entrevista realista de selección, satisfacción en el trabajo e intención de permanencia
- Micorriza arbuscular como alternativa en la producción de sorgo en Tamaulipas, México
- Situación actual de los sistemas de producción de granos de maíz en Tamaulipas, México
- Programa de manejo, conservación y mejoramiento de maíz nativo de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas
- José Ángel Canavati Ayub. *In memoriam*
- Farmacología general. Tercera edición. Reseña



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

Dirección General de Investigación y Posgrado
Departamento de Apoyo a la Investigación

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES, año 22, número 62, periodo mayo-agosto 2014, es una publicación periódica, cuatrimestral, multidisciplinaria, editada y distribuida por la Dirección General de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, Av. Universidad No. 940, Ciudad Universitaria, C.P. 20131, Aguascalientes, Ags., Tel./Fax. 449 910-74-42, www.uaa.mx/investigacion/revista, revistaiyc@correo.uaa.mx. Editor responsable: Rosa del Carmen Zapata. Número de Certificado de Reserva otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor: 04-2002-042412342500-102, ISSN: 1665-4412. Número de Certificado de Licitud de Título: 12284, Número de Certificado de Licitud de Contenido: 8497, ambos otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Registro Postal en SEPOMEX No. PP01-0003. Diseñada e impresa en el Departamento de Procesos Gráficos de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, Av. Universidad No. 940, Ciudad Universitaria, C.P. 20131, Aguascalientes, Ags. Este número se terminó de imprimir el 31 de agosto de 2014 con un tiraje de 1,000 ejemplares. Precio por ejemplar \$60.00 (pesos). Costo por suscripción anual \$160.00 (pesos).

Los artículos firmados son responsabilidad de su autor y no reflejan necesariamente el criterio de la institución, a menos que se especifique lo contrario.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma de Aguascalientes.

La revista *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes* está citada en los siguientes:

ÍNDICES:

Índice de Revistas Mexicanas de Divulgación Científica y Tecnológica del CONACYT,

<http://www.conacyt.gob.mx>

Índice Internacional, "Actualidad Iberoamericana" ISSN 0717-3636. Centro de Información Tecnológica-CII, La Serrana, Chile. <http://www.citchile.cl>

IRESIE (Índice de Revistas de Educación Superior e Investigación Educativa), <http://iresie.unam.mx>

LATINDEX (Sistema Regional de Información en línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal), <http://www.latindex.org>

PERIÓDICA (Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias), <http://www.dgb.unam.mx/periodica.html>

REDALYC (Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal), <http://www.redalyc.org>

BASES DE DATOS:

DIALNET (Hemeroteca de artículos científicos hispanos en internet), <http://dialnet.uniroja.es>

DOAJ (Directory of Open Access Journals), <http://www.doaj.org>

HELA (Catálogo de Hemeroteca Latinoamericana), <http://www.dgb.unam.mx/hela.html>

ULRICH'S Periodicals Directory, <http://ulrichsweb.serialssolutions.com>

INFORME ACADÉMICO, www.gale-la.com/galeiberoweb/products/db/informe-academico.php



**ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS
DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA**

FOTOGRAFÍAS DE PORTADA:

- Instalación de termopares para medir temperatura del suelo en la superficie hasta 8 cm de profundidad.
- Desuerado o sinéresis en la elaboración de queso Chihuahua.
- Niveles de eficiencia técnica del año 2008.
- Sorgo cultivado en condiciones de temporal en San Fernando, Tamaulipas.
- Centro de Gestión del Conocimiento de la UAT.
- Planta beneficiadora de frijol en Zacatecas.
- Diversidad de sistemas de producción de maíz y germoplasma en diferentes regiones agrícolas de Tamaulipas.

DIRECTORIO

M. en Admón. Mario Andrade Cervantes
Rector

Dr. en C. Francisco Javier Avelar González
Secretario General

Dra. Guadalupe Ruiz Cuéllar
Directora General de Investigación y Posgrado

M. en C. Gabriel Ernesto Pallás Guzmán
Decano del Centro de Ciencias Agropecuarias

M. en C. José de Jesús Ruiz Gallegos
Decano del Centro de Ciencias Básicas

M. en C. Luis Enrique Arámbula Miranda
Decano del Centro de Ciencias de la Ingeniería

Dr. Raúl Franco Díaz de León
Decano del Centro de Ciencias de la Salud

Dr. Mario Eduardo Zermeño de León
Decano del Centro de Ciencias del Diseño y de la Construcción

Dra. Sandra Yesenia Pinzón Castro
Decana del Centro de Ciencias Económicas y Administrativas

M.I. José Jorge Saavedra González
Decano del Centro de Ciencias Empresariales

Dr. Daniel Eudave Muñoz
Decano del Centro de Ciencias Sociales y Humanidades

M. en RSM José Luis García Ruvalcaba
Decano del Centro de las Artes y la Cultura

CONSEJO EDITORIAL

- Dr. Francisco Cervantes Pérez
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO
- Dr. Alfredo Fera Velasco
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
- Dr. Luis Miguel García Segura
INSTITUTO CAJAL
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
MADRID, ESPAÑA
- Dr. Frank Marcano Requena
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO
- Dr. Javier de Felipe Oroquieta
INSTITUTO CAJAL
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
MADRID, ESPAÑA
- Dr. Philippe Poujeol
UNIVERSIDAD DE NIZA-SOPHIA, ANTIPOLIS FRANCESA
LABORATORIO DE FISIOLÓGIA CELULAR Y MOLECULAR
- Dr. José Luis Reyes Sánchez
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL IPN
DEPTO. DE FISIOLÓGIA, BIOFÍSICA Y NEUROCIENCIAS

COMITÉ EDITORIAL

- Dr. Jaime Raúl Bonilla Barbosa
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS
CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
 - Dr. Juan Carlos A. Jáuregui Correa
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
 - Dra. Edith R. Jiménez Huerta
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS ECONÓMICO
ADMINISTRATIVAS
 - Dra. María J. Rodríguez-Shadow
INSTITUTO NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA
DIRECCIÓN DE ETNOLOGÍA Y ANTROPOLOGÍA SOCIAL
 - Dr. Óscar Alejandro Viramontes Olivas
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA
CENTRO DE INVESTIGACIÓN SOCIAL Y ADMINISTRATIVO
Y SUSTENTABLE
 - Dra. Mineko Shibayama
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INFECTÓMICA Y PATOGÉNESIS MOLECULAR
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS
-
- Mtra. Rosa del Carmen Zapata
DEPARTAMENTO DE APOYO A LA INVESTIGACIÓN
Editor
 - Lic. Sandra Margarita Ruiz Guerra
Asistente
 - Lic. Mónica Ávalos Valladares
Corrector de estilo
 - Mtra. Pia María White
Corrector de estilo idioma Inglés
 - DEPARTAMENTO DE PROCESOS GRÁFICOS
Armado e impresión

CONTENIDO

INVESTIGACIÓN

Pág.

CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS

- **Remoción de plomo en solución acuosa por la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)** 5-10
*Lead removal in aqueous solution using orange peel (*Citrus sinensis*)*
Marusia Rentería Villalobos
Leonela Ramírez Marfil
Nelson Aguilar Palma
Héctor Rubio Arias
Carmelo Pinedo Álvarez
Cristina Vélez Sánchez Verín
- **Características fisicoquímicas y microbiológicas de suero de leche de queso Chihuahua** 11-16
Physicochemical and microbiological characteristics of Chihuahua cheese whey
Pedro Paredes Montoya
América Chávez Martínez
José Carlos Rodríguez Figueroa
Nelson Aguilar Palma
Ana Luisa Rentería Monterrubio
Gabriela Rodríguez Hernández
- **Medición de la profundidad de flujo de calor y difusividad térmica en suelos con texturas diferentes por dos métodos de análisis** 17-25
Depth measuring heat flux and thermal diffusivity in soils with different texture by two analysis method
Armando López Santos
Alejandro Zermeño González
José Luis González Barrios
Guillermo González Cervantes
Martín Cadena Zapata
Santos Gabriel Campos Magaña

CIENCIAS ECONÓMICAS, SOCIALES Y HUMANIDADES

- **Tecnologías de la información, orientación a mercado y desempeño organizacional** 26-32
Information technologies, market orientation and organizational performance
Carmen Berenice Ynzunza Cortés
Juan Manuel Izar Landeta
Rosalva Ávila Acosta
- **Establecimiento de plantas beneficiadoras de frijol negro en Zacatecas: un estudio sobre ubicación óptima de instalaciones** 33-41
Establishment of plants to clean and to classify black bean in the state of Zacatecas: a study on optimal location of facilities
J. Alberto García Salazar
Martha Elena Fuentes López
Eugenio Guzmán Soria
Roberto C. García Sánchez

CONTENIDO

- **¿Es óptimo el uso de los factores productivos en México? Una respuesta a través del análisis de fronteras estocásticas** 42-48
Is the use of productive factors optimal in Mexico? A response through the stochastic frontier analysis
Osvaldo U. Becerril Torres
María del Rosario Demuner Flores
- **Análisis comparativo: entrevista realista de selección, satisfacción en el trabajo e intención de permanencia** 49-55
Comparative analysis: realistic job interviews, job satisfaction and intention to stay
Sergio Manuel Madero Gómez
Ricardo Flores Zambada
Hernan Frank Littlewood Zimmerman
Antonio Castañeda Ríos
Patricia Mercado Salgado

REVISIONES CIENTÍFICAS

- **Micorriza arbuscular como alternativa en la producción de sorgo en Tamaulipas, México** 56-68
Arbuscular mycorrhizal as alternative in sorghum production in Tamaulipas, Mexico
Arturo Díaz Franco
Héctor Manuel Cortinas Escobar
Juan Valadez Gutiérrez
María de los Ángeles Peña del Río
- **Situación actual de los sistemas de producción de grano de maíz en Tamaulipas, México** 69-75
Current status of maize grain's production systems in Tamaulipas, Mexico
Zoila Reséndiz Ramírez
José Alberto López Santillán
Florencio Briones Encinia
Ma. del Carmen Mendoza Castillo
Sóstenes E. Varela Fuentes
- **Programa de manejo, conservación y mejoramiento de maíz nativo de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas** 76-83
Management, conservation, and improvement of the native maize program at the Engineering and Science Faculty in the State University of Tamaulipas
Javier González Martínez
José Alberto López Santillán
Florencio Briones Encinia
Sóstenes Edmundo Varela Fuentes
César Augusto Reyes Méndez
José Agapito Pecina Martínez

OBITUARIO

- **José Ángel Canavati Ayub. In memoriam** 84-85
Helga Fetter Nathansky
Fernando Galaz Fontes

RESEÑA

- **Farmacología general. Tercera edición. Reseña** 86-87
Leonel García Benavides

Remoción de plomo en solución acuosa por la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

Lead removal in aqueous solution using orange peel (*Citrus sinensis*)

Marusia Rentería Villalobos¹, Leonela Ramírez Marfil², Nelson Aguilar Palma³, Héctor Rubio Arias⁴, Carmelo Pinedo Álvarez¹, Cristina Vélez Sánchez Verín^{1*}

Rentería Villalobos, M., Ramírez Marfil, L., Aguilar Palma, N., Rubio Arias, H., Pinedo Álvarez, C. y Vélez Sánchez Verín, C. Remoción de plomo en solución acuosa por la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*). *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 62: 5-10, mayo-agosto 2014.

RESUMEN

Existen problemas de toxicidad asociados a acumulación de metales pesados en ecosistemas acuáticos del estado de Chihuahua. La biosorción es una tecnología de bajo costo para remover iones solubles con grupos químicos electronegativos. En este estudio se evaluó la eficiencia de remoción (RE) de Pb^{+2} soluble, utilizando cáscara de naranja desmetilada. Como tratamiento de referencia (T_1), la cáscara se lavó, secó y molió. Para desmetilar (T_2), porciones de T_1 se lavaron con NaOH 2M a pH 10. La eficiencia de remoción se evaluó en soluciones entre 0.3-0.8 ppm a pH 3.0 y tiempos de agitación de 1h, 3 h y 6 h. El Pb^{+2} remanente se midió por absorción atómica a 283 nm. T_2 mostró el máximo valor ($85.8 \pm 4.0\%$) a 0.38 ppm de Pb. La correlación de concentración y tiempos de agitación mostró

Palabras clave: sitios quelantes, materiales adsorbentes, metales pesados, desmetilación.

Keywords: sites chelating, adsorbent materials, heavy metals, demethylation.

Recibido: 12 de septiembre de 2013, aceptado: 12 de mayo de 2014

¹ Departamento de Recursos Naturales, Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua.

² Posgrado, Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua.

³ Departamento de Estadísticas, Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua.

⁴ Departamento de Recursos Naturales, Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua.

* Autor para correspondencia: crisvelsv@gmail.com

tendencias descendentes de remoción en 0.38 y 0.44 ppm después de 3 h en ambos tratamientos.

ABSTRACT

There are problems associated with toxicity and accumulation of heavy metals discharged into natural water bodies in the state of Chihuahua. Thus, Biosorption is a low-cost technology that can be applied to remove soluble ions. In this study the removal efficiency (RE) of Pb^{+2} soluble was assessed, using des-methylated orange peel. As reference process (T_1), the orange peel was washed, dried, and milled. Orange peel portions from T_1 were washed with 2M NaOH to pH 10, to obtain the demethylated process (T_2). The removal efficiency was evaluated in solutions at pH 3.0, to lead concentrations from 0.3 to 0.8 ppm and to mixing times of 1 h, 3 h and 6 h. Remaining Pb^{+2} was measured by atomic absorption. T_2 showed the highest RE value ($85.8 \pm 3.9\%$) to 0.38 ppm. The correlation of lead concentration and mixing times showed decreasing removal trends from 0.375 to 0.444 ppm after 3 h in both treatments.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la acumulación de metales pesados en los ecosistemas, agua y suelo, se ha incrementado alrededor del mundo (Doumet et al., 2008). A nivel nacional se reporta una superficie de 25,967 km² de suelo degradado por contaminación, mostrando como promedio 550 casos declarados como emergencias ambientales debido a vertidos de sustancias peligrosas de naturaleza orgánica e

inorgánica, así como más del 70% de los cuerpos de agua con algún grado de contaminación de metales pesados tales como Pb, Hg, Cd, Cr y otros compuestos derivados de actividades mineras, agropecuarias y petroquímicas. En el estado de Chihuahua, los vertidos más comunes en cauces hídricos y suelos se atribuyen a metales como Pb, Cd, Hg y As, donde las máximas concentraciones se alcanzan cerca del sitio de descarga y ponen en riesgo el equilibrio de los ecosistemas y la salud pública (Puga et al., 2006).

Entre los efectos nocivos que se atribuyen a los metales pesados es su toxicidad (aun a bajas concentraciones), bioacumulación y persistencia; dichos efectos inhiben diversos procesos biológicos, lo que da lugar a desequilibrios en el funcionamiento de la biota del ecosistema (Davydova, 2005).

Una vez que los metales ingresan a los medios acuosos y terrestres participan en interacciones químicas como la complejación, óxido-reducción y precipitación. Así, la conversión interna de unas formas químicas a otras modifican sus características de movilidad, toxicidad y biodisponibilidad, por lo que su efecto tóxico y facilidad de remoción varían considerablemente con la especie química del ion, el grado de acidez-basicidad y componentes orgánicos e inorgánicos que conforman el medio (Du-Laing et al., 2007). Estos factores determinan el comportamiento químico del ion metálico, en la formación de formas químicas solubles o insolubles que condicionan los riesgos hacia la biota y la salud pública (Violante et al., 2010). Aunque los mecanismos de complejación, óxido-reducción y precipitación pueden retardar el movimiento de los metales, también representan una fuente de contaminación a largo plazo, la cual está sujeta a la disposición del ion a la biota que conforma cada ecosistema (Mbhele, 2007).

De manera particular, la solubilidad del Pb^{+2} es principalmente controlada por el grado de acidez-basicidad del medio, de modo que en aguas duras y alcalinas se favorece la formación de compuestos metálicos de carbonatos e hidroxilos que tienden a precipitarse y reducir los riesgos de toxicidad a la biota; mientras a pH's ácidos, las concentraciones del ion soluble podrían ser superiores a las recomendadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y que están relacionadas con riesgos de enfermedades y a los efectos nocivos a la parte biótica del ecosistema

(Srinivasa y Govil, 2008). Asimismo, las reacciones de óxido-reducción (redox) involucran cambios en el estado de oxidación de algunos metales que podrían modificar su comportamiento y destino en el ecosistema (Borch et al., 2010). Debido a lo anterior, la biodisponibilidad y efectos nocivos del metal transferido a la biota del ecosistema tiene una mayor relación con su forma química o especiación que con la cantidad total que alcanza en el medio (Rodríguez et al., 2007).

Para el caso del ion Pb la insolubilidad de muchas formas químicas, tales como $Pb(OH)_{2(s)}$, $PbCl_{2(s)}$ y $PbSO_{4(s)}$, se manifiestan en su estado de oxidación Pb^{+2} . Además, existe una fuerte tendencia para que las formas de Pb^{+4} reaccionen y formen compuestos con Pb^{+2} (Schiewer y Santosh, 2007). Debido a esta interacción, las reacciones redox que favorecen la formación de estos tipos de compuestos, son consideradas en los procesos de remoción del ion metálico de los sistemas acuáticos (Borch et al., 2010).

En este sentido, el empleo de tecnologías para la remoción de metales pesados han adquirido gran interés. Entre ellas, la biosorción permite la adsorción o retención de los iones metálicos disueltos por materiales con capacidad bioadsorbente (Gadd, 2008). Los componentes estructurales de los materiales usados en la biosorción contienen moléculas como proteínas, polisacáridos o nucleótidos con diversos grupos polares, como carboxílicos (COOH), aminos (NH), fosfatos (PO_4), tioles (SH), e hidroxilos (OH), con capacidad de enlazar al ion metálico por atracción de cargas opuestas (Asma et al., 2005). La fuerza de unión del material bioadsorbente depende del pH, temperatura, fuerza iónica del medio, características químicas del metal, así como de la capacidad adsorbente, la cual se encuentra en función de su contenido de grupos funcionales, lo que a su vez depende de la especie, textura, período estival y zona geográfica (Zhexian et al., 2006).

La búsqueda de materiales de bajo costo con capacidad adsorbente, como desechos agrícolas y materiales biológicos que permitan la estabilidad del ion y sean resistentes a la desintegración y disolución en el medio, han sido probados para evaluar la eficiencia de remoción de iones metálicos solubles (Bhatnagar y Sillanpaa, 2010). Ashen et al. (2007) y Pinzón-Bedoya y Cardona (2008) atribuyen a la cáscara de naranja características bioadsorbentes

debido a su bajo contenido de materia inorgánica, así como a su alto contenido de celulosa, hemicelulosa y pectinas. Con el fin de mejorar la capacidad de adsorción de varios materiales, algunos autores (Teskova et al., 2010; Eggs et al., 2012) han inducido cambios físicos o químicos en diferentes estructuras con el fin de incrementar el área superficial específica de contacto de dos maneras: 1) entre el material bioadsorbente y el ion y 2) número de cargas y actividad de los grupos enlazantes.

El objetivo del presente estudio fue evaluar la eficiencia en la remoción de iones Pb^{+2} de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) tratada con un proceso de desmetilación en soluciones con concentraciones de plomo por encima del valor de 0.2 ppm que establece la NOM 001- ECOL-1996.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se obtuvo un lote de desechos de cáscara de naranja de diversas fuentes comerciales de la ciudad de Chihuahua, entre el periodo invernal 2010-2011. Las cáscaras se cortaron en pequeños trozos y se homogenizaron. Varias porciones fueron sometidas al tratamiento de referencia (T_1), el cual consistió en múltiples lavados con agua desionizada a 60 °C durante 1 h de agitación a 3,000 rpm, esto con el fin de eliminar algunas impurezas como azúcares, ácido cítrico, polímeros de bajo peso molecular y además desactivar algunas enzimas. Posteriormente, el material fue secado en una estufa a 60 °C durante 24 h, luego se molió hasta tener una consistencia de polvo, el cual se mantuvo por 30 min en alcohol etílico al 70%. Finalmente, se secó a 60 °C por 24 h. Para el tratamiento de desmetilación (T_2), una porción de la cáscara del tratamiento T_1 , se sometió a agitación constante por 2 h con NaOH 0.2 M a pH 10, se lavó con alcohol etílico al 96% y se secó a 60 °C por 24 h.

El proceso de remoción del ion Pb^{+2} se realizó en volúmenes de 50 mL de soluciones de plomo, previamente preparadas a pH 3.0 y rangos de 0.3-0.8 ppm (>0.2 ppm establecido de la NOM 001-Ecol-1996). La eficiencia de remoción del ion se evaluó para cada tratamiento (T_1 y T_2) en triplicados de cada concentración, a los que previamente se adicionaron 0.5 g de biomasa correspondiente a cada tratamiento. Los preparados se sometieron a tiempos de agitación constante de 1 h, 3 h y 6 h. Una vez completado este periodo, la cáscara se separó

de la solución y se cuantificaron los niveles remanentes del ion Pb^{+2} , disuelto por absorción atómica a 283.3 nm. Los valores de absorbancia que se obtuvieron se interpolaron con los parámetros de concentración en las curvas de calibración. El porcentaje de remoción de Pb^{+2} se evaluó por diferencia de la concentración inicial y su correspondiente remanente de la solución mediante la expresión:

$$\% \text{ de remoción del Pb} = \frac{\text{Concentración (inicial - remanente)}}{\text{Concentración inicial}} \times 100$$

Para el análisis estadístico de los resultados obtenidos se diseñó un experimento completamente al azar en un arreglo factorial de tres efectos fijos: tratamiento (T_1 y T_2), concentraciones de Pb^{+2} (0.3 - 0.8 ppm) y tiempo de agitación (1 h, 3 h y 6 h). Las lecturas obtenidas del porcentaje de remoción en cada repetición y cada tratamiento se capturaron en el paquete de análisis estadístico Minitab 16® (2008). Se consideró como nivel de significancia $P \leq 0.05$ para las pruebas de hipótesis del modelo lineal general. Las interacciones triples del modelo completo resultaron no significativas, por lo que se simplificó el diseño manteniendo las interacciones dobles significativas, lo cual consistió en: a) el tratamiento en combinación con las soluciones estándares de concentración y b) los tiempos de agitación en combinación con las soluciones estándares de concentración.

RESULTADOS

La capacidad bioadsorbente de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) se incrementó con el tratamiento T_2 desde un 65% hasta $86 \pm 4\%$ (Figura 1). Este incremento se atribuye a la modificación de los grupos funcionales contenidos en las estructuras celulares de la misma tales como la pectina (Figura 2), en las que la desmetilación con soluciones de NaOH a pH 10 pudo remplazar grupos metilester ($COOCH_3$) a grupos carboxílicos ($-COOH$) con carácter ácido, que al ionizarse dejan cargas negativas expuestas en el polímero que facilitan el enlazamiento del catión (Pb^{+2}) disuelto en agua (Hestekin et al., 2001).

En la Figura 3 se muestra el análisis de la interacción entre los diferentes niveles de concentración y tiempos de contacto (1 h, 3 h y 6 h) que se establecieron entre el ion soluble y los sitios enlazantes de las estructuras celulares. El tiempo de contacto en los diferentes niveles de concentración >0.2 ppm de Pb^{+2} resultó significativo ($P \leq 0.013$) en la interacción



Figura 1. Remoción de plomo por la cáscara de naranja.

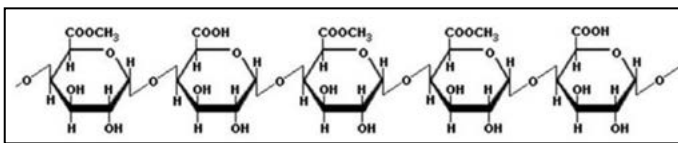


Figura 2. Estructura de la pectina.

Imagen tomada de www.scientificpsychic.com/fitness/pectin.gif

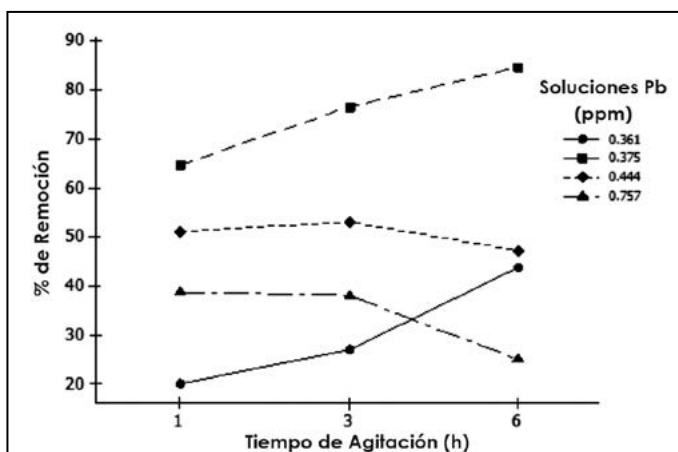


Figura 3. Efecto del tiempo de incubación sobre la remoción de plomo en solución.

doble, donde combinado con el estándar 0.38 ppm presentan el mayor potencial de biosorción con una media de remoción $85.8 \pm 4.0\%$. Las combinaciones con menor efectividad resultaron en el estándar de 0.36 ppm para ambos tratamientos.

Para la cantidad de cáscara usada, el mayor tiempo para alcanzar el estado de saturación se observa en soluciones de 0.38 ppm de Pb^{+2} . A

concentraciones mayores la saturación de los sitios activos del material para la adsorción del ion se lleva a cabo a las 3 h de tiempo de contacto, debido probablemente a la mayor población de iones para ocupar los sitios activos existentes en la estructura.

El análisis estadístico de la triple interacción de los niveles de plomo, tratamientos y tiempos de agitación, no reflejó respuesta significativa, por lo que se recomienda una mayor cantidad de datos para sustentar el modelo de interacción triple de las variables tratamiento, concentración y tiempo de contacto en los rangos de concentraciones y tiempos que maximizan la capacidad de biosorción de la cáscara de naranja.

DISCUSIÓN

En esta investigación se trabajó a un sólo pH en las soluciones de plomo con valor de 3. Esto fue debido a que Navarro et al. (2006) y Aguilar-González et al. (2009) reportaron eficiencias mayores de remoción del ion Pb^{+2} en soluciones con pH desde 3.0 hasta 5.0 utilizando materiales bioadsorbentes, argumentando que en medios alcalinos ciertos iones metálicos como el plomo tienden a formar complejos hidroxilados que favorecen la precipitación en forma de $Pb(OH)_2$. Además, otros autores han encontrado que a valores más ácidos, la cantidad de iones Pb^{+2} removidos se hace menos considerable, debido a que el exceso de iones (H_3O^+) en la solución evita que los grupos carboxílicos de la pectina se desprotonen (García et al., 2011). Esto también queda demostrado por los resultados de Tapia et al. (2003), quienes obtuvieron menor eficiencia de remoción de la cáscara de naranja en soluciones de plomo a un pH de 2.0, lo que es atribuible a la competencia entre los iones metálicos e hidronio (H_3O^+) por los grupos negativos presentes en el material bioadsorbente.

Los resultados del análisis de interacción de tiempos de remoción (1 h, 3 h y 6 h) y diferente concentración del Pb^{+2} mostraron que la retención se incrementa a mayor tiempo; sin embargo, disminuye al alcanzar el equilibrio. Dicho efecto coincide con el reportado por Pacheco et al. (2010) y García et al. (2011), que proponen el incremento de la cantidad de biomasa tratada, con el fin de incrementar los sitios activos enlazantes de las estructuras y mejorar el porcentaje de remoción del ion a menor tiempo de contacto.

CONCLUSIONES

La calidad bioadsorbente de estructuras celulares puede mejorarse al modificar algunas de sus características físicas y químicas, lo que contribuye a mejorar la eficiencia de remoción de iones metálicos solubles, al reorientar (modificar) e incrementar el número de sitios enlazantes del material.

La capacidad de adsorción (85.8%) de la cáscara de naranja desmetilada permite el ajuste de los niveles de Pb^{+2} a los establecidos en la NOM 001-ECOL-1996 en soluciones de hasta dos veces el valor permisible para cuerpos de agua de uso público y para la vida acuática

El estudio aporta información indirecta que sugiere la existencia de la disponibilidad de sitios activos que proporcionen una cantidad determinada de material adsorbente. Sin embargo, se requiere precisar la interacción existente entre la concentración del ion, tiempo de saturación y cantidad del adsorbente, así como definir el efecto

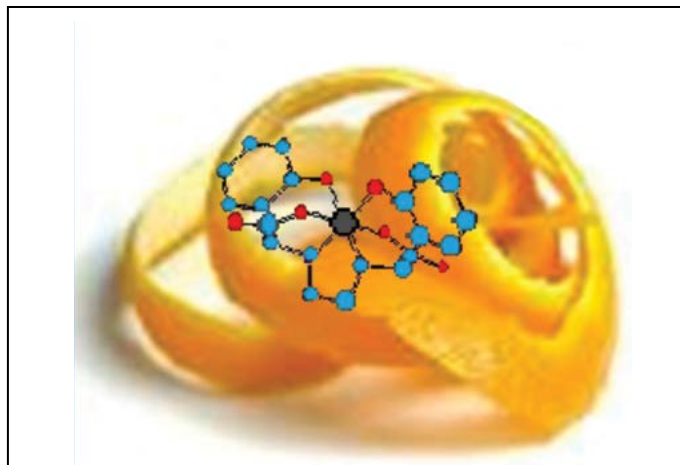


Figura 4. Se estudia la remoción de plomo mediante cáscara de naranja.

Imagen compuesta por Cristina Vélez Sánchez Verín a partir de <http://scientificpsychic.com/fitness/pectin.gif> y <https://encrypted-tbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSOu-zqhbPtXV72uE-HvGfzm1vdxXQvDfEATea7EoLsEYLmlyf70Yg>

de temperatura, pH del medio para alcanzar la máxima remoción del ion Pb^{+2} .

LITERATURA CITADA

- AGUILAR GONZÁLEZ, M. A. et al. Remoción de plomo en soluciones acuosas por titanato de potasio dopado con silice. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 25(3): 125-132. Enero, 2009.
- ASHEN, H. et al. Remover of copper from aqueous solution using orange peel sawdust and bagasse. *Pakistan Journal of Analytical and Environmental Chemistry*, 8(1): 21-25, April 2007.
- ASMA, S. et al. Removal and recovery of heavy metals from aqueous solution using papaya wood as a new biosorbent. *Separation and Purification Technology*, 45: 25-31, September 2005.
- BHATNAGAR, A. y SILLANPAA, M. Utilization of agro-industrial and municipal waste materials as potential adsorbents for water treatment-A review. *Chemical Engineering Journal*, 157: 277-296, March 2010.
- BORCH, T. R. et al. Biogeochemical redox processes and their impact on contaminant dynamics. *Environmental Science & Technology*, 44: 15-23, November 13, 2010.
- DAVYDOVA, S. Heavy metals as toxicants in big cities. *Microchemical Journal*, 79: 133-136, January 2005.
- DOUMETT, S. et al. Heavy metal distribution between contaminated soil and *Paulownia tomentosa*, in a pilot-scale assisted phytoremediation study: Influence of different complexing agents. *Chemosphere*, 72:1481-1490, April 29, 2008.
- DU- LAING, G. et al. Factors affecting metal mobility and bioavailability in the superficial intertidal sediment layer of the Scheldt estuary Aquatic. *Ecosystem Health & Management*, 10(1): 33-40, April 2007.
- EGGS, N. et al. Adsorción de Cromo Hexavalente en la cáscara de arroz modificada químicamente. *Avances en Ciencia e Ingeniería*, 3(3): 141-151, julio-septiembre 2012.
- GADD, J. M. Transformation and mobilization of metals, metalloids, and radionuclides by microorganisms. In: *Biophysico-Chemical Processes of Metals and Metalloids in Soil Environments Parte I*, pp 53- 56. Hoboken, NY, USA: Wiley-Jupac Series, 1 John Wiley & Sons, 2008.
- GARCÍA, V. R. et al. Estudio de la cinética de biosorción de iones plomo en pectina reticulada proveniente de cáscaras de cítricos. *Revista de la Sociedad de Química del Perú*, 77: 173-181, enero 11, 2011.

- HESTEKIN, J. A. et al. Poly(aminoacid)-functionalized cellulosic membranes: Metal sorption mechanisms and results. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 40: 2668-2678, May 8, 2001.
 - MBHELE, P. P. Remediation of soil and water contaminated by heavy metals and hydrocarbons using silica encapsulation. Tesis University of the Witwatersand, 270 pp., 2007.
 - NAVARRO, A. E. et al. Elucidación del efecto del pH en la adsorción de metales pesados mediante bio-polímeros naturales, cationes divalentes y superficies activas. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 7(2): 113-126, marzo 2006.
 - PACHECO, T. J. et al. Cinética de la bioadsorción de iones cadmio (II) y plomo (II) de soluciones acuosas por biomasa residual de café (*Coffea arabica* L.). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 76(3): julio/diciembre 2010.
 - PINZÓN-BEDOYA, M. L. y CARDONA, A. M. Caracterización de la cáscara de naranja para uso como material bioadsorbente. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 6(1): 1-23, mayo 2008.
 - PUGA, S. et al. Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera. *Ecología Aplicada*, 5: 49-155, diciembre 2006.
 - RODRÍGUEZ, R. A. et al. Distribución química de plomo, cromo y cadmio en lodos cloacales y sus cenizas. *Ingeniería*, 11(2): 31-38, julio 12, 2007.
 - SCHIEWER, M., y SANTOSH, B. Modeling the effect of pH on biosorption of heavy metals by citrus peels. *Journal Hazardous Materials*, 157: 8-17, July 2007.
 - SRINIVASA, G. y GOVIL, P. K. Distribution of heavy metals in surface water of Ranipet industrial area in Tamil Nadu, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 136: 197-207, January 2008.
 - TAPIA, H. N. et al. Biosorción de Pb (II) por cáscara de naranja, *Citrus cinesis*, modificada. *Revista Peruana de Ingeniería Química*, 5(2): 48-53, septiembre 2003.
 - TESKOVA, K. et al. Biosorption of Cooper (II) and Cadmium (II) from aqueous solutions by free and immobilized biomass of *Aspergillumsniger*. *Bioresource Technology*, 101: 1727-1731, October 2010.
 - VIOLANTE, A. et al. Mobility and bioavailability of heavy metals and metalloids in soil environments. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 10(3): 268-292, July 2010.
 - ZHEXIAN, X. et al. Study on the equilibrium, kinetics and isotherm of biosorption of lead ions onto pretreated chemically modified orange peel. *Biochemical Engineering Journal*, 31(2): 160-164, July 2006.
- De páginas electrónicas**
- NOM-001-ECOL-1996. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. De: <http://enviro.lclark.edu:8002/rid/>, 20 mar. 2012.

Características fisicoquímicas y microbiológicas de suero de leche de queso Chihuahua

Physicochemical and microbiological characteristics of Chihuahua cheese whey

Pedro Paredes Montoya¹, América Chávez Martínez¹, José Carlos Rodríguez Figueroa¹, Nelson Aguilar Palma¹, Ana Luisa Rentería Monterrubio¹, Gabriela Rodríguez Hernández^{1*}

Paredes Montoya, P., Chávez Martínez, A., Rodríguez Figueroa, J. C., Aguilar Palma, N., Rentería Monterrubio, A. L., Rodríguez Hernández, G., Características fisicoquímicas y microbiológicas de suero de leche de queso Chihuahua. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 62: 11-16, mayo-agosto 2014.

RESUMEN

Se caracterizaron fisicoquímica y microbiológicamente 25 muestras de suero de leche colectadas de diferentes queserías ubicadas en el estado de Chihuahua. Con tal propósito se determinaron los valores de pH, fosfatasa alcalina, materia seca, ceniza, grasa, proteína, densidad, acidez titulable, lactosa, calcio, cuenta total de bacterias mesofílicas aerobias, coliformes, mohos y levaduras. Los resultados indicaron que 56% de las queserías no pasteurizan la leche que se utiliza en la fabricación de queso. Se encontraron diferencias en el contenido de grasa y densidad, mayor en los sueros provenientes de quesos pasteurizados. No se encontraron diferencias en el contenido de coliformes, bacterias mesofílicas aerobias, mohos y levaduras entre los sueros pasteurizados y sin pasteurizar. Lo anterior sugiere que existen variaciones en el proceso de elaboración de queso tipo Chihuahua, en la calidad de la materia prima y en la manipulación del suero en las diversas queserías.

ABSTRACT

Physicochemical and microbiological 25 whey samples were characterized from different cheese dairies productions in the state of Chihuahua. For this

Palabras clave: suero, queso Chihuahua, microbiología, calidad fisicoquímica, pasteurización.

Keywords: whey, cheese Chihuahua, physicochemical quality, microbiological quality, pasteurization.

Recibido: 3 de octubre de 2013, **aceptado:** 28 de mayo de 2014

¹ Facultad de Zootecnia y Ecología, Maestría en Ciencias en Tecnología de Productos de Origen Animal, Universidad Autónoma de Chihuahua.
* Autor para correspondencia: gabryodher@gmail.com

purpose pH, alkaline phosphatase, dry matter, ash, fat, protein, density, acidity, lactose, calcium, total count of aerobic mesophilic bacteria, coliforms, molds and yeasts values were evaluated. Results indicated that 56% of sampled dairies do not pasteurize used milk. Significant differences were found in the fat content and density. No significant differences in the content of coliforms, mesophilic aerobic bacteria and molds and yeasts were found. Unpasteurized whey showed significantly higher fat content than pasteurized; however, the microbiological quality was similar in both. This suggests that there are variations in the processing of Chihuahua cheese, in the quality of raw material and the handling of wheys at various dairies.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el PROY-NMX-F-721-COFOCAL-2012, el suero de leche es la parte líquida obtenida después de llevarse a cabo la separación de la cuajada. Se estima que se generan cerca de 9 L de suero por cada kilogramo de queso elaborado. Históricamente se ha considerado a este subproducto lácteo como un desecho y se descarta de la forma más económica posible, como por ejemplo vertiéndose al drenaje, lo cual es un problema ambiental, debido a su demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de 35-45 kg/L (Fox et al., 2000), o bien es procesado como producto de un valor relativamente bajo (Onwaulata y Hunt, 2008). Esto a pesar de que retiene el 55% de los nutrientes originales de la leche (Walstra et al., 2001; Smithers, 2008) y contiene proteínas de alto valor biológico como las α -lactoalbúminas, β -lactoglobulinas, seroalbúminas e inmunoglobulinas, además de lactoferrina y lactoperoxidasa que se encuentran presentes en cantidades menores (Onwaulata y Hunt, 2008).

Existen dos tipos de suero: dulce y ácido. El suero ácido se obtiene cuando el queso se elabora acidificando la leche con un ácido orgánico o mineral o por la acción de bacterias ácido lácticas (BAL) y presenta un pH de 4.6. El suero dulce se obtiene al llevarse a cabo la coagulación por acción enzimática, presenta un pH de 5.6 y se obtiene al elaborar queso Chihuahua, cheddar y manchego, entre otros. Este puede presentar variaciones en su composición dependiendo si hubo o no acción de BAL durante el proceso de manufactura y antes de la separación del suero y también varía según el tipo de cuajo empleado. Ambos sueros presentan diferencias en su composición; en general, el dulce tiene un pH más elevado, mayor contenido de sólidos totales, proteínas, lactosa, lípidos y menor cantidad de calcio y fósforo (Onwaulata y Hunt, 2008).

En la actualidad existen tecnologías que concentran, separan y fraccionan las proteínas de este subproducto. Sin embargo, estas son costosas y de difícil acceso para los productores de queso del estado de Chihuahua en México (Marshall et al., 2004).

El estado de Chihuahua es el cuarto productor de leche a nivel nacional con una producción de 930 millones de L, de los cuales el 28% se destina a la fabricación de queso (SIAP, 2012), principalmente queso Chihuahua, cheddar, fresco, menonita y artesanal. Cabe mencionar que para la elaboración de estos quesos la leche puede ser o no sometida a tratamiento térmico. Por esto, la caracterización fisicoquímica y microbiológica del suero obtenido de la fabricación del citado queso constituye un paso relevante previo a la utilización del mismo como ingrediente o alimento funcional (Montero et al., 2009).

Este estado además se encuentra dividido en 12 regiones por sus características geográficas, meteorológicas y sociodemográficas, y son las regiones de Chihuahua, Delicias, Camargo y Cuauhtémoc las principales en producción de queso (SAGARPA, 2011). También es reconocido internacionalmente por la producción de queso que lleva su nombre, y a la fecha, se desconoce la calidad fisicoquímica y microbiológica del suero que se obtiene como subproducto de la elaboración de este producto, por lo cual se requieren estudios para caracterizar el generado de la elaboración de queso Chihuahua y que exista información para regular su

producción y manejo. Por consiguiente, el objetivo de este trabajo fue evaluar las características fisicoquímicas y microbiológicas de 25 muestras de suero que se obtuvieron de la elaboración del queso estudiado.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en los laboratorios de Nutrición Animal, Microbiología y Bioquímica de la Facultad de Zootecnia y Ecología y en el Laboratorio de Alimentos de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua.

Se analizaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de sueros provenientes de las cuatro regiones productoras de queso Chihuahua, contando con 25 muestras de suero, cubriendo un total de siete municipios: Región de Delicias (13 queserías), Región de Camargo (cuatro queserías), Región de Cuauhtémoc (cuatro queserías) y Región de Chihuahua (cuatro queserías) (Figura 1).

Las muestras fueron colectadas, etiquetadas y transportadas al laboratorio con refrigerante y se almacenaron a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta el momento de su análisis fisicoquímico (fosfatasa alcalina, pH, materia seca, cenizas, proteína, densidad, acidez titulable, lactosa y calcio) y microbiológico (cuenta total de coliformes, bacterias mesófilas aerobias, mohos y levaduras). Todos los análisis se realizaron por triplicado.

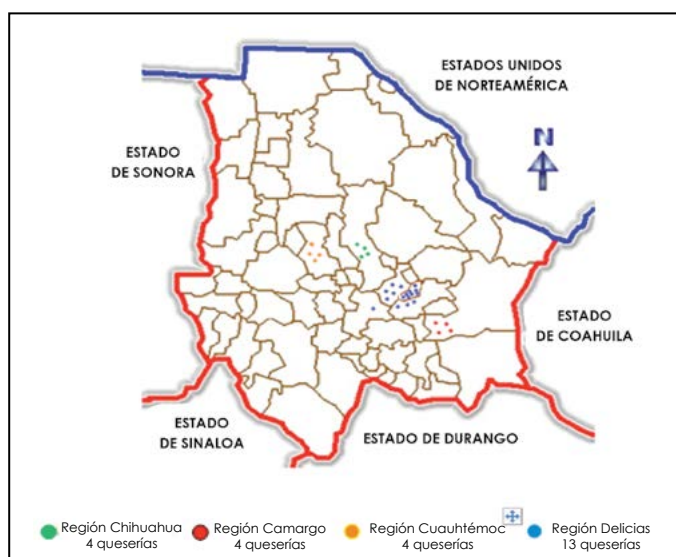


Figura 1. Regiones monitoreadas del estado de Chihuahua para las 25 muestras de suero de leche.

Métodos y técnicas de laboratorio

El pH se midió con un potenciómetro marca Hanna modelo HI 98129 de acuerdo a la NMX-F-317-S-1978, la determinación de fosfatasa alcalina se realizó por el método cualitativo colorimétrico según la NMX-F-702-COFOCALEC-2004, materia seca se cuantificó por calentamiento según el PROY-NOM-211-SSA1-2002, cenizas por el método de calcinación según la NMX-F-066-S-1978, materia grasa por el método de Gerber según la NMX-F-387-1982, proteína por el método de Kjeldahl según la NMX-F-513-1988, densidad conforme a la NMX-F-424-S-1982, acidez por titulación conforme a la NMX-F-511-1988, lactosa por titulación según NOM-155-SCFI-2003, calcio con un potenciómetro Corning Pinnacle modelo 542, cuenta total de bacterias mesofílicas aerobias conforme a la NOM-092-SSA1-1994, coliformes totales conforme a la NOM-113-SSA1-1994, mohos y levaduras conforme a la NOM-111-SSA1-1994.

Para efectuar los contrastes entre los posibles niveles de los factores explicativos en la variabilidad de las características del suero por región se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con el procedimiento de un solo factor de efectos fijos, a un nivel de $\alpha = 0.05$ comparando por familia de posibles pares de combinaciones de los niveles de cada factor mediante la prueba de Tukey, el modelo se representa de la siguiente forma:

$$y_{ij} = \mu + \tau_j + e_{ij}$$

donde:

y_{ij} = es la i -ésima observación en el j -ésimo nivel del factor explicativo fijo.

μ = es la media general de la variable de interés.

τ_j = es el efecto aditivo del j -ésimo nivel del factor fijo.

e_{ij} = Es el i -ésimo error aleatorio del modelo, en el j -ésimo nivel del factor fijo.

Para efectuar el contraste entre queserías que pasteurizaban la leche y las que no lo hacían se ajustó un modelo lineal con dos factores explicativos de efectos fijos a un nivel de $\alpha = 0.05$, comparando los resultados con la prueba de Tukey, con el programa estadístico SAS/STAT® (SAS institute Inc., 2004, versión 9.0).

RESULTADOS

En relación con la práctica de pasteurización se encontró que 56% de las queserías no pasteurizaban

la leche, y las regiones de Camargo y Cuauhtémoc presentaron mayor cantidad de queserías que no realizaban esta práctica (75% en ambos casos). La Tabla 1 presenta los promedios de composición de los sueros por región, existieron diferencias significativas entre las mismas en el porcentaje de grasa, en densidad y en la presencia de enzima fosfatasa alcalina. Los sueros de Camargo presentaron mayores concentraciones de grasa ($P = 0.021$) y densidad ($P = 0.036$), mientras que la región de Chihuahua presentó mayor cantidad de sueros derivados de leche pasteurizada ($P < 0.05$).

Al comparar fisicoquímicamente los sueros provenientes de procesos donde se pasteuriza y no se pasteuriza la leche se observó únicamente diferencia significativa en el contenido de grasa, este valor fue el mayor para los provenientes de la no pasteurizada ($P = 0.09$) (Figura 2).

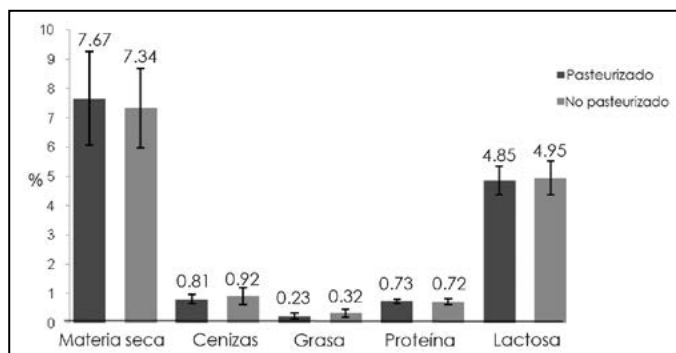


Figura 2. Características fisicoquímicas de suero de queso Chihuahua pasteurizado vs. no pasteurizado.

Las características microbiológicas de los sueros provenientes de leche pasteurizada y sin pasteurizar no mostraron diferencia significativa (Figura 3).

Se analizó si existía interacción entre las regiones analizadas y el efecto de pasteurizar o no la leche, misma que resultó no significativa ($P > 0.05$); es decir, no influye la pasteurización con el lugar de procedencia de la leche.

Al comparar los resultados con los valores establecidos en el proyecto de norma PROY-NMX-F-721-COFOCALEC-2012 (Tabla 1), se observó que la mayoría de éstos se encontraron dentro de los rangos establecidos para cenizas, proteína, lactosa y densidad; sin embargo, la acidez, el pH y la grasa estuvieron fuera de los límites establecidos, los primeros dos por debajo y el último por arriba de los límites del proyecto de norma.

Tabla 1. Características fisicoquímicas y microbiológicas de suero de queso Chihuahua por región

Parámetro	Región				Norma PROY-NMX-F-721- COFOCALEC-2012
	Chihuahua (n= 4)	Delicias (n= 13)	Camargo (n= 4)	Cuauhtémoc (n= 4)	
	----- % -----				
Materia seca	7.63 ± .97 ^a	7.33 ± 1.78 ^a	8.24 ± 1.28 ^a	7.57 ± .45 ^a	-----
Cenizas	0.64 ± 0.11 ^a	0.84 ± 0.20 ^a	0.7 ± 0.13 ^a	0.63 ± 0.05 ^a	0.53 mín.
Proteína	0.77 ± 0.10 ^a	0.70 ± 0.08 ^a	0.74 ± 0.07 ^a	0.73 ± 0.05 ^a	0.72 mín.
Lactosa	4.8 ± 0.67 ^a	5.02 ± 0.47 ^a	4.95 ± 0.82 ^a	4.60 ± 0.32 ^a	4.70 mín.
Grasa	0.18 ± 0.08 ^b	0.26 ± 0.10 ^b	0.41 ± 0.10 ^a	0.32 ± 0.12 ^b	0.10 máx.
Calcio	0.007 ± 0.005 ^a	0.011 ± 0.005 ^a	0.011 ± 0.001 ^a	0.009 ± 0.006 ^a	-----
Acidez titulable	0.40 ± 0.45 ^a	0.57 ± 0.39 ^a	0.37 ± 0.34 ^a	0.35 ± 0.15 ^a	0.07 - 0.12
Fosfatasa alcalina	25 ^a	54 ^b	75 ^b	75 ^b	-----
	----- Media ± desviación estándar -----				
pH	5.45 ± 0.90 ^a	5.47 ± 0.80 ^a	6.04 ± 0.60 ^a	6.18 ± 0.50 ^a	6.4 - 6.7
Densidad g·cm ⁻³	1.024 ± .002 ^b	1.023 ± .002 ^b	1.034 ± .008 ^a	1.031 ± 0.010 ^b	1.023 - 1.026
Coliformes Log ₁₀ UFC·ml ⁻¹	5.50 ± 1.4 ^a	3.62 ± 1.3 ^a	8.11 ± 0.68 ^a	5.15 ± 1.21 ^a	2.00 máx.
Mesofílicas aerobias Log ₁₀ UFC·ml ⁻¹	7.72 ± 1.76 ^a	5.68 ± 1.61 ^a	9.51 ± 1.02 ^a	7.52 ± 0.98 ^a	4.00 máx.
Mohos y Levaduras Log ₁₀ UFC·ml ⁻¹	< 1 [*]	3.04 ± 0.94 ^a	< 1 [*]	< 1 [*]	-----

Valores con superíndices diferentes: diferencias $P < 0.05$.

1^{*} = Limite de detección.

Microbiológicamente, todos los sueros muestreados presentaron valores superiores a los establecidos por el proyecto de norma.

DISCUSIÓN

Los resultados sugieren que existió variabilidad en la cantidad de grasa y por consiguiente en los valores de densidad de los sueros provenientes de la elaboración de queso Chihuahua. La densidad, al igual que el contenido de grasa fue mayor en los sueros provenientes de la región de Camargo, lo anterior se debe a la relación directa que existe entre estos dos valores: a mayor contenido de grasa, mayor densidad (Villegas, 2004). La variación en el contenido de grasa entre las diferentes regiones puede deberse a modificaciones en el proceso de elaboración de queso o a diferencias en la alimentación del ganado lechero, y por consecuencia, en el perfil fisicoquímico

de la leche. El promedio general de materia seca de las regiones analizadas fue de 7.69% (76.9 g/L), lo cual está cerca del valor reportado de 70 g/L por Fox et al. (2000). Este indicador es de gran importancia en la evaluación de la calidad del suero como

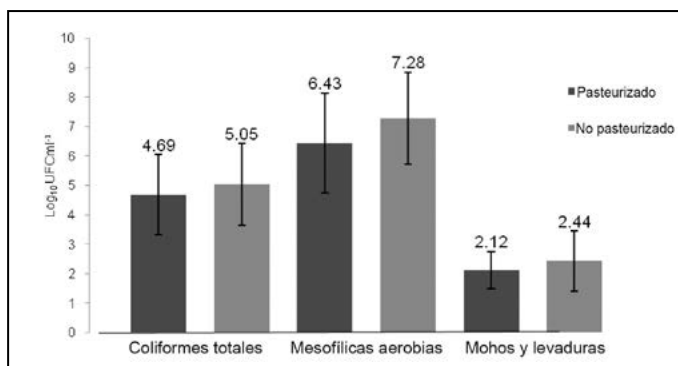


Figura 3. Características microbiológicas de suero de queso Chihuahua pasteurizado vs. no pasteurizado.

materia prima, porque de manera indirecta señala la cantidad de agua presente en el mismo y determina el rendimiento del suero.

En relación con el contenido de cenizas, el valor promedio fue 0.70% (7.02 g/L), valores reportados con anterioridad indican que el rango en el contenido de cenizas en suero dulce varía entre 5 y 5.2 g/L (Fox et al., 2000). El promedio de proteína en los sueros fue de 0.73% (7.3 g/L), esto colocó a las regiones dentro del rango de 6 a 10 g/L reportado por Onwaulata y Hunt (2008) y González (2009). Este valor es de gran importancia debido a la cotización comercial que presenta hoy día la proteína de suero. El contenido promedio de lactosa fue de 4.84% (48.4 g/L), mismo que coincide con lo reportado por algunos autores como González (2009) y Miranda et al. (2009), con oscilación entre 40.7 y 52.7 g/L.

El promedio de calcio fue de 0.0095% (0.095 g/L), resultados que se encuentran por debajo de los reportados por Alais (2003), de 0.48 g/L a 0.55 g/L. Cabe mencionar que los niveles de calcio en la leche están relacionados con la cantidad de calcio encontrado en la dieta y en el suelo de la región en la que se encuentre el ganado (Alais, 2003). Este parámetro también se ve influenciado por la adición de CaCl_2 durante la elaboración del queso. El promedio de pH de las muestras fue 5.75, menor al rango establecido por Miranda et al. (2009) de 5.82 a 7.42 para suero dulce; como consecuencia, el promedio de acidez titulable (0.46% de ácido láctico) se situó por arriba de los valores reportados

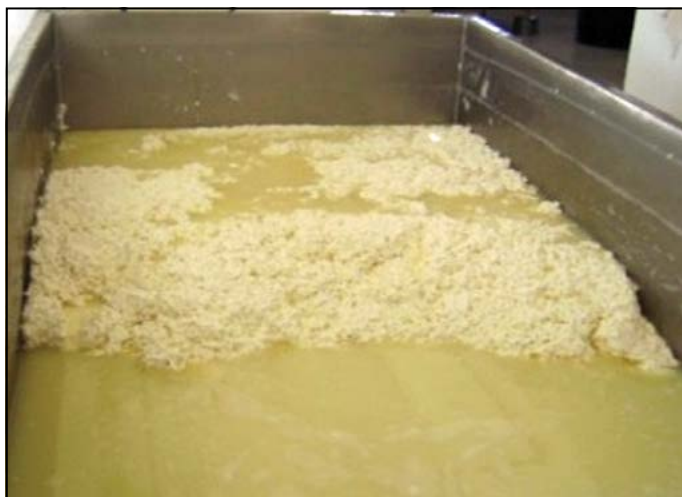


Figura 4. Desuerado o sinéresis en la elaboración de queso Chihuahua.
Fotografía de Gabriela Rodríguez Hernández.

de 0.14% a 0.18% de ácido láctico (Villegas, 2004). Lo anterior puede deberse al uso y tipo de cultivo láctico empleado para la elaboración del queso, así como a la forma de almacenamiento del suero posterior a su obtención.

En relación con la práctica de pasteurización y aún cuando la norma NMX-F-738-COFOCALEC 2011 establece como requisito la pasteurización de la leche de manera previa a la elaboración del queso Chihuahua, existieron empresas que no cumplieron con esta norma. Esto pudo deberse a que no contaban con el equipo para llevar a cabo este paso o al hecho de que aún teniendo el equipo necesario no lo utilizan, ya que su uso aumenta el costo de producción. Finalmente, al comparar los resultados con los valores establecidos por el proyecto de norma PROY-NMX-F-721-COFOCALEC-2012, se encontró que el pH, y por consiguiente la acidez, estuvieron fuera de los límites indicados, lo que sugiere que los sueros no son almacenados y manejados de manera adecuada.

CONCLUSIONES

La composición fisicoquímica del suero obtenido de la elaboración de queso Chihuahua es multifactorial. Se consideran entre los principales factores que afectan su calidad: la inclusión de cultivos lácticos durante el proceso de manufactura, la calidad inicial de la leche con la que se elabora el producto y el tipo de almacenamiento que se le da al suero resultante de la elaboración de queso. Aun cuando se encontraron diferencias en algunos componentes, los sueros provenientes de la elaboración de este tipo de queso presentaron una composición comparable a la de los sueros dulces. Sin embargo, estos no presentaron una buena calidad sanitaria, por lo que es recomendable que se pasteuricen antes de su uso. Por consiguiente, para mejorar la calidad integral de los sueros que se producen en el estado es necesario que los productores estandaricen los procesos de elaboración de queso Chihuahua y que establezcan sistemas que garanticen las buenas prácticas de manufactura y el manejo sanitario de los sueros. Esto es primordial, sobre todo si se aprueba el proyecto de norma PROY-NMX-F-721-COFOCALEC-2012, ya que los parámetros de proteína, lactosa, ceniza y densidad de los sueros se encontraron, en su mayoría, dentro de los límites establecidos por ésta. Sin embargo, no cumplieron con los valores de acidez, pH, cuenta total de mesofílicos aerobios y coliformes establecidos por dicho proyecto de norma.

LITERATURA CITADA

- ALAIS, C. *Ciencia de la leche*. 4 ed., España: Revereté, pp. 202-228, 2003.
- FOX, F. P. et al. *Fundamentals of cheese science*. USA: Aspen Publishers, Inc., pp. 514-522, 2000.
- GONZÁLEZ, C. M. *Crioconcentración del suero de leche*. México: Universidad Autónoma de Chihuahua, 2009.
- MARSHALL, K. Therapeutic Applications of Whey Protein, *Alternative Medicine Review*. *Rev. Alternative Medicine Review*, 9: 2, 2004.
- MIRANDA, M. O. et al. Características físico-químicas de suero de queso dulce y ácido producidos en el combinado de quesos de Bayamo, Bayamo, Cuba. *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*, 19: 1, 2009.
- MONTERO, L. M. et al. Suero de leche fermentado con lactobacilos para la alimentación de becerros en el trópico. *Revista Agrociencia*, 43: 6, 2009.
- NMX-F-066-S-1978. Determinación de cenizas en alimentos. *Foodstuff determination of ashes*. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas.
- NMX-F-317-S-1978. Determinación de ph en alimentos. *Determination of pH in foods*. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas.
- NMX-F-387-1982. Alimentos. Leche fluida determinación de grasa butírica por el método de gerber. *Foods. Fluid milk determination of butterfat by the gerber method*. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas.
- NMX-F-424-S-1982. Productos alimenticios para uso humano. Determinación de la densidad en leche fluida. *Food products for human use. Determination of the density in fluid milk*. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas.
- NMX-F-511-1988. Alimentos. Determinación de acidez en leche reconstituida. *Foods. Acidity determination in reconstituted milk*. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas.
- NMX-F-513-1988. Alimentos. Determinación de proteínas en leche reconstituida. Método de Kjeldahl-gunning. *Foods determination of protein in reconstituted milk method*. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas.
- NMX-F-702-COFOCALEC-2004. Sistema Producto Leche – Alimentos – Lácteos – Determinación de fosfatasa residual en leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado, helados y sorbetes – Método de prueba.
- NMX-F-738-COFOCALEC-2011. Sistema producto leche alimentos lácteos - queso chihuahua - denominación, especificaciones y métodos de prueba.
- NOM-092-SSA1-1994, bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa.
- NOM-111-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos.
- NOM-113-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa.
- NOM-155-SCFI-2003. Leche, fórmula láctea y producto lácteo combinado. Denominaciones, especificaciones físicoquímicas, información comercial y métodos de prueba.
- ONWAULATA, C. I. y HUNT, P. J. *Whey processing Functionality and Health Benefits*. USA: Blackwell, pp. 15-24, 2008.
- PROY-NMX-F-721-COFOCALEC-2012. Sistema producto leche-alimentos-lácteos-suero de leche (líquido o en polvo)- especificaciones y métodos de prueba.
- PROY-NOM-211-SSA1-2002. Proyecto de norma oficial mexicana, productos y servicios. Métodos de prueba físicoquímicos. Determinación de humedad y sólidos totales en alimentos por secado en estufa.
- SIAP-SAGARPA (SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA-SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN). *Producción Anual*. México. 2012.
- SAGARPA (SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN). *Plan Rector 2011. Comité Sistema Producto Leche de Chihuahua*, A. C. México. 2011.
- SMITHERS, G. Whey and whey proteins From 'gutter-to-gold'. *Journal International Dairy Journal*, 18, 2008.
- VILLEGAS, G. A. *Tecnología Quesera*. México: Trillas, pp. 84-85, 2004.
- WALSTRA, P. et al. *Ciencia de la Leche y Tecnología de los Productos Lácteos*. España: Acriba, pp. 132-148, 2001.

Medición de la profundidad de flujo de calor y difusividad térmica en suelos con texturas diferentes por dos métodos de análisis

Depth measuring heat flux and thermal diffusivity in soils with different texture by two analysis method

Armando López Santos^{1*}, Alejandro Zermeño González², José Luis González Barrios³, Guillermo González Cervantes³, Martín Cadena Zapata², Santos Gabriel Campos Magaña²

López Santos, A., Zermeño González, A., González Barrios, J. L., González Cervantes, G., Cadena Zapata, M., Campos Magaña, S. G. Medición de la profundidad de flujo de calor y difusividad térmica en suelos con texturas diferentes por dos métodos de análisis. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 62: 17-25, mayo-agosto 2014.

RESUMEN

Los estudios de térmica de suelos proporcionan información básica de utilidad por su estrecha relación con procesos biológicos y fisicoquímicos indispensables, tanto para ambientes naturales como los sujetos a manejo, como los dedicados a la producción agrícola y ambientación urbana. El objetivo del presente estudio fue comparar dos métodos, relación de rangos (RR) y máxima ocurrencia (MO), para estimar la profundidad de amortiguamiento (d) y la difusividad térmica (α), por ser dos variables que describen el comportamiento teórico del flujo vertical de la temperatura en el suelo. La presente investigación se llevó a cabo en el Jardín Hidráulico del Departamento de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Buenavista, Saltillo, Coahuila (Lat. 25.353 N y Long -101.033° O); el clima es templado seco, C(W₀), con temperatura media anual de 16.9 °C y lluvias de 498 mm, donde se colocaron termopares tipo T para

Palabras clave: difusividad térmica, temperatura del suelo.

Keywords: thermal diffusivity, soil temperature.

Recibido: 25 de mayo de 2013, **aceptado:** 12 de mayo de 2014

¹ Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo.

² Departamento de Riego y Drenaje, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

³ Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

* Autor para correspondencia: armando.lopezsantos@gmail.com

medir la temperatura en suelos de textura arenosa, franca y arcillosa, a seis profundidades: 2 cm, 5 cm, 10 cm, 20 cm, 30 cm y 50 cm. Los resultados indicaron que el mejor método de medición fue el de relación de rangos (RR), ya que la diferencia entre los valores medidos con los sensores (16.06 °C) y el calculado (16.09 °C) es muy pequeño y la diferencia estadística entre ambas series de datos (RR y MO) fue altamente significativa ($\alpha \geq 0.05$).

ABSTRACT

Thermal studies of soils provide basic information useful for their close relationship with essential physicochemical and biological processes, both natural environments and those subject to management, such as those devoted to agricultural production and urban setting. The target of this study was to compare two methods, rank ratio (RR) and maximum occurrence (MO), to estimate the damping depth (d) and thermal diffusivity (α), for being two variables that describe the theoretical behavior vertical flow of the soil temperature. This research was carried out in the Hydraulics Garden Irrigation and Drainage Department of the Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro in Buenavista, Saltillo, Coahuila; Mexico (Lat 25.353 N and Long 101 033 ° W), the climate is dry and temperate, C(W₀), with annual average temperature of 16.9 °C and rainfall of 498 mm, where type T thermocouples were placed to measure the temperature in soils of sandy, loamy and clayish, at six depths: 2 cm, 5 cm, 10 cm, 20 cm,

30 cm and 50 cm. The results indicated that the best method of measurement was the ratio ranges (RR) since the difference between the values measured with the sensors (16.06 °C) and the calculated (16.09 °C) is very small and the statistical difference between both sets of data (RR and MO) was highly significant ($\alpha \geq 0.05$).

INTRODUCCIÓN

El flujo de calor en el suelo (G) es un componente importante del balance de energía en la superficie de la tierra (Su, 2002; Zvomuya et al., 2008; Ozturk et al., 2011). Comúnmente G no excede del 10% al 15% de la radiación neta (R_n) (Shao et al., 2008; Verhoef et al., 2012). Sin embargo, puede ser mucho mayor en el balance diario para horas de mayor calor, particularmente en ambientes áridos con escasa humedad y en épocas de sequía (Horton y Wierenga, 1983; Heusinkveld et al., 2004; Evett et al., 2012; Smalls-Mantey et al., 2013). Smalls-Mantey et al. (2013) mencionan que este componente en suelos desnudos puede alcanzar hasta el 50 % de R_n (G/R_n).

La importancia de G radica en que una vez que se calienta una capa muy delgada de suelo (interface suelo-atmósfera; ≈ 3 cm), la energía que no se disipa como calor latente (LE) y/o calor sensible (H), el calor queda almacenado (ΔG) y se transfiere de modo gradual a mayores profundidades, lo que afecta (o activa) con ello el ritmo de procesos físicos, químicos y biológicos (Gao, 2005; Agnieszka, 2006; Ochsner et al., 2007; Evett et al., 2012); por ejemplo, la respiración del suelo que representa actividad biológica en la capa superior, a 8 cm de profundidad, se ha visto como el factor dominante en ecosistemas áridos (Ma et al., 2014).

La transferencia de energía en forma de calor también se conoce como *difusividad térmica* (α), en la capa de suelo –o cualquier otro material– sufre una atenuación que depende de la diferencia de temperatura entre sus extremos y el espesor de la misma, variable que se denomina *profundidad de amortiguamiento* (d) (Horton y Wierenga, 1983; Cengel y Ghajar, 2011); por tanto, la medición de α y d , además de indicar la rapidez con la que se difunde la energía en la capa edáfica revela zonas de mayor viabilidad para la vida microbiana (Parkin y Kaspar, 2003; Ozturk et al., 2011), difusión gaseosa, condiciones óptimas para la germinación de semillas

de plantas cultivadas (Gupta, et al., 1984; Drury et al., 1999), disponibilidad de nutrientes, etc... (Ochsner et al., 2007; Xiao et al., 2011); por tanto, la medición de estas variables además de facilitar la comprensión de transferencia de calor entre dos sistemas (Cengel y Ghajar, 2011; Oldroyd et al., 2013), por ejemplo en la modelación del flujo de agua y energía (Evett et al., 2012; Illston et al., 2013; Oldroyd et al., 2013), su aplicación se extiende a otros campos de la ciencia, como el diseño de espacios urbanos, entre otros (Smalls-Mantey et al., 2013).

El objetivo del presente estudio fue comparar dos métodos: relación de rangos (RR) y máxima ocurrencia (MO) para estimar la *profundidad de amortiguamiento* (d) y la *difusividad térmica* (α), por ser dos variables que describen el comportamiento teórico del flujo vertical de la temperatura en el suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se llevó a cabo en el Jardín Hidráulico del Departamento de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Buenavista, Saltillo, Coahuila (Lat. 25.353 N y Long -101.033° O), cuyo clima Encina et al. (2009) describen como templado seco, $C(W_0)$, con temperatura media anual de 16.9 °C y precipitación media anual de 498 mm; en este lugar se instalaron sensores termoeléctricos o termopares tipo T (cobre-constantán) para medir la temperatura en suelos de textura arenosa, franca y arcillosa, a seis profundidades: 2 cm, 5 cm, 10 cm, 20 cm, 30 cm y 50 cm; conectados a un registrador electrónico; las mediciones de la temperatura se realizaron de manera ininterrumpida durante 5 días en el periodo comprendido desde el 4 de noviembre de 2007 hasta el 9 de noviembre de 2007 (308-313), con promedios cada 30 minutos de un total de 10 registros por segundo.

Cengel y Ghajar (2011) mencionan que la transferencia de energía como calor siempre se produce del medio que tiene la temperatura más elevada hacia el de la más baja, y la transferencia de calor se detiene cuando los dos medios alcanzan la misma. La rapidez o razón de la conducción de calor a través de una capa plana es proporcional a la diferencia de temperatura a través de esta y al área de transferencia de calor, pero es inversamente proporcional al espesor de esa capa.

El objetivo de varios estudios (Chacko y Renuka, 2002; Elimoel et al., 2004; Agnieszca, 2006) ha sido encontrar la función $T = T(z, t)$, donde T es la temperatura del suelo en °C que se produce en un tiempo t en segundos y a una profundidad z en metros; esta función puede ser encontrada mediante la modelación del movimiento de la energía en el suelo, basada en leyes físicas y algunos parámetros empíricos. Al respecto, Elimoel et al. (2004) reportaron que Van Wijk y De Vries propusieron en 1963 un modelo de análisis vertical unidimensional, en el que la temperatura del suelo es asumida para satisfacer la ecuación de calor de la siguiente forma:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = K \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (\text{Ec 1})$$

donde K ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$) es la difusividad térmica, que se asume como un valor constante con la profundidad (z) y el tiempo (t). Además, hay dos condiciones de frontera que deben ser satisfechas:

La primera condición de frontera está dada por:

$$T(0, t) = T_m + A_s * \text{Sen}(\omega t + \phi) \quad (\text{Ec 2})$$

donde se indica que la temperatura de la superficie varía sinusoidalmente con el tiempo, teniendo un valor promedio en el tiempo de T_m (°C), una amplitud A_s (°C), una frecuencia radial w (rad s^{-1}) y una fase constante f (rad).

La segunda condición de frontera está dada por:

$$\lim_{z \rightarrow \infty} T(z, t) = T_m \quad (\text{Ec 3})$$

La solución que satisface las ecuaciones (1), (2) y (3), escrita en la serie de Fourier, presentada en varios estudios (Karam, 2000; Elimoel et al., 2004; Gao et al., 2007; Ozgener et al., 2013) es:

$$T(z, t) = T_m + A_s * \text{Sen} \left[\left(\frac{2\pi}{P} \right) (t - t_m) - \frac{z}{d} + \phi \right] \quad (\text{Ec 4})$$

donde d es la *profundidad de amortiguamiento* de la onda de calor (o *damping depth*) que es equivalente a la raíz cuadrada del cociente que resulta del periodo (P) y la *difusividad térmica* (a) sobre una fase radial, que se expresa como:

$$d = \sqrt{(P * \alpha) / \pi} \quad (\text{Ec 5})$$

Evidentemente, para obtener las curvas que describen el comportamiento armónico de la temperatura en el suelo, es necesario determinar el valor de α y consecuentemente el valor d en m; es decir, si el supuesto principal de este método de análisis es el desarrollo armónico de los cambios de la temperatura durante ciclos diarios o anuales, la profundidad de amortiguamiento de la curva de calor (*damping depth*) puede ser calculado de la fase de cambio y de la relación de la amplitud de la onda de temperatura, cuya representación se presenta en las Figuras 1a y 1b (Agnieszca, 2006).

Para el cálculo de la *difusividad térmica* por el método tiempo de ocurrencia máxima habrá que partir de la relación entre los valores máximos o mínimos a las profundidades z_1 y z_2 , de tal manera que la ecuación que representa dicha relación es la siguiente:

$$\alpha = \frac{P}{\pi [2(t_2 - t_1) / (z_2 - z_1)]^2} \quad (\text{Ec 6})$$

De la ecuación anterior, debe advertirse que si el valor de α se expresa en $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$, entonces P debe ser expresado en segundos (24×3600); de este modo, una vez calculado el valor de α se aplica la ecuación (5).

Por otro lado, el método de la relación de rangos a cualquier profundidad, en teoría está dado por la siguiente relación:

$$T_{RZ} = T_{RS} e^{-z/d} \quad (\text{Ec 7})$$

La incógnita en este procedimiento es d , de tal modo que para despejar esta variable se aplica el

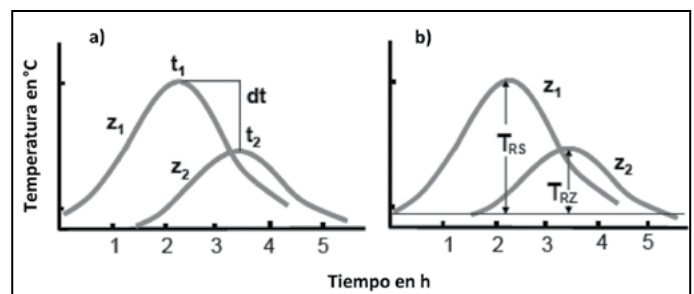


Figura 1. Representación gráfica para el cálculo de d y α a partir a) del tiempo de ocurrencia máximo o mínimo y b) de la relación de rangos. Fuente: Modificado de Agnieszca (2006).

logaritmo natural (\ln), quedando la expresión de la siguiente forma:

$$\ln T_{RZ} = \ln T_{RS} - z/d * \ln(e) \quad (\text{Ec } 8)$$

De la expresión anterior (8), se observa que al quedar el \ln de la base e , su valor es igual a uno y al despejar la variable objetivo la expresión queda de la siguiente manera:

$$d = \frac{-z}{\frac{(\ln T_{RZ})}{(\ln T_{RS})}} \quad (\text{Ec } 9)$$

Los datos seleccionados para medir las variables α y d correspondieron a las profundidades de 2 cm y 20 cm, de un ciclo completo o periodo de 24 h (6:00 a 6:00 h) de los días 311 y 312. El criterio para la selección del periodo se basó en la observación de un comportamiento suavizado y armónico de la onda de la temperatura, permitiendo con ello determinar los momentos en los cuales la temperatura se encontró en su fase ascendente, así como el valor de la temperatura media (T_m) para cada una de los tres suelos estudiados (Figura 2).

Para el análisis de varianza (ANDEVA) se consideraron como fuentes de variación las tres texturas de suelo (arena, limo y arcilla) con tres repeticiones considerando para ello los 5 días de medición; además se realizó una comparación de medias para evaluar la hipótesis de igualdad de medias (H_0) a partir de la prueba del rango estudentizado de Tukey con un intervalo de confianza de 95 % ($\alpha \geq 0.05$).

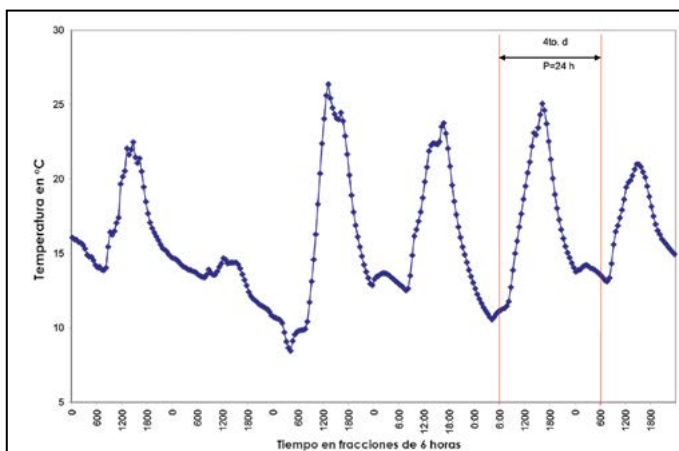


Figura 2. Registro de 5 días flujo de calor y selección del periodo (P , 4^o día) para el análisis del comportamiento del flujo energético en la capa de suelo.

RESULTADOS

Durante los 5 días de medición se obtuvieron un total de 5,184 datos de temperatura, de los cuales se emplearon para el estudio del fenómeno de flujo de calor poco menos de 70%. El análisis de (todos) los datos para cada textura (1205) tuvo un promedio (T_{med}) muy semejante, pero conforme a la magnitud de los rangos entre T_{max} (temperatura máxima) y T_{min} (temperatura mínima) se observó una variación de 15.9 °C, 17.9 °C y 18.9 °C para limo, arena y arcilla, respectivamente; para el análisis por grupo de datos, mediante el rango estudentizado de Tukey se encontró que a 2 cm y 5 cm de profundidad en las tres texturas no hay diferencia estadística, no siendo así para las tres profundidades restantes, con excepción de la arena de 20 cm a 30 cm y de 30 cm a 50 cm de profundidad (Tabla 1).

De acuerdo al método de selección de datos para el cálculo de α y d , T_m indica el momento exacto en horas y minutos en que la fase de la curva senoide de esta variable (temperatura) es ascendente, de tal manera el suelo de textura arenosa a nivel de la superficie (2 cm de profundidad) se calentó más rápido que los otros dos suelos, y tuvo una temperatura menor aproximadamente de 1°C respecto a la arcilla (Figura 3). Es decir, el valor de T_m a la profundidad de 2 cm en el suelo de textura arcillosa fue de 17.08 °C, ocurrió ésta a las 11:00 h, en tanto que a los 90 minutos y 30 minutos después se presentó en los suelos de textura arenosa (16.06 °C) y franca (16.96 °C), respectivamente (Figura 3a, 3b y 3c). Del mismo modo, se observó que la onda de calor a la profundidad de 20 cm en el suelo arcilloso produjo una temperatura promedio de 16.84 °C (15:30 h), la cual ocurrió 60 minutos después que en la textura arenosa (16.81 °C), pero 30 minutos antes que en la textura franca (16.76 °C) (Figura 3b, 3d, 3f). En la Tabla 2 se muestran los resultados hasta aquí descritos.

Las variables de entrada y los resultados de cálculo por los métodos de la máxima ocurrencia (MO) y por la relación de rangos (RR) evidencian que los valores para α y d son distintos, especialmente para la primera variable (α); para la variable d en el caso del suelo de textura arenosa el valor obtenido por ambos métodos presenta una diferencia de sólo 2 mm, pero la diferencia es mayor para el suelo franco al ser de 22 cm, diferencia que se reduce para la arcilla en 12 cm; en tanto que por el método

Tabla 1. Estadística de los datos de temperatura descriptiva y resultados del ANOVA para cada textura a diferentes profundidades

Textura	Estadística descriptiva			Tmed para cada profundidad en cm					
	Datos	Tmin	Tmax	Tmed	2	5	20	30	50
	No.	-----°C-----							
Arena	1205	8.5	26.4	16.7	15.8 (ab)	16.0 (ab)	16.8 (cd)	17.2 (def)	17.8 (fg)
Limo	1205	8.5	24.4	16.9	15.3 (a)	15.6 (ab)	17.0 (de)	17.7 (efg)	18.8 (h)
Arcilla	1205	8.5	27.3	16.9	15.9 (ab)	16.1 (bc)	16.8 (cd)	17.5 (defg)	18.2 (gh)

Tmin = temperatura mínima; Tmax = temperatura máxima; Tmed = temperatura media; Std = desviación estándar. Letras distintas dentro del paréntesis (*cursivas*) para cada textura indican diferencia estadística altamente significativa.

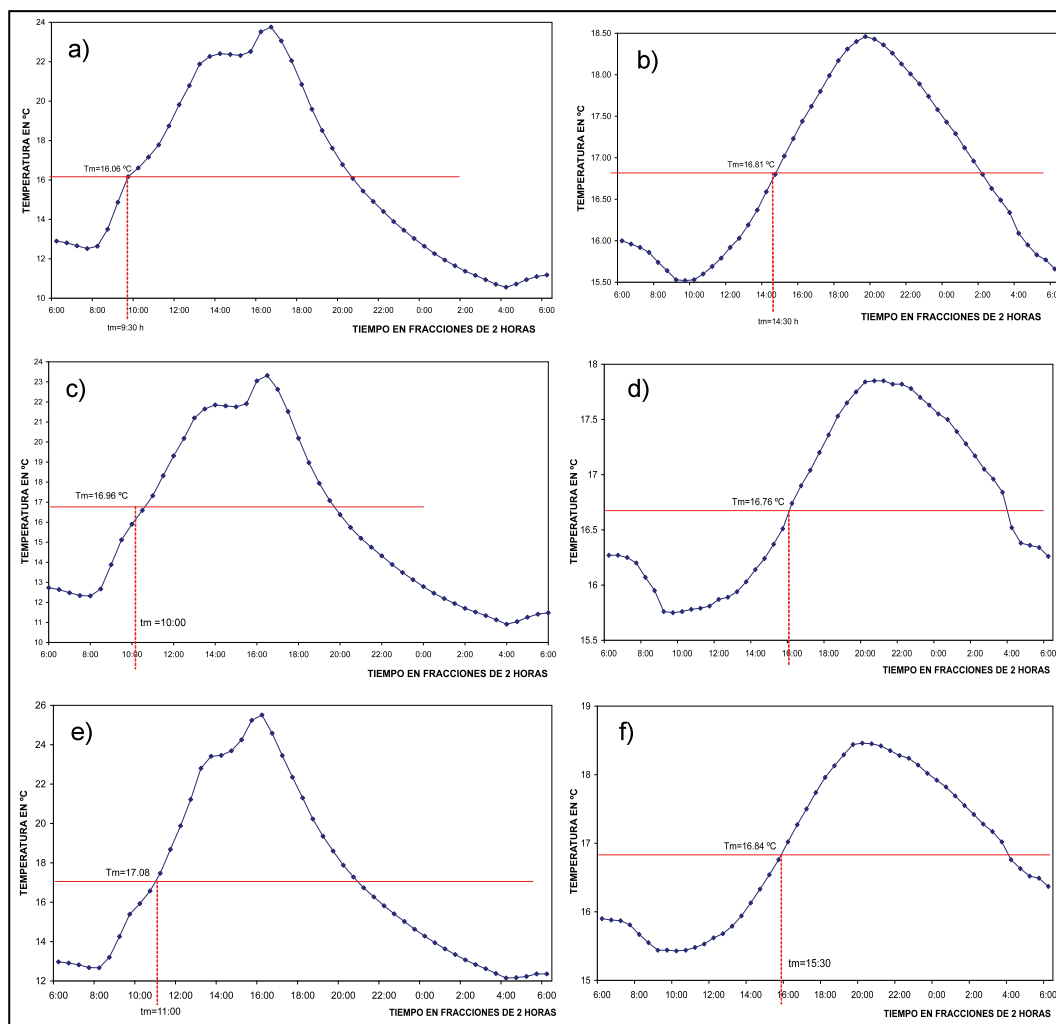


Figura 3. Localización gráfica de los momentos (t) y valor de la temperatura media (Tm) encontrada en su fase ascendente del periodo P (311-312, 6:00-6:00 h) para las tres texturas de suelo: arenoso (a, b), franco (c, d) y arcilloso (e, f), a las profundidades de 2 cm (a, c, e) y 20 cm (b, d, f).

Tabla 2. Variables de entrada para la estimación de la difusividad térmica (α) y profundidad de amortiguamiento de la onda de calor (d).

Variables/textura-Profundidad	Texturas de suelo					
	---- Arena ----		---- Franco ----		---- Arcilla ----	
	2 cm	20 cm	2 cm	20 cm	2 cm	20 cm
T_m (°C)	16.06	16.81	16.96	16.76	17.08	16.84
t (Hmin)	9:30	14:30	10:00	16:00	11:00	15:30

Hmin= tiempo en horas y minutos.

Tabla 3. Resultados obtenidos para α y d por los métodos de ocurrencia máxima (MO) y de la relación de rangos (RR) de la temperatura

Variables/Método	Texturas de suelo		
	Arena	Limo	Arcilla
Método MO			
$t_2 - t_1$	3.0	4.5	4.0
$z_2 - z_1$	18.00	18.00	18.00
α (m ² s ⁻¹)	6×10^{-6}	2.67×10^{-6}	3.38×10^{-6}
d (m)	0.41	0.27	0.30
Método RR			
T_{RS} (°C)	13.20	7.57	13.36
T_{RZ} (°C)	2.94	2.1	3.03
α (m ² s ⁻¹)	7.83×10^{-6}	8.93×10^{-6}	7.65×10^{-6}
$d_{z=0.18}$ (m)	0.43	0.49	0.42

RR los valores de α obtenido fueron 7.83, 8.93 y 7.65×10^{-6} , con profundidades para la curva de atenuación de 0.43, 0.49 y 0.42 para las texturas arena, limo y arcillosa, respectivamente (Tabla 3).

El resultado de la construcción de las curvas sinusoidales mediante el método RR, entre 2 y 20 cm (Figura 4) muestra la forma armónica que tienen las curvas, lo cual está de acuerdo a lo previsto en la ecuación 4, excepto por el empleo de la constante radial (f).

Del análisis de datos que dan lugar a la construcción de las figuras se desprenden las siguientes características: a) para la textura arenosa, la temperatura máxima a la profundidad de 2 cm es de 22.55 °C, la cual se presenta a las 15:00 h, mientras que a la profundidad de 20 cm a las 21:00 h se alcanzan 18.68 °C; b) para el suelo de textura franca,

a las 16:00 h se alcanza la temperatura máxima con un valor de 22.60, mientras que a la profundidad de 20 cm a las 22:00 h su valor es de 18.16 °C; y c) por último, en el caso del suelo de textura arcillosa a 2 cm de profundidad, la temperatura máxima es de 22.6 °C, que corresponde a las 17:00 h, mientras que a la profundidad de 20 cm a las 21:00 h se alcanzan 17.77 °C.

Por otro lado, al comparar el comportamiento que se presenta en la Figura 5, de la temperatura que resulta de la aplicación de las variables (d y α) obtenidas por ambos métodos, se observa que para la onda de calor la temperatura para la profundidad de 2 cm en la textura arenosa, donde la diferencia en $d=2$ mm, existe una máxima en el método de la relación de rangos de 22.55 °C, mientras que en la de ocurrencia máxima su valor es de 6.18 °C, pero la hora es la misma para ambos valores.

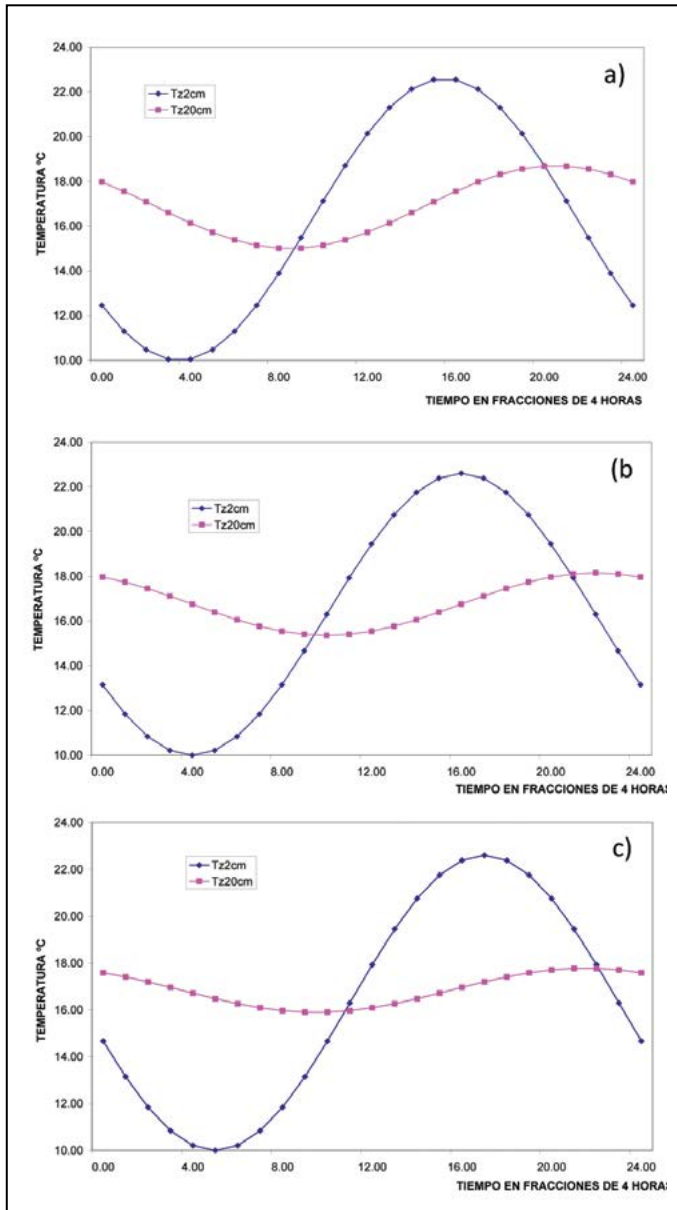


Figura 4. Curvas sinusoidales generadas por el método RR a partir de los datos conforme al análisis y datos de entrada ya descritos (Tabla 3) para arena (a), limo (b) y arcilla (c).

Además, debe observarse que con la metodología de ocurrencia máxima las variables de entrada en el modelo producen valores negativos, mientras que con la de relación de rangos no; de hecho, este método produce valores muy parecidos a los datos originales. Por ejemplo, si se compara la temperatura media de los datos originales y la obtenida con el modelo, tenemos que $Tm_{orig} \approx Tm_{R/R'}$ porque sus valores son 16.06 y 16.15, respectivamente.

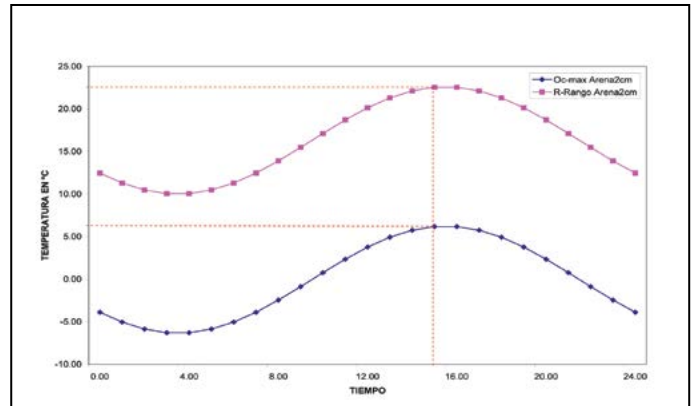


Figura 5. Comparación del comportamiento de la temperatura derivado de las variables obtenidas por los dos métodos.

DISCUSIÓN

Los resultados descritos anteriormente, especialmente los mostrados en la Tabla 3 y en la Figura 5, evidencian discrepancias para las variables calculadas (α , d). El método RR es más consistente que el de MO debido al menos por dos motivos:

- 1) Los valores para la textura arenosa representados mediante las curvas sinusoidales contrastan entre sí (Figura 5) porque el 52% de los valores generados por medio del MO son negativos, toda vez que del conjunto de los datos originales menos del 1% son negativos, lo cual significa que el modelo con las variables de entrada ($t-tm$) para este caso generó valores de predicción absurdos.
- 2) Para esta misma textura (arenosa), los valores de α obtenido para las texturas arenosa y franca se encuentran muy próximos a los valores reportados previamente por Horton et al. (1983), para arena con predominio de cuarzós como en este caso, de $12.6 (\pm 1.5) \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$; esto basado en la medición de temperatura en distintos momentos a profundidad de 1 cm, 2 cm, 5 cm y 10 cm, para ser ajustadas al modelo Fourier, de cuya solución dicen Horton et al. (1983): "...se logra mediante técnicas estándar de regresión lineal", lo cual ha sido reconocido en estudios recientes (Min-Ho y Yoonho, 2008; Evett et al., 2012).

Aunque las diferencias en el flujo de calor descritas (Figura 3) están directamente relacionadas con dos aspectos fundamentales de los suelos: sus

propiedades térmicas, donde destaca la suma de la capacidad calórica (C_x) de componentes como el cuarzo (C_c), otros minerales (C_m) y agua (C_a), cuyos valores son de $8.4 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$, $2.9 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ y $0.6 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$, respectivamente (Peters-Lidard, 1998; Deru, 2003; Chacko y Renuka, 2008); las mediciones puntuales sobre las propiedades edáficas, como la densidad aparente (D_a), los factores de forma que describen la manera en la que el suelo está empacado, así como el contenido volumétrico de agua (θ); Evett et al. (2012) dice que no son indispensables al usar la serie Fourier para periodos cortos, como en este caso que fue de 24 h.

Debido a la complejidad de los factores que influyen en este tipo de análisis, tales como la absorción energética, cobertura nubosa y algunos otros derivados de procesos físicos internos, como los edáficos ya mencionados en el párrafo anterior, la variación sinusoidal de la temperatura permite simplificar el cálculo de las variables ya descritas, como lo refiere Gao et al. (2007).

Por otro lado, es importante mencionar que la estimación de G como flujo de calor en el suelo, asociado a estudios de balance energético por métodos micro meteorológicos, como el de la Covarianza Eddy —que se expresa mediante la ecuación de balance: $R_n - G = H + LE$ —, generalmente está sujeta a errores que pueden ser de hasta el 30% (Massman y Lee, 2002; Su, 2002; Heusinkveld et al., 2004; Shao et al., 2008), además porque las mediciones de la capa edáfica solo representan la energía que se transfiere entre 2 cm y 8 cm de profundidad (López-Santos et al., 2008).

Es decir, el análisis de flujos de energía se concentra en la superficie, representados por el par $LE+H$, y en una capa delgada de suelo (G), así se alejan de fenómenos que ocurren a nivel de la rizósfera dependientes de la variación de la temperatura y humedad a diferente profundidad



Figura 6. Instalación de termopares para medir temperatura del suelo en la superficie hasta 8 cm de profundidad (a, b) y en el perfil a mayor profundidad (c).

(Bahn et al., 2010; Ma et al., 2014); por ejemplo, Ma et al. (2014) mencionan que en un metaanálisis global basado en datos de respiración se encontró que el flujo de CO_2 varía de 1.9 veces a 5.7 veces dependiendo de la temperatura del suelo medida a diferente profundidad (0 cm, 5 cm, 10 cm, 15 cm y 20 cm) y condiciones climáticas tales como la temperatura media anual y la lluvia.

CONCLUSIONES

Las diferencias encontradas entre la profundidad de amortiguamiento (d) y la difusividad térmica (a) confirman que, comparado con el método de máxima ocurrencia (MO), el método de la relación de rangos (RR) es el más adecuado para caracterizar el comportamiento de la curva sinusoidal, tanto en su fase descendente como ascendente en la capa de suelo, mediante valores de temperatura entre los límites (z) 0 cm y 20 cm de profundidad (d).

LITERATURA CITADA

- AGNIEZKA, D. D. *Thermal properties in luvisol under conventional and conservation tillage*. Tesis of Dissertation to Obtain PhD. Aus dem Institut for Pflanzenernährung und Bodenkunde der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. Kiel, Germany 2006.
- BAHN, M. et al. *Soil respiration at mean annual temperature predicts annual total across vegetation types and biomes*. *Biogeosciences*, 7: 2147–2157, 2010.
- CENGEL, Y. J. y GHAJAR, A. J. *Transferencia de calor y masa. Fundamentos y aplicaciones*. 4. ed., México: Ed. Mc Graw Hill. 922 pp., 2011. ISBN: 3456789012.
- CHACKO, P. T. y RENUKA, G. *Temperature mapping, thermal diffusivity and subsoil heat flux at Kariavattom of Kerala*. *Indian Acad. Sci. (Earth Planet. Sci.)*, 111(1): 79-85, 2002.

- CHACKO, P. T. y RENUKA, G. *Thermal diffusivity of soil in iso-hyperthermic temperatura regime by harmonic analysis. Indian Journal of Radio & Soace Physics*, 37: 360-365, 2008.
 - DERU, M. *A model for ground-coupled heat and moisture transfer from buildings*. Technical report. Golden Colorado, CO, USA: National Renewable Energy Laboratory. 2003.
 - DRURY, C. F. et al. *Red clover and tillage influence on soil temperature, water content, and corn emergence. Agron. J.*, 91: 101-108, 1999.
 - ELIMOEL, E. A. et al. *Analytical soil-temperature model: correction for temporal variation of daily amplitude. Soil Sci. Soc. Am J.*, 68: 784-788, 2004.
 - ENCINA, D. J. A. et al. *Composición y aspectos estructurales de los bosques de encino de la sierra de Zapalinamé, Coahuila, México. Acta Botánica Mexicana*, 86: 71-108, 2009.
 - GAO, Z. *Determination of soil heat flux in a tibetan short-grass prairie. Boundary-Layer Meterology*, 114: 165-178, 2005.
 - GUPTA S. C. et al. *Predicting soil temperature and soil heat flux under different tillage-surface residue conditions. Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48(2): 223-232, 1984.
 - HORTON, R. y WIERENGA, P. J. *Estimating the soil heat flux from observations of soil temperature near the surface. Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47: 14-20, 1983.
 - HORTON, R. et al. *Evaluation of methods for determining the apparent thermal diffusivity of soil near the surface. Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47: 25-32, 1983.
 - KARAM MOSTAFA, A. *A thermal wave approach for heat transfer in a no uniform soil. Soil Sci. Soc. Am J.*, 64: 1219-1225, 2000.
 - LÓPEZ-SANTOS, A. et al. *Impacto de la labranza en el flujo energético de un suelo arcilloso. Revista Terra Latinoamericana*, 26(3): 203-213, 2008.
 - MASSMAN, W. J. y LEE, X. *Eddy covariance flux corrections and uncertainties in long-term studies of carbon and energy exchanges. Agric. For. Meteorol.*, 113: 121-144, 2002.
 - OCHSNER, T. E. et al. *Soil heat storage measurements in energy balance studies. Agron. J.*, 99: 311-319, 2007.
 - PARKIN, T. B. y KASPAR, T. C. *Temperature controls on diurnal carbon dioxide flux: implications for estimating soil carbon loss. Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67: 1763-1772, 2003.
 - PETERS-LIDARD, C. D. *The Effect of Soil Thermal Conductivity Parameterization on Surface Energy Fluxes. Journal of the Atmospheric Sciencies*, 55: 1209-1224, 1998.
 - SU, Z. *The Surface Energy Balance System (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes. Hydrology and Earth System Sciences*, 6(1): 85-99, 2002.
 - GAO, Z. et al. *Determination of soil temperature in an arid region. Journal of Arid Environments*, 71: 157-168, 2007. doi:10.1016/j.jaridenv.2007.03.012.
 - HEUSINKVELD, B. G. et al. *Surface energy balance closure in an arid region: role of soil heat flux. Agricultural and Forest Meteorology*, 122(2004): 21-37, 2004. doi:10.1016/j.agrformet.2003.09.005.
 - ILLSTON, G. B. et al. *Evaluation of a heat dissipation sensor for in situ measurement of soil temperature. Soil Sci. Soc. Am. J.*, 77: 741-747, 2013. doi:10.2136/sssaj2012.0189.
 - MA, Y. et al. *Stand ages regulate the response of soil respiration to temperature in a Larix principis-rupprechtii plantation. Agricultural and Forest Meteorology*, 184: 179-187, 2014. doi:doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.10.008.
 - MIN-HO KOO y SONG, YOONHO. *Estimating apparent thermal diffusivity using temperature time series: A comparison of temperature data measured in KMA boreholes and NGMN wells. Geosciences Journal*, 12(3): 255-264, 2008. doi:10.1007/s12303-008-0026-5.
 - OLDROYD, H. J. et al. *Thermal diffusivity of seasonal snow determined from temperature profiles. Advances in Water Resources*, 55: 121-130, 2013. doi:doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.06.011.
 - OZGENER, O. et al. *A practical approach to predict soil temperature variations for geothermal (ground) heat exchangers applications. International Journal of Heat and Mass Transfer*, 62: 473-480, 2013. De: doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2013.03.031
 - OZTURK, M. et al. *Artificial neural network model for estimating the soil temperature. Can. J. Soil Sci.*, 91(4): 551-562, 2011. doi:10.4141/CJSS10073.
 - SHAO, C. et al. *Spatial variability in soil heat flux at three Inner Mongolia steppe ecosystems. Agricultural and Forest Meteorology*, 148: 1433-1443, 2008. doi:10.1016/j.agrformet.2008.04.008.
 - SMALLS-MANTEY, L. et al. *Validation of two soil heat flux estimation techniques against observations made in an engineered urban green space. Urban Climate*, 3: 56-66, 2013. De: dx.doi.org/10.1016/j.uclim.2012.11.001
 - VERHOEF, A. et al. *Spatio-temporal surface soil heat flux estimates from satellite data; results for the AMMA experiment at the Fakara (Niger) supersite. Agricultural and Forest Meteorology*, 154-155: 55-66, 2012. De: doi:10.1016/j.agrformet.2011.08.003
 - XIAO, X. et al. *Cumulative soil water evaporation as function of depth and time. Vadose Zone J.*, 10(July): 1016-1022, 2011. doi:10.2136/vzj2010.0070.
 - ZVOMUYA, F. et al. *Surface Albedo and Soil Heat Flux Changes Following Drilling Mud Application to a Semiarid, Mixed-Grass Prairie. Soil Sci. Soc. Am. J.*, 72(5): 1217-1225, 2008. doi:10.2136/sssaj2007.0430.
- De páginas electrónicas**
- EVETT, S. R. et al. *Soil profile method for soil thermal diffusivity, conductivity and heat flux: Comparison to soil heat flux plates. Advances in Water Resources*, 50(2012): 41-54, 2012. De: doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.04.012.

Tecnologías de la información, orientación a mercado y desempeño organizacional

Information technologies, market orientation and organizational performance

Carmen Berenice Ynzunza Cortés^{1*}, Juan Manuel Izar Landeta², Rosalva Ávila Acosta³

Ynzunza Cortés, C. B., Izar Landeta, J. M., Ávila Acosta, R. Tecnologías de la información, orientación a mercado y desempeño organizacional. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 62: 26-32, mayo-agosto 2014.

RESUMEN

En el ambiente de negocios actual, altamente dinámico y complejo, las organizaciones requieren estrategias que contribuyan a optimizar sus procesos y agilizar la toma de decisiones para responder no sólo a las amenazas competitivas y tecnológicas, sino también para detectar áreas de oportunidad que les permitan, además de sobrevivir, crecer y alcanzar un desempeño organizacional sostenido. Por ello, con una muestra no probabilística de conveniencia de 116 PyME del sector industrial del estado de Querétaro, a través de un modelo estructural, este estudio explora el vínculo existente entre los recursos y capacidades de tecnología de la información (TIC) y de orientación al mercado (OM) con el desempeño organizacional (DO). Los resultados obtenidos muestran la fuerte relación entre las tecnologías de la información y la orientación al mercado; al igual que entre ésta y el desempeño, no así la asociación entre los recursos y capacidades de tecnología de la información y el desempeño, que fue no significativa.

Palabras clave: tecnologías de la información, orientación a mercado, desempeño organizacional.

Keywords: information technologies, market orientation, organizational performance.

Recibido: 16 de abril de 2013, aceptado: 26 de febrero de 2014

¹ División Industrial, Universidad Tecnológica de Querétaro.

² Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

³ División Económico-Administrativa, Universidad Tecnológica de Querétaro.

* Autor para correspondencia: bynzunza@uteq.edu.mx

ABSTRACT

In today's business environment, highly dynamic and complex organizations need to settle up strategies that help to optimize their processes and decision making to adapt and respond quickly to competitive and technological threats, as well as detect business opportunities which allow them not only to survive, but to grow and achieve a sustainable organizational to performance. Therefore with a non convenient probabilistic sample of 116 Sme's in the industrial sector in the state of Queretaro, through a structural model, this study explores the link between information technology and market orientation resources and capabilities with performance. The results reached show the strong link between information technology and market orientation resources and capabilities, as well as market orientation with organizational performance. Nevertheless, the relationship between information technology and performance was a not significant one.

INTRODUCCIÓN

Los cambios y retos que se gestan en los mercados hoy día demandan de las organizaciones estrategias que les permitan hacer frente a esta nueva realidad competitiva, así como capitalizar las oportunidades que en la misma se generan para mejorar su competitividad y productividad. Algunos empresarios conscientes de la necesidad de cambio han creado nuevas formas de hacer negocio y han canalizado recursos y esfuerzos para el mejoramiento de sus

prácticas, han obtenido resultados financieros y de crecimiento superiores a su industria; y otros se han conformado con mantener sus mismas prácticas y una posición defensiva, con pocos procesos de gestión, innovación o integración, lo que ha puesto en riesgo la rentabilidad y supervivencia de sus organizaciones.

Diversas investigaciones han demostrado la importancia de la estrategia, recursos y capacidades como elementos críticos para generar ventaja competitiva (Wernerfelt, 1984; Barney, 1991). La tecnología y la innovación, la orientación al mercado, las tecnologías de la información (TIC) y los recursos humanos, etc., han sido considerados como determinantes de la productividad y competitividad, el desempeño y la habilidad de sostener la ventaja competitiva (Jaworski y Kohli, 1993; Day, 1994; Croteau y Bergeron, 2001). Al considerar ésta un área de interés que puede proveer información importante para el desempeño de las organizaciones, especialmente las PyME, y ser un aporte al desarrollo del conocimiento de las mismas, este estudio busca explorar el vínculo existente entre las TIC y los recursos y capacidades de OM con el desempeño organizacional, además de las relaciones existentes entre ellos.

Las Pequeñas y Medianas Empresas en México constituyen la base de la economía y son potenciales desarrolladoras de empleo y reactivadoras de la misma. Representan más del 99.8% de las empresas establecidas, emplean una fuerza laboral del 72% y aportan el 52% del Producto Interno Bruto nacional (INEGI, 2009). No obstante estar inmersas en un proceso de transformación producto de la apertura comercial y de haber implementado nuevas alternativas para incrementar su competitividad, muchas permanecen todavía rezagadas. Al igual que en otros estados del país y Querétaro, la industrialización ha traído, además de una mayor inversión y creación de empleos, un incremento en el número de competidores provenientes de otros países, con procesos innovadores de manufactura, tecnología, mercadotecnia y gestión, lo que ha repercutido fuertemente en el progreso de las PyME del estado, lo que ha propiciado el rezago paulatino de las mismas.

Pocas de las empresas locales poseen tecnología avanzada; la mayoría realiza labores de maquila y enfrentan condiciones económicas, tecnológicas



Figura 1. Las tecnologías de la información son una pieza fundamental de la realidad empresarial.
Fotografía de Berenice Ynzunza.

y de mercado adversas (Sverker et al., 2001). En virtud de ello, las preguntas de investigación planteadas son: ¿Cuál es el impacto de las TIC en la orientación a mercado? ¿Qué relación existe entre las TIC y el desempeño organizacional? ¿Qué relación existe entre los recursos y capacidades de orientación a mercado y el desempeño organizacional? La razón de este estudio obedece a la incipiente investigación en México sobre las organizaciones. Pocos de los estudios generados hasta ahora han explorado estos constructos en firmas pequeñas, situación que contrasta con la realidad del país. Igualmente, se espera que el artículo aporte conocimiento en el área de administración estratégica a través del abordaje de los constructos, sus dimensiones y la aplicación de un modelo estructural para su análisis.

En la literatura reciente varios recursos y capacidades han sido identificados por ser particularmente críticos para un desempeño mejorado. La orientación al mercado ha sido señalada como una fuente importante de ventaja competitiva con un efecto significativo sobre el desempeño financiero y de mercado (Narver y Slater, 1990; Slater y Narver, 1994), lo que sugiere que organizaciones orientadas al mercado presentan mayor habilidad para detectar los movimientos de los mercados y capacidad de respuesta a los cambios y amenazas competitivas (Kohli y Jaworski, 1990), ya que vinculan los procesos organizacionales con el ambiente externo (Day, 1994). De igual manera, señalan que empresas orientadas al mercado tienen un desempeño significativamente mayor que aquéllas con una menor orientación (Jaworski

y Kohli, 1993), porque desarrollan las respuestas estratégicas apropiadas para lograr el crecimiento deseado, la rentabilidad, la satisfacción del cliente y una mayor adaptabilidad (Vorhies y Harker, 2000), especialmente en empresas que adoptan la OM de manera temprana (Kumar et al., 2011).

La OM es asociada con la orientación emprendedora, la cultura de innovación y la internacionalización (Kirca et al., 2005; Armario et al., 2008); es considerada como la base de conocimiento sobre la cual las firmas desarrollan una combinación distintiva de recursos y capacidades significativos para el desempeño, la rentabilidad, innovación y desarrollo de nuevos productos (Gladson, 2008; Morgan et al., 2009; Viet y O' Cass, 2012), al igual que una de las estrategias para responder rápidamente a los cambios del mercado (Grinstein, 2008; Chou y Shiu, 2009). Con base en este sustento teórico se plantea la primera hipótesis de investigación.

H₁: Existe una relación significativa entre los recursos y capacidades de tecnologías de orientación a mercado y el desempeño organizacional.

Del mismo modo que la OM, los recursos y capacidades asociados a las TIC también han sido relacionados con el desempeño organizacional y la ventaja competitiva (Bharadwaj, 2000; Bhatt y Grover, 2005) porque soportan y mejoran la estrategia de negocio y los procesos de trabajo (Bharadwaj et al., 1998), también generan la combinación de activos que permiten crear una infraestructura flexible de apoyo a otras competencias nucleares para la gestión de clientes, los procesos, el desempeño y la innovación (Ravichandran y Lertwongsatien, 2005; Dibrell, 2008; Mithas et al., 2011). Se señala que un nivel superior de estas capacidades permite alcanzar un desempeño sostenido y mejor que los competidores de la industria (Croteau y Bergeron, 2001; Santhanam y Hartono, 2003). Con base en este soporte teórico, se sustenta la segunda hipótesis de investigación.

H₂: Existe una relación significativa entre los recursos y capacidades de tecnologías de la información y el desempeño organizacional.

Finalmente, las TIC han sido asociadas a la orientación a mercado, solas o en combinación con otros recursos estratégicos. Permiten a los negocios generar inteligencia de mercado; diseminar y usar la

información (Maltz y Kohli, 1996), así como planificar las actividades de mercadotecnia y eficientar el proceso de decisión (Stone y Good, 2001). También favorecen el trabajo y la colaboración entre grupos (Bondra y Davis, 1996), contribuyen a determinar el nivel de orientación a mercado y a desarrollar capacidades de tecnología de la información que mejor se ajusten a las demandas de mercado (Celuch y Murphy, 2010; Keelson, 2014). Por ello, la inversión en TIC es una estrategia clave para apoyar el desarrollo de capacidades de orientación a mercado relacionadas con el desempeño (Borges et al., 2009). Mayores competencias de TIC derivarán en mayores niveles de orientación al cliente (Nakata y Zhu, 2006). Este soporte teórico permite sustentar la siguiente hipótesis de investigación.

H₃: Existe una relación significativa entre los recursos y capacidades de tecnologías de la información y orientación a mercado.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio es transversal causal y fue dirigido a las pequeñas y medianas empresas del sector de manufactura industrial del estado de Querétaro, ubicadas en la ciudad capital y los municipios de Corregidora, Pedro Escobedo, El Marqués y San Juan del Río, por concentrar la mayor parte de las industrias de los sectores más representativos del estado (77.4%). El criterio de selección fue el número de empleados, utilizando como referente los criterios de clasificación del Directorio Maestro Empresarial (DIME) de la Secretaría de Desarrollo Sustentable del Estado; se delimitó el tamaño de la población a 646 empresas. Los rangos de clasificación son de 14 a 50 empleados para pequeñas y de 51 a 500 empleados para medianas. El muestreo fue de conveniencia no probabilístico.

La recolección de información se llevó a cabo a través de entrevistas aplicadas a directivos de las PyME que desearon participar y cumplieran con los criterios de selección. El instrumento de medición consta de 40 ítems tomados de las escalas desarrolladas por Croteau y Bergeron (2001) y Ravinchandran y Lertwongsatien (2005) para las TIC, que consideran como variables el escaneo y arquitectura tecnológica; el soporte, la operación de los sistemas y la infraestructura de relación. La orientación al mercado se exploró con la escala desarrollada por Narver y Slater (1990) en tres

dimensiones: orientación al cliente, al consumidor y coordinación interfuncional; el desempeño organizacional fue evaluado con ítems de Venkatraman (1989) y Vorhies y Morgan (2005) que miden el crecimiento, rentabilidad y satisfacción al cliente. Los aspectos operativos y de adaptabilidad se evaluaron con ítems desarrollados para esta investigación.

El modelo se evaluó con análisis estructural (SEM). La consistencia interna de la escala de medición se validó a través del alfa de Cronbach. La fiabilidad y validez de las dimensiones de cada uno de los constructos se realizó mediante el análisis factorial confirmatorio (AFC). Los resultados del modelo prueban el ajuste del mismo. La prueba de Chi cuadrada fue de 154.107 con 62 grados de

libertad, con un resultado de bondad de ajuste de 2.486. El CFI de .904, GFI de .889, RMSEA de .104 y un RMR de .054. Para estimar la validez convergente se calculó el índice de fiabilidad compuesta (IFC), el cual es superior a 0.7 y el índice de varianza extraída (IVE), cuyo resultado es mayor que 0.5. (Tabla 1). Respecto de la validez discriminante, se estimaron las correlaciones entre variables e indicadores (Tabla 2) y se determinó la varianza extraída de cada variable latente. De modo paralelo se aplicó el test de intervalo de confianza para la correlación entre variables. En este caso, la varianza extraída de cada variable fue superior y el error estándar de la correlación entre los factores fue menor que la unidad, lo cual permite afirmar la validez discriminante. Una vez probada la validez se procede a la estimación del modelo, cuyos resultados se muestran en la Tabla 3.

Tabla 1. Resultados del Análisis Factorial Confirmatorio

Variables	No. de indicadores	Carga factorial	Valor t robusto	Alfa de Cronbach	IFC	IVE
Desempeño	Crecimiento	.789	8.776	.771	.8746	.5848
	Satisfacción	.777	1.000	.790		
	Rentabilidad	.839	9.400	.833		
	Adaptabilidad	.780	8.666	.780		
	Operación	.621	6.669	.640		
Tecnologías de la Información	Arquitectura tecnológica	.812	1.000	.821	.9333	.6807
	Escaneo tecnológico	.822	10.194	.811		
	Operación de los sistemas	.818	10.117	.824		
	Soporte de sistemas	.885	11.334	.884		
	Infraestructura de relación	.785	9.547	.780		
Orientación a mercado	Orientación al consumidor	.798	1.000	.716	.8394	.6365
	Orientación al cliente	.729	8.182	.855		
	Coordinación interfuncional	.861	9.918	.819		

$S-BX^2$ ($df = 62$) ; $p < .001$; CFI = .904; GFI = .889; RMR: .054; RMSEA = .104

α = Parámetros constreñidos a ese valor en el proceso de identificación.

*** = $p < .001$

Tabla 2. Modelo Estructural

Variable	DO	TIC	OM
DO	.584	.452	.330
TIC	.432-.634	.680	.534
OM	.450-.699	.534-.857	.636

RESULTADOS

Los resultados obtenidos del modelo estructural, las relaciones encontradas y el nivel de significación de las mismas se presentan a continuación. Los hallazgos prueban la relación existente entre las tecnologías de la información y el desempeño organizacional (.143; $p < .05$). La asociación es no significativa con un efecto considerado como bajo. En cuanto al vínculo entre la orientación al mercado y el desempeño organizacional, los estadísticos alcanzados confirman también esta asociación, significativa y positiva, con un efecto considerado como grande (.595, $p < .001$). Se valida también la fuerte relación entre los recursos y capacidades de tecnología de la información y la orientación al mercado (.839, $p < .001$). Las dimensiones de todos los constructos estudiados fueron significativas ($p < .001$), con valores superiores en todas ellas.

Tabla 3. Resultados del Modelo Estructural

Relación estructural	Coefficiente estandarizado	Valor T robusto	Prueba de hipótesis
H_1 : TIC DO	.143	.758	No aceptada
H_2 : OM DO	.595	2.934	Aceptada
H_3 : TIC OM	.839	7.990	Aceptada

DISCUSIÓN

El objetivo de este estudio ha sido analizar la relación existente entre las tecnologías de la información, la orientación a mercado y el desempeño organizacional. Los resultados obtenidos coinciden con los alcanzados en estudios similares respecto de la asociación positiva entre las tecnologías de la información y el desempeño organizacional (Bharadwaj, 2000; Bhat y Grover, 2005). Sin embargo, el efecto sobre el desempeño fue no significativo, aunque valida su impacto para el desarrollo de otros recursos y capacidades como la orientación a mercado. La infraestructura y el escaneo tecnológico, igual que la operación y el soporte de sistemas e infraestructura de relación, forman parte de los recursos y capacidades en tecnologías de la información que contribuyen a la generación de otras capacidades vinculadas con el desempeño organizacional. De igual manera, se prueba el vínculo existente entre la adopción de TIC y los recursos y capacidades de orientación a

mercado referidos por otros autores; se encuentra que la integración de las TIC a las actividades de la empresa facilitan la orientación a mercado, por lo que la orientación al cliente, al competidor y la coordinación interfuncional son aspectos críticos para el éxito organizacional. Estos hallazgos son coincidentes a los encontrados por Slater y Narver (1994); Kohli y Jaworski (1990), y Nakata y Zhu (2006). Entonces la orientación a mercado podría ser un medio para construir algún tipo de ventaja competitiva, que ayude a minimizar el impacto de las fuerzas de mercado sobre los objetivos organizacionales y un mecanismo para alcanzar un desempeño superior; no obstante, requerirá la incorporación de tecnología en las organizaciones que contribuya a la construcción de capacidades de soporte.

Así, las ventajas potenciales del uso de las TIC para las actividades de orientación a mercado son evidentes, ya que permiten contar con mecanismos para monitorear el entorno y establecer estrategias de adaptación al mismo. Además, facilitan la generación, acceso y difusión de información para la toma de decisiones, la satisfacción del cliente y el desempeño.

Finalmente, se probó que la orientación a mercado es un recurso organizacional estratégico, vinculado fuertemente con los resultados organizacionales, lo cual muestra la importancia de que las organizaciones, sobre todo las PyME, estén orientadas de esta manera, y plantea la necesidad de generar estos recursos y capacidades, ya que entre mayor sea esta orientación, mayor será la información que a través de los sistemas podrá recopilarse y diseminarse para entender los mercados, las necesidades de los clientes y responder rápidamente a los cambios tecnológicos y competitivos. Así, las PyME que estén fuertemente orientadas a mercado alcanzarán un mayor desempeño.

CONCLUSIONES

Se concluye que las tecnologías de la información son una pieza fundamental de la realidad empresarial, dan soporte a otras áreas funcionales y estratégicas de la organización, donde su contribución es significativa; permiten que las organizaciones, sobre todo las PyME entiendan mejor el entorno, se adapten y aprovechen mejor las oportunidades. Del

mismo modo fortalecen los procesos de información, gestión y toma de decisiones. De ahí la necesidad de que las PyME inviertan y desarrollen estas capacidades estratégicas.

En virtud de que este estudio se limita a evaluar el impacto de las TIC en la orientación a mercado y se enfoca más al soporte de los sistemas de información,

se podría incursionar en el estudio de otros recursos y capacidades como el capital intelectual, la gestión de conocimiento, el aprendizaje y la cultura organizacional. De igual manera, se podría explorar el uso de los medios electrónicos en la estrategia de negocio como una alternativa viable para las PyME que puede contribuir a mejorar la gestión empresarial y a incrementar la capacidad competitiva.

LITERATURA CITADA

- ARMARIO, J. et al. Market orientation and internationalization in small and medium-sized enterprises. *Journal of Small Business Management*, 46: 485-511, 2008.
- BARNEY, J. Firm Resources and Sustained Competitive Advantage. *Journal of Management*, 17(1): 99-120, 1991.
- BHARADWAJ, A. A Resourced-Based Perspective on Information Technology Capability and Firm Performance: An Empirical Investigation. *MIS Quarterly*, 24(1): 169-196, 2000.
- BHARADWAJ, A. et al. It Capabilities: Theoretical Perspectives and Empirical Operationalization. In *Proceedings of the 19th International Conference on Information Systems*, 378-385, 1998.
- BHAT, G. y GROVER, V. Types of Information Technology Capabilities and Their Role in Competitive Advantage: An Empirical Study. *Journal of Management Information Systems*, 22(2): 253-277, 2005.
- BONDRA, J. y DAVIS, T. Marketings role in cross-functional information management. *Industrial Marketing Management*, 25, 187-195, 1996.
- BORGES, M. et al. Information technology impact on market orientation in e-business. *Journal of Business Research*, 62(9): 883-890, 2009.
- CELUCH, K. y MURPHY, G. SME Internet use and strategic flexibility: the moderating effect of IT market orientation. *Journal of Marketing Management*, 26(1-2): 131-145, 2010.
- CHOU, H. y SHIU, C. The effect of market orientation intention and superiority on new product performance. *The Journal of American Academy of Business, Cambridge*, 14(2): 92-97, 2009.
- CROTEAU, A. y BERGERON, F. An information technology triology: business strategy, technological deployment and organizational performance. *Journal of Strategic Information Systems*, 10(2): 77-99, 2001.
- DAY, G. The Capabilities of Market Driven Organizations. *Journal of Marketing*, 58(4): 3-52, 1994.
- DIBRELL, C. et al. Fueling innovation through information technology in SMES. *Journal of Small Business Management*, 46(2): 203-218, 2008.
- GLADSON, N. Strategic market orientation and business performance. The study of food and beverages organizations in Nigeria. *European Journal of Marketing*, 42(3): 279-286, 2008.
- GRINSTEIN, A. The relationships between market orientation and alternative strategic orientations a meta-analysis. *European Journal of Marketing*, 42(1): 115-134, 2008.
- INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA) Micro, Pequeña, Mediana y Gran Empresa. Estratificación de los establecimientos. *Censos Económicos*, 2009.
- JAWORSKI, B. y KOHLI, A. Market Orientation: Antecedents and Consequences. *Journal of Marketing*, 57(3): 53-70, 1993.
- KEELSON, S. The moderating role of organizational capabilities and internal marketing in market orientation and business success. *Review of Business and Finance studies*, 5(1): 1-18, 2014.
- KIRKA, A. et al. Market orientation: a meta-analytic review and assessment of its antecedents and impact on performance. *Journal of Marketing*, 69, 24-41, 2005.
- KOHLI, A. y JAWORSKI, B. Market Orientation: The Construct, Research Propositions and Managerial Implications. *Journal of Marketing*, 54(1): 1-18, 1990.
- KUMAR, V. et al. Is Market Orientation a Source of sustainable competitive Advantage or simply the Cost of Competing? *Journal of Marketing*, 25: 16-30, 2011.
- MALTZ, E. y KOHLI, A. Market intelligence dissemination Across Functional boundaries. *Journal of Marketing Research*, 33: 47-61, 1996.
- MITHAS, S. et al. How information management capability influences firm performance. *MIS Quarterly*, 35: 1, 237-256, 2011.
- MORGAN, N. et al. Market orientation, marketing capabilities and firm performance. *Strategic Management Journal*, 30: 909-920, 2009.
- NANAKA, CH. y ZHU, Z. Information Technology and Customer Orientation: A study of direct, mediated, and interactive linkages. *Journal of Marketing Management*, 22(3/4): 319-354, 2006.

- NARVER, J. y SLATER, F. The Effect of a Market Orientation on Business Profitability. *Journal of Marketing*, 54(4): 20-35, 1990.
- RAVICHANDRAN, T. y LERTWONGSATIEN, C. Effect of Information Systems Resources and Capabilities on Firm Performance: A Resourced Based Perspective. *Journal of Management Information Systems*, 21(4): 237-276, 2005.
- SANTHANAM, R. y HARTONO, E. Issues in Linking Information Technology Capability to Firm Performance. *MIS Quarterly*, 27(1): 125-153, 2003.
- SLATER, S. y NARVER, J. Market Orientation, Customer Value and Superior Performance. *Business Horizons*, 37(2): 22-28, 1994.
- STONE, R. y GOOD, D. The Assimilation of computer-Aided Marketing Activities. *Information and Management*, 38: 437-447, 2001.
- SVERKER, A. et al. El Sistema de Innovación de Querétaro, Cooperación Regional Gotemburgo (Suecia)-Querétaro (México). *Concyteq*, 1-35, 2001.
- VENKATRAMAN, N. Strategic orientation of business enterprises: the construct, dimensionality and measurement. *Management Science*, 35(8): 942-962, 1989.
- VIET, L. y O´CASS. A. In Search of Innovation and Customer-related Performance Superiority: The Role of Market Orientation, Marketing Capability, and Innovation Capability Interactions. *Journal of Product Innovation Management*, 29(5): 862-877, 2012.
- VORHIES, D. y HARKER, M. The Capabilities and Performance Advantages of Market Driven Firms: An Empirical Investigation. *Australian Journal of Management*, 25(2): 145-171, 2000.
- VORHIES, D. y MORGAN, N. Benchmarking Marketing Capabilities for Sustainable Competitive Advantage. *Journal of Marketing*, 69(1): 80-94, 2005.
- WERFERFELT, B. A resourced based view of the firm. *Strategic Management Journal*, 5, 171-180, 1994.

Establecimiento de plantas beneficiadoras de frijol negro en Zacatecas: un estudio sobre ubicación óptima de instalaciones

Establishment of plants to clean and to classify black bean in the state of Zacatecas: a study on optimal location of facilities

J. Alberto García Salazar^{1*}, Martha Elena Fuentes López², Eugenio Guzmán Soria³, Roberto C. García Sánchez¹

García Salazar, J. A., Fuentes López, M. E., Guzmán Soria, E., García Sánchez R.C., Establecimiento de plantas beneficiadoras de frijol negro en Zacatecas: un estudio sobre ubicación óptima de instalaciones. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 62: 33-41, mayo-agosto 2014.

RESUMEN

Con la finalidad de limpiar y clasificar el frijol negro producido en Zacatecas, a mediados de la década pasada entraron en operación dos plantas de beneficio en los municipios de Sombrerete y Calera. En la ubicación se consideró el acceso a las vías de comunicación; sin embargo, mientras Sombrerete ocupa el primer lugar en la producción estatal de frijol, Calera apenas genera entre 1% y 2%. La ubicación adecuada de instalaciones industriales es importante en proyectos de agregación de valor porque permite disminuir los costos de transporte de la materia prima. Para determinar si la ubicación de las plantas se realizó de manera óptima se usó un modelo de programación lineal que minimiza los costos de distribución y de producción. Los resultados indican que los menores costos de transporte de abasto de materia prima corresponden a las alternativas Juan Aldama-Sombrerete, Fresnillo-Sombrerete, Río Grande-Sombrerete y Miguel Auza-Sombrerete con 543,000, 621,000, 655,000 y 671,000

Palabras clave: ubicación, geografía económica, Sombrerete, Calera, modelo de programación lineal, costo de transporte.

Keywords: localization, economic geographic, Sombrerete, Calera, linear programming model, transport cost.

Recibido: 21 de mayo de 2013, aceptado: 11 de octubre de 2013

¹ Economía, Colegio de Postgraduados campus Montecillo.

² Campo Experimental San Martín CIRCE, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

³ Posgrado de Administración, Departamento de Ciencias Económico Administrativas, Instituto Tecnológico de Celaya.

* Autor para correspondencia: jsalazar@colpos.mx

pesos; esto indica que la ubicación de la planta ubicada en Sombrerete se hizo de manera óptima, mientras que Juan Aldama, Fresnillo, Río Grande y Miguel Auza hubieran sido mejores opciones que Calera.

ABSTRACT

In the middle of the last decade, two plants to clean and to classified black bean began operation in Sombrerete and Calera, Zacatecas. To place both plants, communication access routes were considered; however, while Sombrerete takes first place in the bean state production, Calera generates between 1 and 2%. In value aggregation projects it is important the adequate location of plants, because this allows to diminish the transportation costs of raw material. To know if the plants were located optimally, a linear programming model that minimizes cost of distribution and production was used. The results indicate that the lowest costs of transportation of raw material correspond to Juan Aldama-Sombrerete, Fresnillo-Sombrerete, Río Grande -Sombrerete and Miguel Auza-Sombrerete with 543,000, 621,000, 655,000 and 671,000 pesos; this indicates that the plant in Sombrerete was optimally located while the municipalities of Juan Aldama, Fresnillo, Río Grande and Miguel Auza would have been better options than the municipality of Calera.

INTRODUCCIÓN

Actualmente Zacatecas ocupa el primer lugar en la producción de frijol en México. En 2010 la

superficie cosechada se ubicó en 509,000 ha y la producción en 265,000 t (Tabla 1). No obstante ser el mayor productor del país, el estado presenta serios problemas relacionados con la leguminosa, entre los que destacan la falta de competitividad del producto y la ausencia de canales eficientes de comercialización que han originado que el productor no pueda vender el frijol en los mercados nacionales a precios que permitan recuperar los costos de producción.

Existe un consumo diferenciado por los factores y características considerados por los consumidores al elegir la clase, variedad, presentación o marca comercial de su preferencia; esto lleva a tendencias de consumo de productos con mayor valor agregado obtenido a través del empaquetado de frijol. Los cambios en los gustos de los clientes indican que las elecciones de consumo están desplazándose hacia productos con mayor valor agregado; en el caso del frijol dicha inclinación se traducirá en el beneficio a través del empaquetado y la industrialización, o bien, por medio de la obtención de productos más saludables y convenientes para los compradores. Debido a

que los consumidores no son indiferentes a la oferta diversificada de frijol ni a los cambios en el precio, el incremento de éste provocará la disminución en la cantidad demandada, la sustitución por otras variedades de frijol o por alimentos de menor precio (Rodríguez Licea, García Salazar, Rebollar Rebollar y Cruz Contreras, 2010).

Con el propósito de atender los gustos del cliente, agregar valor al frijol y mejorar el precio y la competitividad, desde febrero de 2006 entraron en operación dos plantas para limpiar, clasificar y empaquetar la leguminosa en Zacatecas. La capacidad de cada una fue de 20 t/h. Con una inversión inicial de 30.5 millones de pesos, aportados por los gobiernos estatal y federal, el primer centro de beneficio de frijol se ubicó en el municipio de Calera, Zacatecas, cerca de la zona industrial. Algunos factores que se tomaron en cuenta para la instalación de la planta fue el fácil acceso a la carretera 49 una de las principales vías de comunicación de la entidad, y la existencia de infraestructura no utilizada, propiedad de la desaparecida Productora Nacional de Semillas (PRONASE), que fue donada por el go-

bierno federal. Esta opción no consideró la disponibilidad de materia prima, ya que el municipio de Calera produce entre 1% y 2% de la producción estatal, y los municipios con mayores excedentes son Fresnillo, Río Grande, Miguel Auza y Juan Aldama, que produjeron más de 40% de la producción de la entidad (Tabla 1). Como se puede observar en la Figura 1, dichos municipios se encuentran a una distancia considerable de Calera, lo cual implica altos costos de transporte que tendría que pagar el productor.

La segunda planta, con un costo de 35 millones de pesos, se instaló en Sombrerete y, a diferencia de la primera, no contaba con instalaciones previas, de modo que fue necesaria la construcción de la planta en su totalidad. Los factores considerados para la instalación de ésta fueron el fácil acceso a la

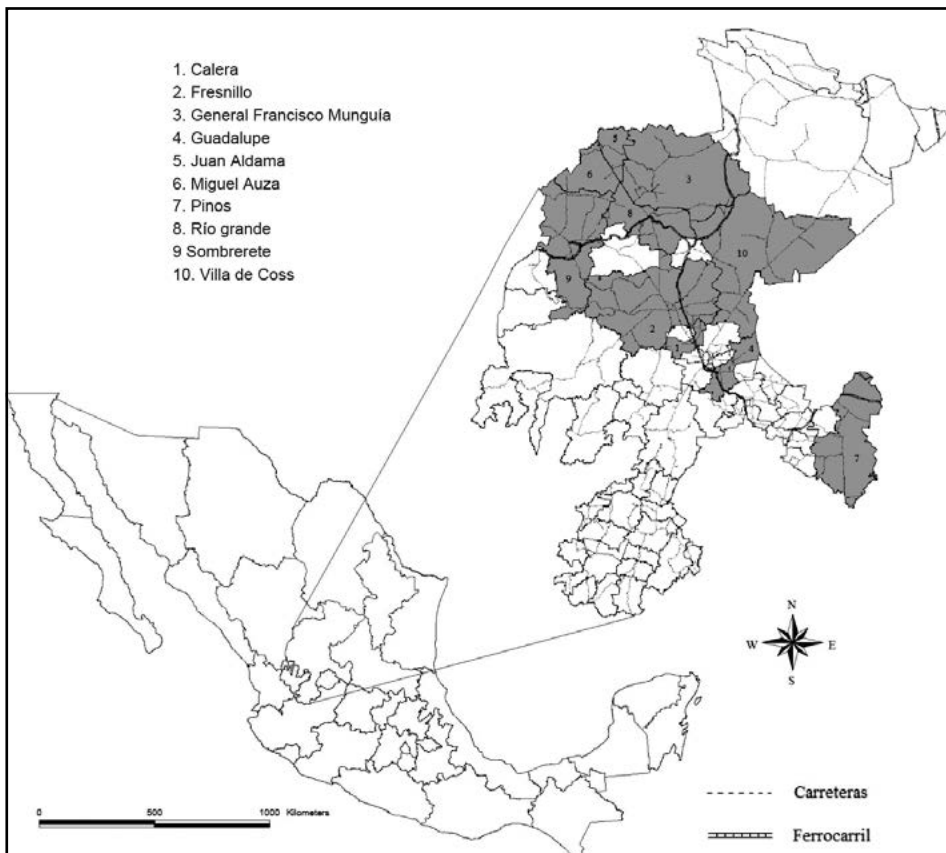


Figura 1. Ubicación de los municipios productores de frijol.

Tabla 1. Superficie y producción de frijol por municipio en 2010

Municipio	Superficie		Producción	
	ha	%	t	%
Sombrerete	97,334	19.1	80,105	30.2
Río Grande	62,427	12.3	37,181	14.0
Fresnillo	68,037	13.4	31,085	11.7
Miguel Auza	47,145	9.3	28,849	10.9
Juan Aldama	36,090	7.1	17,100	6.5
Saín Alto	21,695	4.3	10,295	3.9
Pinos	32,472	6.4	8,744	3.3
Francisco R. Murguía	22,500	4.4	8,643	3.3
Villa de Cos	25,296	5.0	7,628	2.9
Guadalupe	15,141	3.0	4,536	1.7
Calera	6,890	1.4	2,829	1.1
Gral. Pánfilo N.	8,278	1.6	2,774	1.0
Pánuco	10,393	2.0	2,768	1.0
Vetagrande	6,754	1.3	2,403	0.9
Gral. Enrique E.	9,162	1.8	2,202	0.8
Villa Hidalgo	2,450	0.5	2,125	0.8
Ojocaliente	6,043	1.2	2,022	0.8
Morelos	5,149	1.0	1,868	0.7
Zacatecas	4,703	0.9	1,827	0.7
Noria de Ángeles	2,021	0.4	1,515	0.6
Trancoso	3,732	0.7	1,278	0.5
Otros	15,403	3.0	7,261	2.7
Total	509,113	100.0	265,039	100.0

Fuente: SIAP (2010).

carretera 45, una de las principales vías de comunicación de la entidad, y la abundancia de materia prima. Sombrerete es el mayor productor de frijol de Zacatecas, con 30% de la producción en 2010.

El objetivo de la instalación de las dos plantas fue dar mayor valor agregado al frijol pues de esta manera el productor tendría una mayor participación en el precio pagado por el consumidor. Para dar valor agregado se requiere que los productores recurran con su materia prima a las plantas beneficiadoras, por eso la necesidad de que las industrias estén ubicadas cerca de las zonas productoras. Una ubicación inadecuada genera problemas de abastecimiento de materia prima, ya que prefieren vender su frijol a los intermediarios que incurrir en mayores costos de transporte.

En este trabajo se buscó determinar si la ubicación fue la adecuada de acuerdo a la inversión llevada a cabo y la importancia del frijol en Zacatecas. La hipótesis que se plantea sostiene que la planta de Sombrerete fue instalada de manera óptima; sin embargo, la ubicada en Calera, relativamente lejana de las zonas productoras de materia prima, no fue la mejor opción.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para alcanzar el objetivo se usó un modelo lineal de distribución y producción que consideró el abasto de materia prima y la distribución del producto final. Desde una perspectiva empírica los estudios que han abordado la distribución de productos agrícolas se pueden clasificar en: a) no han usado modelos

de distribución; b) han usado modelos lineales de distribución; c) hacen uso de modelos de equilibrio espacial; d) consideran el equilibrio espacial e intertemporal. La formulación del modelo se basó en Takayama y Judge (1971), Anderson et al. (1998) y en los trabajos empíricos de Bivings (1997), Kawaguchi et al. (1997), García y Williams (2004) Cramer et al. (1993), Boyd et al. (1993) y García Salazar y Santiago (2004).

Suponiendo $i(i=1,2..S=10)$ regiones productoras de materia prima, $k(k=1,2..K=10)$ zonas para ubicar las plantas y $j(j=1,2...J=4)$ mercados del frijol envasado, la formulación matemática del modelo se puede expresar en los siguientes términos:

$$\text{Min}C = \sum_i \sum_k (p_{ik}x_{ik}) + \sum_k \sum_j (p_{kj}x_{kj}) + \sum_k (p_k)x_k \quad 1)$$

sujeto a:

$$s_i \geq \sum_{i=1}^K x_{ik} \quad 2)$$

$$\sum_{i=1}^I x_{ik} = \alpha_k x_k \quad 3)$$

$$x_k = \sum_{j=1}^J x_{kj} \quad 4)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{kj} \geq y_j \quad 5)$$

$$x_{ik}, x_{kj} \geq 0 \quad 6)$$

donde p_{ik} es el costo de transporte de i a k ; x_{ik} es el envío de materia prima de i a k ; p_{kj} es costo de transporte de k a j ; x_{kj} es el envío de frijol beneficiado de k a j ; p_k es el costo de producción del beneficio en k ; x_k es la producción de frijol beneficiado en k ; s_i es la disponibilidad de materia prima en i ; α_k es el requerimiento de materia prima para producir una unidad de frijol beneficiado en k ; y_j es el consumo de frijol beneficiado en j .

La función objetivo (ecuación 1) minimizó los costos de transporte y de producción. La ecuación 2 indica que la disponibilidad de materia prima en la región i debe ser mayor o igual a la suma de los envíos de materia prima de i a las diferentes regiones k .



Figura 2. Planta beneficiadora de frijol en Zacatecas.
Fotografía tomada de Google Maps.

La ecuación 3 indica que la suma de los envíos de materia prima de las zonas productoras i a la planta k debe ser igual a la producción de frijol beneficiado en k , multiplicado por el coeficiente de transformación de materia prima a producto final.

La ecuación 4 señala que la producción de producto beneficiado en k es igual a la suma de los envíos de producto beneficiado de k a los mercados consumidores j .

La ecuación 5 indica que la sumatoria de los envíos de producto beneficiado de k a j debe ser mayor o igual al consumo de producto final en cada mercado j . La ecuación 6 establece las condiciones de no negatividad de las variables del modelo.

Para realizar el análisis espacial de la producción de frijol en el estado de Zacatecas se consideraron los principales municipios con excedentes, estos son: 1) Calera; 2) Fresnillo; 3) General Francisco Murguía; 4) Guadalupe; 5) Juan Aldama; 6) Miguel Auza; 7) Pinos; 8) Río Grande; 9) Sombrerete; 10) Villa de Cos. Se supuso que las dos plantas podrían estar ubicadas en cualquiera de los diez municipios.

Para analizar si la ubicación de las dos plantas se realizó de manera correcta fue necesario comparar las opciones seleccionadas con otras ocho alternativas potenciales donde se podrían haber instalado las industrias. Se consideraron todas las combinaciones posibles para ubicar las dos plantas; el número total de combinaciones se obtuvo a través de la siguiente fórmula $(I^2-1)/2$, en donde I es igual a 10 regiones productoras de materia prima. La primera alternativa es Calera-Fresnillo, la segunda Calera-General Francisco Murguía, la tercera Calera-Guadalupe, y la número 45 Sombrerete-Villa de Cos. La variable x_k fue introdu-

cida de manera exógena en el modelo. Cada solución consideró dos regiones con una capacidad instalada de 60 mil t por planta. La solución con el menor costo determinó la ubicación óptima.

La información para obtener la solución provino de varias fuentes. La producción usada en el modelo corresponde al promedio anual de los años 2004, 2005 y 2006; se seleccionó este promedio de años por ser representativo de la producción obtenida en la entidad. La información sobre producción de frijol fue obtenida del SIAP (2004-2006). El modelo usó información de costos de transporte y producción para el año 2006. En el primero (p_{jk}) se obtuvo al multiplicar la tarifa promedio anual de \$0.55 ($t\ km^{-1}$) por la distancia de la región productora de materia prima a los puntos de ubicación de las plantas; la información provino de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2006) y del *Gran Atlas de Carreteras 2002* (Palacios y Palacios, 2002).

Como puntos de ubicación de las plantas se consideraron las cabeceras municipales. La ubicación geográfica de dichos municipios se puede observar en la Figura 1. Los costos de transporte de la planta a los mercados consumidores se obtuvieron de manera similar, y la información provino de las mismas fuentes. Basados en el consumo regional de

frijol negro reportado por Borja Bravo y García Salazar (2008) se consideró al Centro, Sur, Península y Golfo como mercados consumidores, y para determinar los costos de transporte se tomaron como referencia a las ciudades de México, Oaxaca, Mérida y Veracruz.

Los costos de producción del beneficio, y los coeficientes de transformación de materia prima a producto beneficiado se obtuvieron de la empresa Frijoles Negros de Zacatecas⁴.

Las distintas soluciones del modelo se obtuvieron usando el procedimiento MINOS escrito en el lenguaje de programación GAMS (Brooke et al., 1998).

RESULTADOS

Se obtuvieron 45 soluciones para el modelo de programación que corresponden a las diferentes alternativas. En la Tabla 2 se presentan los resultados de 12 alternativas con el menor costo de transporte de materia prima de las zonas productoras a las plantas beneficiadoras. Las 12 alternativas fueron ordenadas en forma ascendente, de tal manera que la primera corresponde a la opción con el menor costo. El costo de transporte de la materia prima osciló entre 544,000 y 944,000 pesos. La diferencia del costo entre la opción 1 (la mejor) y la opción 12

Tabla 2. Determinación de la ubicación óptima de las plantas con base en el costo de transporte de la materia prima

Posición	Ubicación	CTMP	Ubicación	CTMP	CTMP
	Planta 1	\$	Planta 2	\$	Total \$
1	Juan Aldama	310,000	Sombrerete	234,000	544,000
2	Fresnillo	387,000	Sombrerete	234,000	621,000
3	Río Grande	347,000	Sombrerete	308,000	655,000
4	Miguel Auza	437,000	Sombrerete	234,000	671,000
5	Fresnillo	387,000	Juan Aldama	310,000	697,000
6	Fresnillo	387,000	Río Grande	347,000	734,000
7	Juan Aldama	316,000	Río Grande	486,000	802,000
8	Fresnillo	387,000	Miguel Auza	437,000	824,000
9	G. F. Murguía	558,000	Sombrerete	308,000	866,000
10	Calera	679,000	Sombrerete	233,000	912,000
11	Miguel Auza	443,000	Río Grande	486,000	929,000
12	Fresnillo	387,000	G. F. Murguía	557,000	944,000

CTMP: Costos de transporte de abasto de la materia prima.

⁴ Información proporcionada por la C. P. Graciela Sierra Amador, Gerente de la Empresa Frijoles Negros de Zacatecas, S. A. de C. V. Marzo de 2007.

(la peor de las alternativas seleccionadas) indica la importancia de una ubicación adecuada de las plantas beneficiadoras.

En la Tabla 3 se presentan las 12 alternativas con el menor costo de distribución del producto final; en este caso los costos oscilaron entre 60,918,000 pesos y 67,398,000 pesos. Igual que en el caso anterior, las diferentes alternativas fueron ordenadas en forma ascendente para ubicar la mejor opción.

Las mejores alternativas cuando se considera la suma de precios de transporte de materia prima, el

costo de producción y los de instalación de la planta se presentan en la Tabla 4. En este caso oscilaron entre 108,172,000 pesos y 112,415,000 pesos. Se puede observar con base en este criterio que la opción más económica es la alternativa Calera-Sombrerete, que fue la opción seleccionada.

DISCUSIÓN

La teoría de la localización y geografía económica trata de explicar por qué las actividades suelen concentrarse en ciertas áreas y no se distribuyen en forma aleatoria. Este enfoque hace hincapié en el peso

Tabla 3. Determinación de la ubicación óptima de las plantas con base en el costo de distribución del producto final

Posición	Ubicación	CTPF	Ubicación	CTPF	CTPF
	Planta 1	\$	Planta 2	\$	Total
1	Guadalupe	30,300,000	Pinos	30,618,000	60,918,000
2	Calera	31,440,000	Pinos	30,618,000	62,058,000
3	Fresnillo	27,636,000	Pinos	35,442,000	63,078,000
4	Pinos	30,618,000	Villa de Cos	33,000,000	63,618,000
5	Pinos	35,442,000	G. F. Murguía	29,616,000	65,058,000
6	Calera	45,876,000	Guadalupe	19,740,000	65,616,000
7	Pinos	41,178,000	Sombrerete	25,020,000	66,198,000
8	Fresnillo	27,636,000	Guadalupe	39,000,000	66,636,000
9	G. F. Murguía	25,620,000	Pinos	41,178,000	66,798,000
10	Guadalupe	44,736,000	Villa de Cos	22,440,000	67,176,000
11	Juan Aldama	36,660,000	Pinos	30,618,000	67,278,000
12	Miguel Auza	36,780,000	Pinos	30,618,000	67,398,000

CTPF: Costos de transporte de distribución del producto final.

Tabla 4. Determinación de la ubicación óptima de las plantas con base en el costo de transporte de la materia prima y los de producción e instalación

Alternativa	Ubicación	CTMP	Ubicación	CTMP	Costo
	Planta 1	\$	Planta 2	\$	Total*
1	Calera	679,000	Sombrerete	234,000	108,172,000
2	Calera	679,000	Juan Aldama	310,000	108,249,000
3	Calera	679,000	Río Grande	347,000	108,285,000
4	Calera	679,000	Miguel Auza	437,000	108,376,000
5	Calera	679,000	G. F. Murguía	557,000	108,496,000
6	Calera	1,369,000	Fresnillo	545,000	109,173,000
7	Calera	1,418,000	Guadalupe	1,230,000	109,908,000
8	Calera	1,556,000	Villa de Cos	1,533,000	110,349,000
9	Calera	1,284,000	Pinos	3,066,000	111,610,000
10	Juan Aldama	310,000	Sombrerete	234,000	112,304,000
11	Fresnillo	387,000	Sombrerete	234,000	112,381,000
12	Río Grande	347,000	Sombrerete	308,000	112,415,000

* El costo total incluye precios de producción e instalación.

relativo del precio de transporte en el precio final, lo que explicaría por qué algunas actividades suelen ubicarse preferentemente cerca de los recursos naturales, otras se localizan cerca de los mercados que van a abastecer, en tanto que otras pueden establecerse en cualquier lugar (Ramos, 1999).

Existen numerosos trabajos empíricos que analizan el problema de la ubicación óptima de instalaciones, en éstos se encuentra la mejor ubicación de las instalaciones y la asignación de clientes que minimiza el transporte y los costos fijos. Los modelos de localización de instalaciones determinan el conjunto de ubicaciones en una red que minimiza la suma de los precios de inversión, de producción y de distribución para cumplir con un conjunto conocido de demandas (Harkness and Reville, 2003; Barahona y Chudak, 2005; Ling-Yun y Zhang, 2006).

Con base en el planteamiento anterior y el objetivo que se propuso alcanzar, la ubicación de las plantas debió realizarse con el criterio de costos de transporte mínimos del abasto de materia prima. En la Tabla 2 se muestra que la mejor opción difiere de la seleccionada.

Si se hubiera considerado como criterio la minimización de los precios de transporte del abasto de materia prima, la mejor opción era Juan Aldama-Sombrerete, ya que el total de abasto habría sido de 544,000 pesos, menor a la opción Calera-Sombrerete, en donde el mismo asciende a 912,000 pesos. Otras opciones mejores que Calera-Sombrerete hubieran sido Fresnillo-Sombrerete, Río Grande-Sombrerete, Miguel Auza-Sombrerete y Fresnillo-Juan Aldama, con costos de transporte inferiores a la opción seleccionada.

En la Tabla 5 se presentan los flujos comerciales de materia prima y producto final de la alternativa observada (Calera-Sombrerete), y de las dos mejores opciones (Juan Aldama-Sombrerete y Fresnillo-Sombrerete) con base en el criterio de menor costo de transporte de materia prima. La solución del modelo indica que Calera se deberá abastecer de materia prima proveniente del mismo municipio, de Fresnillo y de Guadalupe. La planta de Sombrerete debería abastecerse de frijol producido en el mismo municipio y de Río Grande.

Si el criterio de optimización hubiera sido lo que cuesta el transporte para distribución del producto fi-

nal, las mejores opciones habrían sido los municipios cercanos a los centros de consumo. En la Tabla 3 se puede observar que la opción con menores costos de transporte es Pinos-Guadalupe, seguida por Pinos-Calera y Pinos-Fresnillo. La opción Calera-Sombrerete ocupa el lugar 22 con base en el criterio de costos de transporte de distribución del producto final mínimo.

Los resultados anteriores señalan que los diseñadores de política no consideraron los criterios de costos de transporte en la selección del lugar para ubicar las plantas. Las mejores opciones se alejan de la opción seleccionada (Calera-Sombrerete), lo cual indica que se usó otro criterio para ubicar las plantas. Si se consideran los precios de transporte de materia prima, de producción y de instalación, sin contemplar los de distribución del producto final, se tiene que la mejor opción es Calera-Sombrerete. Bajo este criterio Calera aparece seleccionada en las primeras nueve opciones. Los resultados anteriores indican que la ubicación de la planta de Calera se debió al ahorro en instalación, y no al criterio de minimización de costos de transporte de materia prima.

Una inadecuada ubicación tiene un efecto directo en el desabasto de materia prima. Los excedentes de frijol producidos en Calera en el año de análisis rebasan apenas las 5,000 t y la capacidad de la planta es de 60,000 t al año; por tanto, si los productores de municipios vecinos no recurren a la planta, se tendría una capacidad ociosa mayor a 50,000 t.

Una planta ubicada lejos de las zonas de producción desalienta a los productores a enviar frijol y origina que éstos sigan vendiendo su producto a los intermediarios, problema que se trataba de evitar con las plantas beneficiadoras. Esta situación obstaculiza el cumplimiento de los objetivos que los gobiernos estatal y federal pretendían alcanzar.

El artículo tuvo como objetivo determinar si fue correcta la ubicación de las plantas beneficiadoras en los municipios de Calera y Sombrerete. En este punto es importante mencionar de manera breve el funcionamiento de las dos plantas después de 2006. Declaraciones de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario (SEDAGRO) en Zacatecas indican que la capacidad de ambas industrias para limpiar, pulir y envasar es de 120,000 t de la leguminosa al año; sin embargo, en 2007 sólo se lograron procesar 3,000 t, y en 2008 el volumen apenas superó las 10,000 t. El titular de la institución indica que la causa de la subutilización

de las plantas es que no todos los campesinos tienen el interés de beneficiar su grano, hay una vieja cultura de vender *con calidad de campo* a los clientes; es decir, tal como lo cosechan, sin limpiarlo ni pulirlo, sólo lo ponen en costales y lo venden. Los agricultores han decidido no beneficiar su grano, y señalan que el mercado no lo ocupa así, que pueden vender bien

su frijol con calidad de campo y no con calidad de primera (Valadez Rodríguez, 2008).

En años de sequía la subutilización de las plantas es más aguda. Para agosto de 2012 el subsecretario estatal de agricultura informó que durante ese año se habían procesado solo 1,600 t en la planta

Tabla 5. Flujos comerciales de materia prima y producto final en las mejores alternativas medidos en toneladas

Origen de la materia prima	Envíos de materia prima	Planta ubicada en:	Fabricación de producto final	Envíos de producto final	Mercado de producto final
Alternativa Calera-Sombrerete					
Calera	5,598 t	Calera	60,000 t	60,000 t	Centro
Fresnillo	45,902 t			0	Sur
Guadalupe	11,500 t			0	Península
				0	Golfo
Total	63,000 t	Total	60,000 t	60,000 t	Total
Río Grande	7,144 t	Sombrerete	60,000 t	0	Centro
Sombrerete	55,856 t			18,000 t	Sur
				18,000 t	Península
				24,000 t	Golfo
Total	63,000 t	Total	60,000 t	60,000 t	Total
Mejor alternativa (Juan Aldama-Sombrerete)					
Juan Aldama	21,255 t	Juan Aldama	60,000 t	60,000 t	Centro
Miguel Auza	31,335 t			0	Sur
Río Grande	10,410 t			0	Península
				0	Golfo
Total	63,000 t	Total	60,000 t	60,000 t	Total
Río Grande	7,144 t	Sombrerete	60,000 t	0	Centro
Sombrerete	55,856 t			18,000 t	Sur
				18,000 t	Península
				24,000 t	Golfo
Total	63,000 t	Total	60,000 t	60,000 t	Total
Segunda mejor alternativa (Fresnillo-Sombrerete)					
Calera	5,598 t	Fresnillo	60,000 t	18,000 t	Centro
Fresnillo	45,902 t			18,000 t	Sur
Guadalupe	11,500 t			0	Península
				24,000 t	Golfo
Total	63,000	Total	60,000 t	60,000	Total
Río Grande	7,144 t	Sombrerete	60,000 t	42,000 t	Centro
Sombrerete	55,856 t			0	Sur
				18,000 t	Península
				0	Golfo
Total	63,000 t	Total	60,000 t	60,000 t	Total

beneficiadora de Calera. La causa de tal situación fue atribuida a la baja producción estatal de ese año, apenas de 72,000 t, que determinó la venta rápida de frijol sin limpiar a los "coyotes", quienes se dedicaron a recorrer cada municipio en busca de la leguminosa. Otra de las causas de la subutilización de las plantas es la existencia de unas 45 procesadoras en manos de los productores (Vallejo Díaz, 2012).

CONCLUSIONES

Soluciones diversas de un modelo de distribución y producción de frijol indican que la ubicación de la

planta en el municipio de Sombrerete fue adecuada, y que la de Calera no consideró la disponibilidad de materia prima, lo que originó mayores costos de transporte, en relación con otras opciones como Juan Aldama, Fresnillo, Río Grande y Miguel Auza. Es muy probable que una ubicación inadecuada provoque subutilización de la infraestructura debido a la falta de materia prima, lo cual es una señal de que no se cumplieron los objetivos que se propusieron alcanzar los gobiernos estatal y federal.

LITERATURA CITADA

- ANDERSON, D. R. et al. *Métodos Cuantitativos para los Negocios*. 7 ed., International Thomson Editores, 834 pp., 1998.
 - BARAHONA, F. y CHUDAK, F. A. Near-optimal solutions to large-scale facility location problems. *Discrete Optimization*, 2(1): 35-50, 2005.
 - BIVINGS, E. L. The seasonal and spatial dimensions of sorghum market liberalization in Mexico. *American Journal of Agricultural Economics*, 79: 383-393, 1997.
 - BORJA BRAVO, M. y GARCÍA SALAZAR, J. A. Políticas para disminuir las importaciones de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México: un análisis por tipo de variedad. *Agrociencia*, 42(8): 949-958, 2008.
 - BOYD, R. et al. The effects of tariff removals on the North American lumber trade. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 4: 311-328, 1993.
 - BROOKE, A. et al. *GAMS a user's guide*. Washington: GAMS Development Corporation, 262 pp., 1998.
 - CRAMER, G. L. et al. Impacts of liberalization trade in the world rice market. *American Journal of Agricultural Economics*, 75: 219-226, 1993.
 - GARCÍA SALAZAR, J. A. y SANTIAGO CRUZ, M. J. Importaciones de maíz en México: un análisis espacial e intertemporal. *Investigación Económica*, LXIII(250): 131-160, 2004.
 - GARCÍA SALAZAR, J. A. y WILLIAMS, G. W. Evaluación de la política comercial de México respecto al mercado de maíz. *El Trimestre Económico*, 281: 169-213, 2004.
 - HARKNESS, J. y REVELLE, C. Facility location with increasing production costs. *European Journal of Operational Research*, 145(1): 1-13, 2003.
 - KAWAGUCHI, T. et al. A spatial equilibrium model for imperfectly competitive milk markets. *American Journal of Agricultural Economics*, 79: 851-859, 1997.
 - LING-YUN, W. y ZHANG, J. Capacitated facility location problem with general setup cost. *Computers & Operations Research*, 33(5): 1226-1241, 2006.
 - PALACIOS ROJI GARCÍA, A. y PALACIOS ROJI GARCÍA, J. *Guía Roji Gran Atlas de Carreteras 2002*. México, D. F.: Guía Roji, S.A. de C.V., 80 pp., 2002.
 - RODRÍGUEZ LICEA, G. et al. Preferencias del consumidor de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México: factores y características que influyen en la decisión de compra diferenciada por tipo y variedad. *Paradigma Económico*, 2(1): 121-145, 2010.
 - TAKAYAMA, T. y JUDGE, G. G. *Spatial and Temporal Price and Allocation Models*. Amsterdam, Holland: North-Holland Publishing Company. 528 pp., 1971.
 - VALADEZ RODRÍGUEZ, A. Procesadoras de frijol en Zacatecas, elefantes blancos; no operan ni a 10%. *La Jornada*. 24 de noviembre de 2008.
 - VALLEJO DÍAZ, J. Subutilizadas plantas beneficiadoras en Zacatecas. *NTR Zacatecas*. 9 de agosto de 2012.
- De páginas electrónicas**
- RAMOS, J. Una Estrategia de Desarrollo a partir de los Complejos Productivos (Clusters) en Torno a los Recursos Naturales. ¿Una Estrategia Prometedora? Comisión Económica para América Latina y el Caribe. 33 pp., 1999. De: <http://www.eclac.cl/ddpeudit/proy/clusters/JRamos.pdf>, 12 jul. 2007.
 - SCT (SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES). Tarifas de Transporte Ferroviario. De: <http://www.sct.gob.mx>, 8 feb. 2006.
 - SIAP (SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA). Información básica, Agricultura, Producción anual. 2004-2006. De: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350, 3 oct. 2013.
 - SIAP (SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA). Información básica, Agricultura, Producción anual. 2010. De: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350, 3 oct. 2013.

¿Es óptimo el uso de los factores productivos en México? Una respuesta a través del análisis de fronteras estocásticas

Is the use of productive factors optimal in Mexico? A response through the stochastic frontier analysis

Oswaldo U. Becerril Torres^{1*}, María del Rosario Demuner Flores²

Becerril Torres, O. U., Demuner Flores, M. R. ¿Es óptimo el uso de los factores productivos en México? Una respuesta a través del análisis de fronteras estocásticas. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 62: 42-48, mayo-agosto 2014.

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es analizar la eficiencia técnica para las entidades federativas de México y determinar si se está haciendo un uso óptimo de los factores de la producción. La metodología a emplear es el análisis de fronteras estocásticas. Entre los principales resultados se encuentran que la eficiencia técnica promedio es de 72% en términos reales, lo que muestra el potencial que aún tienen estas economías de mejorar en el uso de los factores. El indicador de eficiencia revela que los estados que hacen mejor uso de sus factores productivos son el Distrito Federal, el Estado de México y Guanajuato, quienes han reducido de manera importante las ineficiencias en su uso.

ABSTRACT

The objective of this research is to analyze the technical efficiency for federal entities in Mexico and

Palabras clave: análisis de fronteras estocásticas, eficiencia técnica, entidades federativas, frontera de producción, Batesse y Coelli, ineficiencia.

Keywords: stochastic frontier analysis, technical efficiency, federal entities, production function, Batesse and Coelli, inefficiencies.

Recibido: 30 de julio de 2013, aceptado: 12 de mayo de 2014

¹ Facultad de Economía, Universidad Autónoma del Estado de México.
² Facultad de Contaduría y Administración, Universidad Autónoma del Estado de México.

* Autor para correspondencia: obecerril@uaemex.mx

³ Esta medida de eficiencia técnica es output orientada. Las medidas de eficiencia output-orientadas u orientadas al producto responden a la pregunta de cuánto es posible expandir el producto sin alterar la cantidad de insumos.

determine if an optimal use of production factors are being done. The methodology to be used is the stochastic frontier analysis. The main results are that the technical efficiency average is 72 percent, in real terms, which shows the potential that these economies still have to improve the use of factors. The efficiency indicator shows that the federal entities that make better use of their productive factors are Mexico City, the state of Mexico and Guanajuato, which have significantly reduced their inefficiencies in its use.

INTRODUCCIÓN

La literatura contemporánea ha adquirido relevancia en el estudio del uso de los factores al aceptarse que pueden existir ineficiencias al utilizar una tecnología de producción; por ello, estudios empíricos recientes han mostrado la existencia de ineficiencias, lo que ha llevado a la generación de dos grandes vertientes para el análisis de las fronteras de producción: el análisis envolvente de datos (DEA, *data envelopment analysis*, por sus siglas en inglés) y el análisis de fronteras estocásticas (SFA, *stochastic frontier analysis*, por sus siglas en inglés). En este documento se utiliza esta última.

Uno de los primeros estudios sobre el análisis de las fronteras de producción se encuentra en Farrell (1957), quien definió a la eficiencia técnica³ como la habilidad de la empresa para obtener la máxima producción dado un conjunto de insumos. En esta investigación se considera dicha propuesta.

En el ámbito de la investigación empírica, existen diversos trabajos que se han realizado para países y regiones; los pioneros: Battese et al. (1989), Battese y Coelli (1988, 1992); en Europa: Delgado y Álvarez (2003). Para el caso de Iberoamérica Chortareas et al. (2007), Ferro et al. (2011) y Becerril y Munguía (2013). Para México, Becerril et al. (2007), Becerril et al. (2009, 2010) y Chávez y Fonseca (2012).

Lo anterior permite observar que es limitada la investigación acerca de eficiencia técnica para México, lo que restringe la posibilidad de tener un mejor entendimiento sobre el uso de los factores de producción en este país y sus entidades federativas. Se identifica así un problema de investigación al no contar con indicadores suficientes que permitan determinar las características relevantes con respecto a la manera en que se hace uso de los factores de la producción desde la perspectiva del análisis de fronteras estocásticas. Por ello se estableció como objetivo obtener un indicador, analizar la eficiencia técnica de las entidades federativas y determinar, con los datos existentes, si se hace un uso óptimo de los factores. Situación que lleva a preguntarse ¿es óptimo el uso de éstos?, a lo que una respuesta tentativa, o hipótesis, es que existen ineficiencias en su uso, lo cual conduce, en principio, a obtener un indicador que permita identificar los niveles de eficiencia técnica de las entidades federativas en México. Para llevar a cabo la medición de la eficiencia técnica de las entidades federativas, se presenta la metodología de análisis de fronteras estocásticas a partir del modelo propuesto por Battese y Coelli (1995), así como la descripción de datos y fuentes de información. Se identifica el modelo más adecuado para estimar la eficiencia técnica y se hace un análisis de resultados obtenidos a través de dicho modelo. Se discuten los resultados, identificando similitudes y diferencias respecto a trabajos anteriores sobre el ámbito de estudio y se presentan las principales conclusiones derivadas del mismo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para determinar el nivel de eficiencia técnica de las entidades federativas fue necesario contar con un indicador que permitiera cuantificarlo e identificar la posible existencia de ineficiencias. En esta investigación se utilizó el modelo propuesto por Battese y Coelli (1995), ya que con éste es posible obtener la estimación de la frontera de producción

y la eficiencia técnica de manera conjunta, lo que permite flexibilizar la estructura temporal de la ineficiencia técnica. En el modelo se considera la función de producción estocástica para un panel de datos de la forma:

$$Y_{it} = \exp(x_{it}\beta + V_{it} - U_{it}) \quad (1)$$

$$i = 1, \dots, N, t = 1, \dots, T,$$

donde Y_{it} denota la producción para el i -ésimo estado de la t -ésima observación.

x_{it} es un vector de tamaño $(1 \times k)$, de valores de una función conocida de insumos y otras variables explicativas asociadas con el i -ésimo estado en la t -ésima observación. β es un vector columna de tamaño $(k \times 1)$ de parámetros desconocidos a ser estimados. V_{it} son los errores aleatorios que se suponen independientes e idénticamente distribuidos, *iid*, y que se distribuyen como una normal con media cero y varianza constante, $N(0, \sigma_v^2)$, e independientemente distribuidos de U_{it} . U_{it} son variables aleatorias no negativas, asociadas con la ineficiencia técnica de la producción, las cuales se suponen independientemente distribuidas, tal que U_{it} se obtiene por truncación en cero de una distribución $N(z_{it}\delta, \sigma^2)$. z_{it} es un vector de tamaño $(1 \times m)$ variables explicativas asociadas con la ineficiencia técnica de la producción de las entidades federativas a través del tiempo y δ es un vector de tamaño $(m \times 1)$ de parámetros desconocidos a ser estimados.

La ecuación (1) especifica la frontera de producción estocástica en términos de los valores de producción originales. A su vez, la ineficiencia técnica, u_{it} , es función de un conjunto de variables explicativas, Z_{it} , y un vector de coeficientes desconocidos, δ . Así pues, la ineficiencia técnica se expresa como:

$$u_{it} = Z_{it}\delta + W_{it} \quad (2)$$

donde, $W_{it}\delta$ sigue una distribución normal truncada en $Z_{it}\delta$ con media cero y varianza constante σ^2 . Las ecuaciones (1)-(2) se estiman simultáneamente siguiendo el método de Máxima Verosimilitud⁴, de donde se obtiene la eficiencia técnica de la forma:

⁴ La función de verosimilitud y sus derivadas parciales con respecto a los parámetros del modelo se presentan en Battese y Coelli (1993), donde la primera se expresa en función de los parámetros de la varianza $\sigma_v^2 = \sigma_u^2 + \sigma^2$ y $\gamma = \sigma^2 / \sigma_v^2$ (siguiendo la parametrización en Battese y Corra, 1977).

$$ET_{it} = \frac{E(Y_{it}^*/u_{it}, X_{it})}{E(Y_{it}^*/u_{it}=0, X_{it})} = \exp(-u_{it}) \quad (3)$$

donde Y_{it}^* es la producción, que es igual a Y_{it} cuando la variable dependiente no está transformada, e igual a $\exp(Y_{it})$ cuando ésta se expresa en logaritmos. Por tanto, la eficiencia técnica se calcula como el cociente del nivel de producción obtenido con respecto al máximo alcanzable dadas las cantidades de los insumos (es decir, cuando $u_{it} = 0$). Asimismo, su valor oscila entre 0 y 1, siendo el caso extremo superior el de eficiencia total.

Datos y fuentes de información

El panel de datos considerado en esta investigación contiene información de los censos económicos de México de 2004 y 2009. La variable de producción Y_{it} , es representada por la Producción Bruta Total en miles de pesos a precios constantes de 2003, los insumos de producción, los x_{it} , se incorporan a través de la inversión, que corresponde a la Formación Bruta de Capital Fijo (FBCF) en miles de pesos, a precios constantes de 2003, y el empleo, L, que hace referencia al Personal Ocupado Total. La fuente de información estadística de la producción, la inversión y el empleo procede de los Censos Económicos del INEGI (2004, 2009).

A partir de esta clasificación y de la aplicación de las ecuaciones (1), (2) y (3) se obtuvo el modelo para la estimación de la eficiencia técnica de las entidades federativas de México consideradas en el estudio y que a continuación se presentan.

RESULTADOS

Estimación de la eficiencia técnica de las entidades federativas

Siguiendo el modelo de Battese & Coelli (1995), que se ha presentado previamente, se llevó a cabo la estimación de la eficiencia técnica de las entidades federativas de México. La tecnología se representa mediante una función de producción translogarítmica de la forma:

$$\ln Y_{it} = \beta_0 + \sum_{j=1}^2 \beta_j \ln(X_{jit}) + \sum_{j=1}^2 \sum_{h=1}^2 \beta_{jh} \ln(X_{jit}) \ln(X_{hit}) + V_{it} - U_{it} \quad (4)$$

$i=1, \dots, 32$ entidades federativas $t=2003, 2008$

donde Y_{it} es la Producción Bruta Total y X_{it} es un vector que hace referencia a los insumos considerados (j, h ésimos empleo, L, y capital o inversión, K). V_{it} es el error aleatorio y U_{it} representa el término de ineficiencia. Éste, a su vez, se define mediante la ecuación

$$U_{it} = \delta_0 + \delta_1 T + \delta_2 T^2 + \sum_{i=1}^{31} \lambda_i D_i + W_{it} \quad (5)$$

La ecuación de la ineficiencia incorpora una variable temporal (T), así como *dummies* individuales (D_i), con el objetivo de controlar las diferencias inobservadas entre las entidades federativas, dado que estos componentes también pueden influir en la eficiencia y, por último, el error aleatorio W_{it} . La medida de la eficiencia técnica de Farrell (1957) se estima a partir de la expresión

$$ET_{it} = \exp(-U_{it}) = \exp[-(\delta_0 + \delta_1 T + \delta_2 T^2 + \sum_{i=1}^{31} \lambda_i D_i) - W_{it}] \quad (6)$$

La expresión (6) permitió calcular la eficiencia técnica, que se obtiene como el cociente del nivel de producción obtenido con respecto al máximo alcanzable dadas las cantidades de los insumos (es decir, cuando $U_{it} = 0$). Su valor oscilará entre 0 y 1, éste último caso es el más eficiente, que en caso de obtenerse, coincidiría con el supuesto del modelo neoclásico de existencia de eficiencia técnica total.

En la Tabla 1 se realizó un conjunto de contrastes de razón de verosimilitud (λ), que contribuyeron a seleccionar la forma funcional más adecuada, tras decidir cuáles de las hipótesis nulas que se plantearon serán aceptadas. En el primer contraste, no se rechazó la hipótesis nula de que la forma funcional Cobb-Douglas es preferida a la translogarítmica. A continuación, se contrastó la existencia de ineficiencia técnica en el término de error. Puesto que se rechazó la hipótesis de que el parámetro γ sea igual a cero, se analizó la necesidad de incorporar la ineficiencia técnica en la función de producción y el hecho de que una función de producción media supone una representación adecuada de los datos. Por último, los contrastes tercero y cuarto consideraron la hipótesis de que la ecuación de la ineficiencia no es función de los regresores considerados, confirmándose la significatividad de las variables que explican la ineficiencia técnica, incluidos los efectos individuales, ya que dichas hipótesis se rechazan.

Tabla 1. Contrastes de Especificación

Hipótesis nula	Log. F. Verosimilitud	Valor λ	Valor crítico	Decisión
				95 %
$H_0: \beta_{KL} = \beta_L^2 = \beta_K^2 = 0$	-32.37	-60.23	7.815	No rechazo
$H_0: \gamma = \delta_0 = \dots = \delta_{17} = 0$	-33.83	62.89	28.26	Rechazo
$H_0: \delta_2 = \dots = \delta_{17} = 0$	-33.83	60.87	22.36	Rechazo
$H_0: \delta_1 = \dots = \delta_{17} = 0$	-33.83	62.89	24.99	Rechazo

El estadístico λ se calcula como: $\lambda = -2[\log(\text{f.verosimilitud}(H_0)) - \log(\text{f.verosimilitud}(H_1))]$, que se distribuye según una chi-cuadrado con grados de libertad iguales al número de parámetros que se igualan a cero en la hipótesis nula. En el contraste cuya hipótesis nula considera $\gamma = 0$ el estadístico λ sigue una distribución Chi-cuadrado mixta. Así, los valores críticos se obtienen de Kodde y Palm (1986), p. 1246, Tabla 1.

Fuente: Elaboración de los autores con base en estimaciones de las ecuaciones 4 y 5.

Una vez realizados los contrastes de la Tabla 1, y con base en el modelo de Battese & Coelli (1995) se llevó a cabo la estimación⁵ por Máxima Verosimilitud de las ecuaciones (4)-(5) simultáneamente. Los resultados se reportan en la Tabla 2.

Tabla 2. Función de Producción Translogarítmica (Battese & Coelli, 1995)

Variable	Parámetro	Coefficiente	T-Estadístico
Frontera Estocástica			
Constante (C)	β_0	8.59	7.06*
Inversión (K)	β_K	0.52	3.99*
Empleo (L)	β_L	0.18	1.25*
Modelo de Ineficiencia con efectos fijos			
Parámetros de la varianza	σ_S^2	0.793E-01	0.24E+01*
	γ	0.518E-01	0.476E+01*
Log. F. Verosimilitud		-0.238E+01	

*Parámetro significativo al 95%.

Fuente: Elaboración de los autores con base en estimaciones de las ecuaciones 4 y 5.

Puesto que las últimas tres hipótesis nulas se rechazaron se estimó el modelo de frontera estocástica especificando la función de producción Cobb Douglas y la ecuación de ineficiencia propuestas. La varianza de los parámetros se expresa en términos de $\gamma = \frac{\sigma^2}{\sigma^2 + \sigma_v^2}$ y $\sigma_S^2 = \sigma_v^2 + \sigma^2$ siendo σ_v^2

y σ^2 las varianzas en las distribuciones de V_{it} y U_{it} , respectivamente. De ello, el valor del parámetro γ indica que la proporción de la varianza de U_{it} sobre el error compuesto total es de 0.05% y muestra el error cometido al utilizar las funciones de producción medias en las que se ignora las diferencias en eficiencia. Por último, los valores de la eficiencia técnica para las entidades federativas para cada año considerado, obtenidos a partir del modelo de frontera estocástica, mediante la implementación de la expresión (6), se presentan en el Anexo Estadístico A-1 (Tabla 3). En el siguiente apartado se analiza su evolución temporal.

Análisis de resultados

Los resultados obtenidos muestran la posición relativa que tienen las entidades federativas, de acuerdo a los últimos datos disponibles, respecto a la máxima eficiencia obtenible respecto a su frontera de producción. De ello existen importantes disparidades en la forma que cada uno de ellos está utilizando sus factores productivos, y no sólo eso, sino que en conjunto también se observa que existen posibilidades de mejorar en su utilización, ya que la eficiencia media de las entidades federativas es de 72%.

A pesar de ello, el Distrito Federal y el Estado de México presentan niveles de eficiencia altos (98%), lo que muestra un buen uso de sus factores productivos, cercanos a los 100 puntos porcentuales. Sin embargo, en el extremo opuesto se encuentran los estados de Guerrero, Baja California Sur y Nayarit, con los índices de eficiencia más bajos, de 32%, 33% y 34%, respectivamente.

⁵ Véase Coelli (1996).

Tabla 3. Anexo A-1. Eficiencia técnica de las entidades federativas 2003 y 2008

Entidad federativa	2003	2008	Entidad federativa	2003	2008
Aguascalientes	0.52	0.77	Nayarit	0.17	0.34
Baja California	0.38	0.69	Nuevo León	0.91	0.97
Baja California Sur	0.24	0.33	Oaxaca	0.58	0.87
Campeche	0.97	0.96	Puebla	0.60	0.74
Coahuila	0.75	0.94	Querétaro	0.56	0.85
Colima	0.30	0.41	Quintana Roo	0.32	0.43
Chiapas	0.66	0.89	San Luis Potosí	0.55	0.78
Chihuahua	0.55	0.74	Sinaloa	0.37	0.50
Distrito Federal	0.98	0.98	Sonora	0.57	0.81
Durango	0.35	0.49	Tabasco	0.97	0.96
Guanajuato	0.94	0.97	Tamaulipas	0.49	0.74
Guerrero	0.16	0.32	Tlaxcala	0.41	0.56
Hidalgo	0.73	0.92	Veracruz	0.70	0.91
Jalisco	0.91	0.95	Yucatán	0.38	0.51
México	0.96	0.97	Zacatecas	0.31	0.45
Michoacán	0.47	0.70	Media	0.57	0.72
Morelos	0.47	0.62	Desviación estándar	0.25	0.22

Elaborada con datos de INEGI.

Para observar cómo ha evolucionado la eficiencia de las entidades federativas se ha elaborado la Figura 1. En ella se puede identificar la posición que ocupa cada una de éstas. También se puede observar que 13 estados se encuentran por debajo de la media de eficiencia en el uso de los factores.

En la Figura 2 (mapa) se pueden observar tres rangos de eficiencia técnica: alta, media y baja.

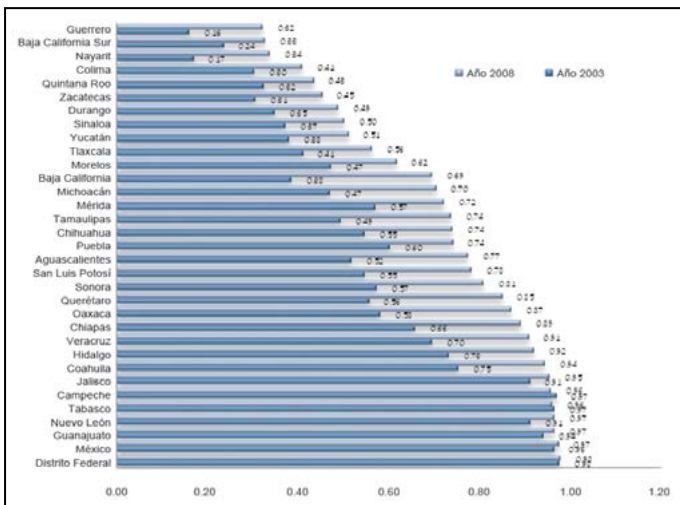


Figura 1. Eficiencia técnica de las entidades federativas en los años 2003 y 2008.

Elaborada con base en datos de INEGI.

En lo que se refiere a la eficiencia promedio del conjunto de entidades, ésta ha aumentado, de ser de 57% en el año 2003 a 72% en el año 2008.

DISCUSIÓN

Una vez analizados los indicadores de eficiencia técnica de las entidades federativas de México y al comparar con estudios similares en cuanto a medi-

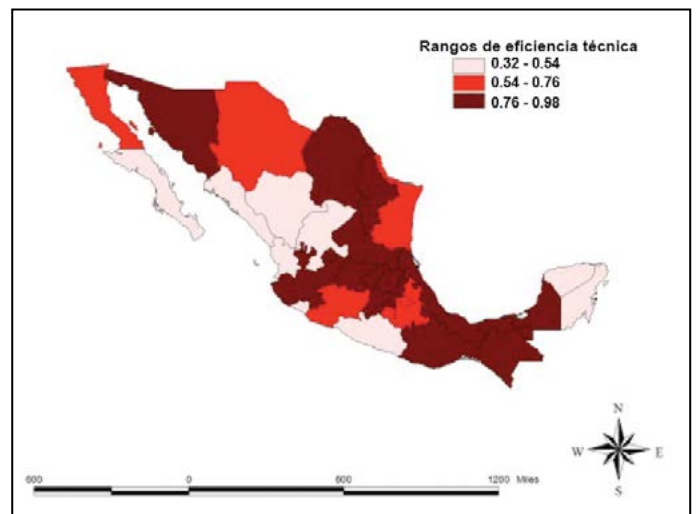


Figura 2. Niveles de eficiencia técnica del año 2008. Entidades federativas con niveles de eficiencia técnica alta, media y baja. Estratificación utilizada de intervalos iguales.



Figura 3. Combinación de los factores de la producción. La combinación óptima del factor capital, representado por las máquinas, y el empleo por los trabajadores, permiten obtener una eficiencia técnica total. Imagen tomada de: <http://www.bosch.com.mx/>

ción de la eficiencia, en todos se identifica la existencia de ineficiencias. En el caso de Becerril et al. (2010), el estudio considera el periodo comprendido desde 1980 hasta 2003 con información y periodicidad de los Censos Económicos del INEGI, lo que lleva a comparar únicamente los resultados del año 2003 respecto a este estudio. De ello, estos autores también encuentran ineficiencias en el uso factorial, en aquel caso, para el año 2003 de 0.20 o 20%, que al contrastar con las de este estudio, éstas son del 43%. La diferencia puede estar siendo generada porque aquella es calculada con información nominal, en tanto que la de este documento es considerada en términos reales, utilizando deflatores individuales para cada entidad federativa. Asimismo, respecto al trabajo de Chávez y Fonseca (2013), es orientado

a la industria manufacturera regional, encontrando que en el periodo de estudio (1988-2008, con datos de los censos económicos) la ineficiencia media fue de 0.3 o 30 puntos porcentuales.

CONCLUSIONES

Una vez identificado el contexto económico de las entidades federativas se ha procedido a estimar la función de producción del modelo de fronteras estocásticas para obtener la eficiencia técnica de todas y cada una de ellas. Los resultados arrojan información relevante que tiene que ver con las disparidades existentes entre ellos y la posibilidad que tienen en conjunto de mejorar, ya que su nivel de eficiencia técnica promedio es de 72% en términos reales, lo que muestra el potencial que aún tienen estas economías como grupo. El indicador de eficiencia técnica muestra que los estados que hacen mejor uso de sus factores productivos son el Distrito Federal, el Estado de México y Guanajuato, quienes han reducido de manera importante sus ineficiencias en el uso de los factores. Asimismo, coincidiendo con la hipótesis que se estableció en esta investigación, de suponer que existen ineficiencias en el uso de los factores en las entidades federativas en México, la información obtenida permite confirmarla, dado que aún es posible hacer un mejor uso de los factores reduciendo las ineficiencias hasta 28%, no obstante que en el periodo analizado éstas se han reducido.

Una perspectiva de análisis adicional a este estudio es que se puede vincular con la productividad total de los factores, PTF⁶, la cual incide sobre la producción, el crecimiento y desarrollo económicos, de tal forma que lograr un uso óptimo del capital y el trabajo, redundará en mayores tasas de crecimiento de las entidades federativas en México.

⁶ Estudios sobre la PTF se pueden identificar en la iniciativa KLEMS-México de INEGI (2013) y en Álvarez et al. (2011) y Becerril et al. (2013).

LITERATURA CITADA

- ÁLVAREZ, I. et al. The effect of infrastructures on Total Factor Productivity and its Determinants: A study on Mexico. *Revista Estudios Económicos*, 26(1 enero-junio): 97-122, 2011.
- BATTESE, G. y COELLI, T. A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data. *Empirical Economics*, 20, 325-332, 1995.
- BATTESE, G. y COELLI, T. *A Stochastic Frontier Production Function incorporating a model for technical inefficiency effects*. Working Paper in Econometrics and Applied Statistics 69/93. Department of Econometrics, University of New England, 1993.
- BATTESE, G. y COELLI, T. Frontier production functions, technical efficiency and panel data: with application to paddy farmers in India. *Journal of Productivity Analysis*, 3: 153-169, 1992.
- BATTESE, G. Y COELLI, T. Prediction of firm-level technical efficiencies with a generalized frontier production function and panel data. *Journal of Econometrics*, 38: 387-399, 1988.
- BATTESE, G. et al. Estimation of frontier production functions and the efficiencies of Indian farms using panel data from ICRISAT'S Village level studies. *Journal of Quantitative Economics*, 5: 327-348, 1989.
- BATTESE, G. y CORRA, G. S. Estimation of a production frontier model: with application to the pastoral zone of Eastern Australia. *Australian Journal of Agricultural Economics*, 21.: 169-179, 1977.
- BECERRIL, O. et al. Disparidades en eficiencia técnica e influencia de las infraestructuras sobre la convergencia en eficiencia en México. *Investigaciones Regionales*. Mayo: 51-69, 2009.
- BECERRIL, O. et al. Eficiencia técnica de las entidades federativas de México. *Revista Economía, Sociedad y Territorio*, mayo-agosto 2010(33), 2010.
- BECERRIL, O. et al. Disparidades en eficiencia técnica y convergencia en eficiencia en México: un análisis de frontera. *Quivera*, Julio-Diciembre, 2007-29(002): 131-154, 2007.
- BECERRIL, O. et al. Frontera tecnológica y Productividad total de los Factores de las Regiones de México. *Región y Sociedad*, 26(57. Mayo-agosto): 5-26, 2013.
- BECERRIL, O. U. y MUNGUÍA, G. Efecto de la globalización sobre la Eficiencia Técnica en el contexto regional de Colombia. *Revista AD-minister*, 22 enero-junio, 2013.
- CHÁVEZ, J. C. y FONSECA, F. J. Eficiencia Técnica y Estructural de la industria manufacturera en México: un enfoque regional. Banco de México. *Working paper* 2012-03. Mayo 2012.
- COELLI, T. *A guide to Frontier Version 4.1.: a computer program for stochastic frontier production and cost function estimation*. CEPA Working Paper 96/07. 1996.
- CHORTAREAS, G. E. et al. *Desempeño del Sector Bancario en Algunos Países Latinoamericanos: Poder de Mercado versus Eficiencia*. Documento de trabajo No. 2010-20. Banco de México. 2007.
- DELGADO, M. J. y ÁLVAREZ, I. Eficiencia técnica y convergencia en los sectores productivos regionales. *Investigaciones Regionales*. Otoño, Número 033. 2003.
- FARRELL, M. J. The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society*, 120(Part. 3): 253-290, 1957.
- FERRO, G. et al. *Eficiencia y su medición en prestadores de servicios de agua potable y alcantarillado*. CEPAL. División de Recursos Naturales e Infraestructura. Documentos de proyectos No. 385. 2011.
- INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA). *Censos Económicos 2004*. México: Autor. 2004.
- INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA). *Censos Económicos 2009*. México: Autor. 2009.
- INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA). *Productividad Total de los Factores. Modelo KLEMS. Boletín de investigación número 02/13*. Aguascalientes, México: Autor. 2013.
- KODDE, D. A. y PALM, F. C. Notes and comments Wald criteria for jointly equality and inequality restrictions. *Econometrica*, 54(5): 1243-1248, 1986.

Análisis comparativo: entrevista realista de selección, satisfacción en el trabajo e intención de permanencia

Comparative analysis: realistic job interviews, job satisfaction and intention to stay

Sergio Manuel Madero Gómez^{1*}, Ricardo Flores Zambada², Herman Frank Littlewood Zimmerman³, Antonio Castañeda Ríos⁴, Patricia Mercado Salgado⁵

Madero Gómez, S. M., Flores Zambada, R., Littlewood Zimmerman, H. F., Castañeda Ríos, A., Mercado Salgado, P., Análisis comparativo: entrevista realista de selección, satisfacción en el trabajo e intención de permanencia. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 62: 49-55, mayo-agosto 2014.

RESUMEN

El presente trabajo extiende el estudio de Littlewood et al. (2005) al comparar las variables de entrevista realista de selección (ERS), satisfacción en el trabajo (ST) y la intención de permanencia en la organización (IP) en una muestra de 162 estudiantes de licenciatura y 258 de maestría. Se utilizó un cuestionario con 26 preguntas, se obtuvieron niveles de confiabilidad superiores a 0.60, y se encontró que sí existen diferencias estadísticamente significativas en las variables ERS e IP, pero no en el nivel de ST.

ABSTRACT

This research extends the study of Littlewood, Flores, Castañeda and Mercado (2005) which compares variables as realistic job interviews (ERS), job satisfaction (ST) and intention to stay in the organization (IP)

Palabras clave: entrevista realista de selección, satisfacción en el trabajo, intención de permanencia, recursos humanos.

Keywords: realistic job interviews, job satisfaction, intention to stay, Human resource management.

Recibido: 12 de septiembre de 2013, **aceptado:** 12 de mayo de 2014

¹ Escuela de Negocios, Ciencias Sociales y Humanidades, Tecnológico de Monterrey campus Monterrey.

² Vicerrectoría de Talento y Cultura, Universidad Autónoma de Guadalajara.

³ Tecnológico de Monterrey campus Estado de México.

⁴ Tecnológico de Monterrey campus Querétaro.

⁵ Facultad de Contaduría y Administración, Universidad Autónoma del Estado de México.

* Autor para correspondencia: smadero@ifesm.mx

by using a sample of 162 undergraduate students and 258 Postgraduates. The survey has 26 items, obtaining levels of reliability higher than 0.60, finding that in fact there are differences between ERS and IP, but not on the ST level.

INTRODUCCIÓN

Los aspirantes a ocupar ciertos puestos que son ofrecidos por las empresas y cumplen con un proceso de selección llegan a la entrevista con una serie de expectativas, como son las actividades a desarrollar en la posición solicitada, las condiciones laborales existentes, el ingreso a percibir, las oportunidades de desarrollo que se tienen y que se pueden crear, entre otras cuestiones.

Para Locke (1976), citado por Littlewood et al. (2005) la satisfacción en el trabajo es una reacción cognitiva y afectiva que resulta de la evaluación de la experiencia laboral y conduce a un estado emocional placentero; es decir, la satisfacción en el trabajo es el resultado de la percepción del individuo acerca de qué tan bien el puesto provee aquellos satisfactores esperados.

Littlewood et al. (2005) mencionan que en la rotación voluntaria de personal, hay dos temas importantes a considerar debido a que están relacionados entre sí, uno es la entrevista realista de selección, como lo mencionan Hom et al. (1998) y Hurst et al. (2012) y el segundo relacionado con el conocimiento previo al ingreso como lo llaman Kammeyer-Mueller y Wanberg (2003) y Pattnaik y Sahoo (2012). Estos autores, mediante investigaciones

empíricas han demostrado que los individuos que han sido informados previamente y advertidos de diversas maneras sobre las características y responsabilidades del empleo y de la empresa misma, ya sea mediante la entrevista llamada de preselección o por aquella que es realizada antes del proceso de la contratación o por medio de una descripción de manera informal recibida por familiares o conocidos que trabajan en la empresa, establecen, confirman y/o reajustan sus expectativas sobre el posible empleo y, en consecuencia, tienen mejores posibilidades de ser cumplidas; por tanto, pueden ser fuente de satisfacción.

La ERS es una herramienta muy útil en el proceso de reclutamiento y selección de personal para cualquier tipo de empresa. Popovich y Wanous (1982) y Wanous (1989) hablan de una serie de decisiones que es importante tener en cuenta en la búsqueda de algún trabajo, y al momento de estar realizando la ERS, también se encuentra que Premack y Wanous (1985), Megino y DeNisi (1987), Haden (2012) y Shahid y Azhar (2013) apoyan el razonamiento al verificar que la ERS induce al compromiso, ya que la persona recién contratada para cubrir una determinada posición y que ha sido informada completamente en las actividades previas al proceso de selección, siente más libertad al momento de elegir ese trabajo, y desarrolla de esta manera un sentido de responsabilidad y compromiso por la decisión tomada.

Por otro lado, aunque la relación entre el compromiso organizacional y la información previa ha sido demostrada, Meglino et al. (1988); Meglino et al. (1993) y Meglino et al. (1997) hacen sugerencias y análisis sobre el conocimiento previo influye en este compromiso mediante el dominio del puesto, la claridad del rol, la integración con los diversos grupos o equipos de trabajo, así como el conocimiento de las políticas organizacionales (Riordan et al., 2001). Además, Kammeyer-Mueller y Wanberg (2003) confirman que el conocimiento adquirido por una persona antes del ingreso a una organización también es un predictor del ajuste laboral y de la permanencia.

De acuerdo con la propuesta de que la ERS conduce al establecimiento claro de expectativas

y con ello mayores posibilidades de que sean cumplidas, o bien, que eso desanime a los candidatos en el proceso de selección debido a la generación de aquellas de modo incongruente, la presente investigación establece que existe una diferencia en las expectativas cumplidas de las personas que se sienten satisfechos y en consecuencia manifiestan una intención de permanecer, que en aquellos empleados que no las ven cumplidas, entre los estudiantes de maestría y los estudiantes de licenciatura o carrera profesional.

Respecto al constructo de la intención de permanecer (IP), Tett y Meyer (1993) la definen como la voluntad concebida y consciente por seguir en la organización y esa IP varios autores como Locke (1978), Hom y Griffeth (1991), Jaros (1995), Griffeth et al. (2000) y Paillé (2011), la han identificado como una parte importante en los aspectos relacionados con la rotación de personal.

Este trabajo se realizó con la finalidad darle seguimiento a una investigación en estudiantes de maestría realizada por Littlewood et al. (2005). Mediante el desarrollo de ecuaciones estructurales se diseñó un modelo en el que se identifican y reproducen significativamente las correlaciones entre la ERS y la ST con 0.67, la ST y la IP con .73, lo que apoya que los individuos que son claramente informados en las entrevistas previas a la contratación respecto a las actividades a desarrollar en el puesto de trabajo y a las condiciones laborales o que han tenido la oportunidad de modificar sus expectativas iniciales con las que llegan a las entrevistas de aceptación o negociación antes de la contratación y perciben que han sido cumplidas, experimenten satisfacción y manifiestan su interés por permanecer en su puesto y en la organización.

En la Figura 1 se muestra de manera gráfica el modelo planteado por Littlewood et al. (2005), así como los resultados que comprueban la evidencia de la validez de los datos obtenidos que sirven de base para analizar con otra muestra las variables mencionadas.

Los estadísticos mostrados por Littlewood et al. (2005) fueron los siguientes:

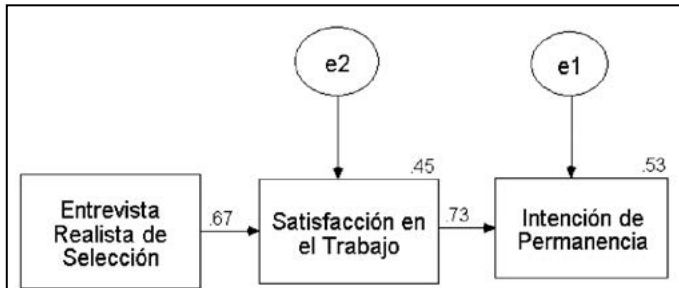


Figura 1. Modelo de Intención de Permanencia⁶.
Fuente: Littlewood et al. (2005).

Tabla 1. Resultados estadísticos

Ji cuadrada	1.78
Grados de libertad	1
Nivel de significación	0.18
TLI	0.98
RMSEA	0.04
NFI	0.99
Varianza explicada	0.53

Fuente: Littlewood et al. (2005).

Debido a la relevancia de los resultados y a la importancia de continuar esta línea de investigación, se ha decidido recolectar más datos cuantitativos con personas de perfil diferente al de los estudiantes de maestría, es por ello que ahora la muestra serán estudiantes de profesional, con la finalidad de conocer si existen diferencias estadísticamente significativas entre estos dos grupos en los aspectos relacionados con la ERS, la ST y la IP.

El objetivo de este trabajo es extender la investigación realizada por Littlewood et al. (2005) en estudiantes de maestría, al incorporar de licenciatura⁷, con la finalidad de conocer si existen diferencias estadísticamente significativas entre estos dos grupos en los aspectos relacionados con la ERS, la ST y la IP.

MATERIALES Y MÉTODOS

La recolección de datos fue por medio de un cuestionario; por tanto, se trata de una técnica

⁶ Nota. Los coeficientes de determinación múltiples son los que se presentan encima de los rectángulos y los coeficientes beta de regresión estandarizados se encuentran arriba de las flechas, los e1 y e2 son los errores de estimación de las variables endógenas.

⁷ Es necesario mencionar que para el desarrollo de la presente investigación se utilizará el término de estudiantes de licenciatura para referir a las personas que estudian una carrera profesional, un pregrado o una carrera universitaria, ya que en el entorno académico latinoamericano esos términos son similares.



Figura 2. La puerta de acceso para la detección del talento en las empresas y el establecimiento de un compromiso: la entrevista de trabajo.
Fotografía tomada de Google.

cuantitativa, la investigación es un estudio de tipo descriptivo y correlacional. Debido a que el objetivo no es obtener una muestra representativa de la población, la de esta investigación es considerada de conveniencia, debido a que se depende del permiso de la institución, de los profesores y de los participantes para la recolección de los datos.

El cuestionario utilizado es el mismo que usaron Littlewood et al. (2005) y contiene 26 reactivos, 11 son de ERS, 11 de ST y 4 de IP. Es conveniente mencionar que a excepción de los datos generales de la persona que contesta el mismo, los reactivos son redactados por medio de afirmaciones presentadas en escalas de tipo Likert de 5 puntos, donde 1 significa Totalmente en desacuerdo y 5 Totalmente de acuerdo. Dada esta escala, respuestas cercanas a 4 y 5 indican posturas positivas en cuanto a ERS, ST e IP.

El análisis de confiabilidad del instrumento reportado en el estudio de Littlewood et al. (2005) es de 0.87 para ERS, 0.83 para ST y 0.79 para IP. En este estudio los indicadores Cronbach de confiabilidad fueron 0.71, 0.60 y 0.79, respectivamente. Los indicadores muestran niveles aceptables de confiabilidad en la escala.

La investigación se realizó durante el periodo académico comprendido desde agosto de 2007 hasta diciembre de 2007 con estudiantes de maes-

tría y de profesional que trabajan. El proceso para la obtención de los datos fue mediante el cuestionario anteriormente mencionado, se realizó a través de su aplicación de manera presencial en los salones de clase, con un permiso previo de la institución educativa, del profesor y de los participantes. La investigación se realizó con una muestra de 420 personas, de las cuales 162 fueron alumnos de licenciatura (39%) y 258 alumnos de maestría (61%).

RESULTADOS

La primera hipótesis de la investigación establece que:

Existe una diferencia significativa en la ERS entre los estudiantes de maestría⁸ y los estudiantes de licenciatura que trabajan.

De acuerdo con los resultados obtenidos podemos establecer que la diferencia entre ambos grupos sí es estadísticamente significativa, por lo que se acepta la hipótesis, para el grupo 1: $M = 3.64$ y para el grupo 2: $M = 3.44$, y el estadístico $F(2, 418) = 7.87$, $p < 0.05$.

La segunda hipótesis de la investigación establece que:

Existe una diferencia significativa en la ST entre los estudiantes de maestría y los estudiantes de licenciatura que trabajan.

De acuerdo con los resultados obtenidos encontramos que la diferencia entre ambos grupos no es estadísticamente significativa, por lo que no se acepta la hipótesis.

La tercera hipótesis de la investigación establece que:

Existe una diferencia significativa en la IP entre los estudiantes de maestría y los estudiantes de licenciatura que trabajan.

De acuerdo con los datos obtenidos podemos mencionar que la diferencia entre ambos grupos sí es estadísticamente significativa, por lo que se acepta

la hipótesis, para el grupo 1: $M = 3.22$ y para el grupo 2: $M = 2.62$ y el estadístico $F(2, 418) = 52.13$, $p < 0.005$.

Adicionalmente al análisis de varianza por variable, se estimó la diferencia existente a nivel de cada pregunta por constructo, la intención de este análisis es sólo con fines exploratorios. De las 11 preguntas elaboradas para medir ERS, tres mostraron resultados estadísticamente significativos para considerar que realmente existen diferencias entre los grupos. El primero (ERS1): "Tengo perfectamente claro cómo debo hacer mi trabajo", para el grupo 1 $M = 4.44$ y para el grupo 2 $M = 4.11$, mientras que el estadístico $F(2, 418) = 12.08$, $p < 0.001$. El segundo (ERS8): "Mis actividades y responsabilidades no son las que yo esperaba", para el grupo 1 $M = 3.55$ y para el grupo 2 $M = 2.54$, mientras que el estadístico $F(2, 418) = 67.74$, $p < 0.001$. Finalmente (ERS9): "He sido desagradablemente sorprendido(a), mis responsabilidades no son las que yo esperaba realizar", para el grupo 1: $M = 3.89$ y para el grupo 2: $M = 2.27$ con un estadístico $F(2, 418) = 183.81$, $p < 0.001$.

Las cuatro preguntas elaboradas para medir IP resultan significativamente diferentes entre los grupos. La primera, (IP1): "Planeo dejar la organización tan pronto como me sea posible", para el grupo 1: $M = 3.64$ y para el grupo 2: $M = 2.00$, con un estadístico $F(2, 418) = 189.92$, $p < 0.001$. Para la segunda (IP2): "No dejaré esta organización de manera voluntaria bajo ninguna circunstancia", para el grupo 1: $M = 2.50$ y para el grupo 2: $M = 2.89$, con un estadístico $F(2, 418) = 10.77$, $p < 0.005$. Para la tercera (IP3): "Planeo permanecer en esta organización tanto tiempo como sea posible", para el grupo 1: $M = 3.24$ y para el grupo 2: $M = 3.54$, con un estadístico $F(2, 418) = 5.93$, $p < 0.05$ y, finalmente la última pregunta (IP4): "Me gustaría dejar esta organización", para el grupo 1: $M = 3.54$ y para el grupo 2: $M = 2.07$ con un estadístico $F(2, 418) = 153.31$, $p < 0.001$.

El análisis por pregunta de la variable IP muestra resultados contradictorios, pues en dos de ellas —la primera y la última—, se puede observar que la dirección de la diferencia favorece a los estudiantes de maestría; es decir, tienen mayor intención de permanecer en la organización si se compara con los de licenciatura, y en las otras dos, la segunda y la tercer preguntas, los desfavorece; es decir, tienen menor intención de permanecer en la organización si se compara con los de licenciatura.

⁸ El grupo 1 corresponde a los estudiantes de maestría y el grupo 2 corresponde a los estudiantes de licenciatura.

De las 11 preguntas elaboradas para medir la ST, seis de ellas resultan significativamente diferentes entre los grupos. Para la pregunta (ST2), "Las mayores satisfacciones en mi vida se relacionan con mi trabajo", los resultados fueron para el grupo 1: $M=2.90$ y para el grupo 2: $M=3.11$, con un estadístico $F(2, 418) = 3.71, p<0.01$; para la pregunta (ST3): "Con frecuencia preferiría quedarme en casa, en vez de asistir al trabajo", encontramos que para el grupo 1: $M=3.94$ y para el grupo 2: $M=2.23$, con un estadístico $F(2, 418) = 209.14, p<0.001$; para la pregunta (ST4): "Mi trabajo es retador", se obtuvo para el grupo 1: $M=4.02$ y para el grupo 2: $M=3.81$, con un estadístico $F(2, 418) = 4.61, p<0.05$. La siguiente pregunta fue (ST7): "Me siento satisfecho con las compensaciones que ofrece esta organización", observando para el grupo 1: $M=3.37$ y para el grupo 2: $M=3.61$, con un estadístico $F(2, 418) = 3.85, p<0.1$. Para la pregunta (ST9): "De todo a todo, estoy muy satisfecho con mi trabajo actual", los resultados fueron para el grupo 1, $M=3.47$ y para el grupo 2: $M=3.75$ con un estadístico $F(2, 418) = 5.81, p<0.05$. Finalmente, para (ST10): "Estaría feliz si pasara el resto de mi vida en la organización", se obtuvo para el grupo 1: $M=2.65$ y para el grupo 2: $M=2.93$ con un estadístico $F(2, 418) = 5.21, p<0.05$. A pesar que globalmente el índice de ST no es estadísticamente diferente entre los grupos, se identifican diferencias significativas a nivel variable, lo que sugiere que los estudiantes de licenciatura experimentan una mejor satisfacción en el trabajo.

Es importante tener en cuenta que los resultados obtenidos en ambas muestras arrojan resultados relevantes; sin embargo, hay que considerar que el entorno laboral en ese momento mostraba estabilidad pues la investigación se realizó previo a la crisis económica mundial de 2008, pero es necesario mencionar que existen factores internos y externos que provocan inestabilidad y crisis en las empresas que afectan los procesos organizacionales y el área de recursos humanos es una de ellas, por lo cual las variables analizadas en esta investigación muestran relevancia para seguirlas estudiando.

DISCUSIÓN

En el estudio realizado por Littlewood et al. (2005) se mostró evidencia en estudiantes de maestría acerca de que la entrevista realista de selección está relacionada significativamente con la satisfacción que el individuo experimenta en el trabajo, y esta

última a su vez influye en la intención que tiene en permanecer en la organización. Ese estudio es particularmente interesante, porque se enfoca en investigar una población de mucha relevancia para las empresas, ya que en ese grupo se puede detectar personas con alto potencial que en combinación con otras herramientas de la función de recursos humanos se pueden definir procesos claves de desarrollo de talento y posibles líderes o directivos claves de la organización.

Cuando un profesionista decide invertir su tiempo y recursos financieros en acelerar su adquisición de capital intelectual a través de estudios de maestría, se incrementa su valor organizacional por el impacto que pueda tener en la competitividad de la organización. Entender en ellos la conexión entre ERS, ST e IP es un aspecto relevante en las estrategias del manejo de personal en las empresas.

Esta muestra de estudiantes de carrera profesional se asemeja a la de los de maestría en el hecho de que toman la iniciativa de incorporarse al mercado de trabajo al mismo tiempo que están estudiando; es decir, deciden también invertir recursos-tiempo en su perfeccionamiento para el mercado laboral. Desde el punto de vista organizacional, los estudiantes de licenciatura que trabajan son la sangre nueva que ingresa a la organización para fortalecerla y renovarla. Ambas poblaciones buscan diferenciarse de sus similares, unos ya en el mercado laboral pero regresando a las instituciones educativas y otros en éstas pero ingresando a su etapa temprana de vida laboral. Sin embargo, es conveniente analizar lo que Scurry y Blenkinsopp (2011) mencionan respecto al desarrollo de nuevas habilidades en los jóvenes recién graduados para evitar emplearse en actividades diferentes a su formación académica.

CONCLUSIONES

Si se toma en cuenta que el instrumento de medida muestra indicadores de confiabilidad aceptables y de las diferencias entre los grupos, hay que destacar la relevancia que tiene la ERS y la IP en el ambiente laboral, principalmente cuando ya se tiene experiencia en el trabajo, pues en los estudiantes de maestría es donde se presentan los mayores promedios, lo que confirma la importancia de que los jóvenes universitarios tengan mayor vinculación con las empresas.

A la luz de los resultados reportados por Littlewood et al. (2005), esta relación es contraria a lo esperado. Es decir, se podría pensar que a menor importancia en la ERS, menor satisfacción en el trabajo. Una posible explicación de esto es que si bien hay diferencia en ERS, ambas magnitudes se encuentran en niveles muy aceptables, por lo que dicha variación no es significativa para influir en la ST. Para confirmar esta explicación habría que conseguir medir valores más extremos en ambos indicadores para estudiantes de maestría.

Desde el punto de vista gerencial los resultados entre ERS y ST sugieren que los estudiantes de licenciatura son más nobles al percibir el proceso de selección y experiencia de trabajo. Si se dice que son más nobles se debe a que su motivación se orienta a ingresar al mercado laboral, lo que los hace menos críticos a las prácticas existentes, además de no contar

con marcos comparativos alternativos producto de experiencia de trabajo en otras organizaciones o tiempo más prolongado trabajando; así que para éstas es conveniente conocer este aspecto, pues la ERS es muy útil para aplicarse en cualquier tipo de empresa, principalmente donde la función de RH está debidamente formalizada.

Respecto a IP, se encuentra que sí existen diferencias significativas entre los grupos, a pesar de no haber diferencia en el nivel de ST (Flores y Madero, 2012). Los estudiantes de maestría reportan una mayor IP que los de licenciatura, pero a diferencia de la variable ERS, en ésta la magnitud de la variación es muy grande. Los estudiantes de licenciatura en su afán de incorporarse al mercado de trabajo y adquirir experiencia manifiestan un menor apego a la organización, a pesar de reportar ST y de haber tenido una ERT adecuada.

LITERATURA CITADA

- FLORES, R. y MADERO, S. M. Factores de la calidad de vida en el trabajo como predictoras de la intención de permanencia. *Acta Universitaria*, 22(2): 24-31, 2012.
- GRIFFETH, R. W. et al. A meta-analysis of antecedents and correlates of employee turnover: Updates, moderator tests, and research implications for the next millennium. *Journal of Management*, 26, 463-470, 2000.
- HADEN, S. Realistic Job Previews and Performance: The Mediating Influence of Personal Goals. *Journal of Management Research*, 12 (3): 163-178, 2012.
- HOM, P. y GRIFFETH, R. W. Structural equations modeling test of a turnover theory cross-sectional and longitudinal analysis. *Journal of Applied Psychology*, 76, 350-366, 1991.
- HOM, P. y GRIFFETH, R. W. et al. An exploratory investigation into theoretical mechanisms underlying realistic job previews. *Personnel Psychology*, 51 421-451, 1998.
- HURST, J. et al. Conversion intentions of interns: what are the motivating factors? *Education & Training*, 54(6): 504-522, 2012.
- JAROS, S. J. An assessment of Meyer and Allen's (1991) three-component model of organizational commitment and turnover intentions. *Academy of Management Journal*, Best Papers Proceedings, 317-335, 1995.
- KAMMEYER-MUELLER, J. D. y WANBERG, C. R. Unwrapping the organizational entry process: Disentangling multiple antecedents and their pathways to adjustment. *Journal of Applied Psychology*, 88(5): 779-794, 2003.
- LITTLEWOOD, H. et al. *Entrevista de Selección, Satisfacción en el trabajo e Intención de permanencia*. X Foro de Investigación UNAM, México, D. F., 2005.
- LOCKE, E. A. The nature and cause of job satisfaction. In DUNNETE, M. M. (Ed.), *Handbook of Industrial and Organizational Psychology*, Chicago: Rand McNally, 1976.
- LOCKE, E. A. The ubiquity of the technique of goal setting in theories of and approaches to employee motivation. *Academy of Management*, 3(3): 594-601, 1978.
- MEGLINO, B. M. y DeNISI, A. S. Realistic Job Previews: Some Thoughts on Their More Effective Use in Managing the Flow of Human Resources. *HR. Human Resource Planning*, 10(3): 157-167, 1987.
- MEGLINO, B. et al. Effects of previous job exposure and subsequent job status on the functioning of a realistic job preview. *Personnel Psychology*, 46(4): 803-822, 1993.
- MEGLINO, B. et al. Effects of realistic job previews: A comparison using an enhancement and a reduction preview. *Journal of Applied Psychology*, 73(2): 259-266, 1988.
- MEGLINO, B. et al. When does it hurt to tell the truth? The effect of realistic job reviews on employee recruiting. *Public Personnel Management*, 26(3): 413-422, 1997.

- PAILLÉ, P. Perceived Stressful Work, Citizenship Behaviour and Intention to Leave the Organization in a High Turnover Environment: Examining the Mediating Role of Job Satisfaction. *Journal of Management Research*, 3(1): 1-16, 2011.
- PATNAIK, S. y SAHOO, R. Does Pre-Selection Information to Job Candidates Affect Post-Selection Intention to Leave? *International Journal of Management Research and Reviews*, 2(12): 2040-2048, 2012.
- POPOVICH, P. y WANOUS, J. P. The realistic job preview as a persuasive communication. *Academy of Management*, 7(4): 570-578, 1982.
- PREMACK, S. L. y WANOUS, J. P. A meta-analysis of realistic job preview experiments. *Journal of Applied Psychology*, 70(4): 706-719, 1985.
- RIORDAN, C. M. et al. The effects of pre-entry experiences and socialization tactics on newcomer attitudes and turnover. *Journal of Managerial Issues*, 13(2): 159-176, 2001.
- SCURRY, T. y BLENKINSOPP, J. Under-employment among recent graduates: a review of the literature. *Personnel Review*, 40(5): 643-659, 2011.
- SHAHID, A. y AZHAR, S. M. Gaining Employee Commitment: Linking to Organizational Effectiveness. *Journal of Management Research*, 5(1): 250-268, 2013.
- TETT, R. P. y MEYER, J. P. Job satisfaction, organizational commitment, turnover intention, and turnover: Path analysis based on meta-analytical findings. *Personnel Psychology*, 46, 259-265, 1993.
- WANOUS, J. P. Installing A Realistic Job Preview: Ten Tough Choices. *Personnel Psychology*, 42(1): 117-134, 1989.

Micorriza arbuscular como alternativa en la producción de sorgo en Tamaulipas, México

Arbuscular mycorrhizal as alternative in sorghum production in Tamaulipas, Mexico

Arturo Díaz Franco^{1*}, Héctor Manuel Cortinas Escobar¹, Juan Valadez Gutiérrez², María de los Ángeles Peña del Río³

Díaz Franco, A., Cortinas Escobar, H. M., Valadez Gutiérrez, J., Peña del Río, M. A., Micorriza arbuscular como alternativa en la producción de sorgo en Tamaulipas, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 62: 56-68, mayo-agosto 2014.

RESUMEN

Tamaulipas ocupa la mayor superficie de siembra de sorgo en México, en su mayoría como monocultivo y presenta crítica productividad. La inoculación microbiana o biofertilización es una práctica que promueve una agricultura sostenible. Se describen algunos resultados de estudios realizados principalmente con inoculación micorrízica en sorgo en Tamaulipas. La simbiosis micorrízica con *Rhizophagus intraradices* (micorriza INIFAP) originó mayor producción de sorgo en las dos texturas de suelo. La productividad de sorgo con *R. intraradices* o *Asospirillum brasilense* inoculados de forma individual fue superior a la coinoculación de ambos. Durante cinco años consecutivos el rendimiento con *R. intraradices* igualó al de la fertilización química (60-20-00); después de cinco años, el hongo micorrízico incrementó la actividad biológica del suelo, sin alterar las propiedades químicas del mismo. Se identificaron algunas cepas microbianas nativas con efectividad en la productividad de sorgo. Bajo diferentes sistemas agrotecnológicos, *R. intraradices*

acrecentó la biomasa radical, la longitud de panoja y el rendimiento del sorgo.

ABSTRACT

Tamaulipas occupies the largest area of planting of sorghum in Mexico, mostly as monoculture and presents critical productivity. Microbial inoculation or biofertilization is a practice that promotes sustainable agriculture. We describe some of the results of studies conducted mainly with mycorrhizal inoculation in sorghum in Tamaulipas. With *Rhizophagus intraradices* (mycorrhiza INIFAP) symbiosis, originated increased production of sorghum in two soil textures. The productivity of sorghum with *R. intraradices* or *Asospirillum brasilense* individually inoculated was superior to the co-inoculation of both. For five consecutive years the yield of *R. intraradices* was equaled to chemical fertilization (60-20-00); after five years, mycorrhizal fungus increased the biological activity of soil, without altering the chemical properties of the same. We identified the effectiveness of some native microbial strains in sorghum productivity. Under different agrotechnological systems, *R. intraradices* increased radical biomass, panicle length and sorghum yield.

Palabras clave: inoculantes microbianos, *Sorghum bicolor*, prácticas agronómicas.

Keywords: microbial inoculants, *Sorghum bicolor*, agronomic practices.

Recibido: 30 de abril de 2013, **aceptado:** 30 de septiembre de 2013

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Río Bravo.

² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Las Huastecas.

³ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental General Terán.

* Autor para correspondencia: diaz.arturo@inifap.gob.mx

INTRODUCCIÓN

Los inoculantes microbianos o *biofertilizantes* poseen en la actualidad gran relevancia ecológica y económica en la agricultura, por lo que su importancia se ha incrementado dentro de la conservación y la fertilidad de los suelos (Adesemoye y Kloepper, 2009; Hungría et al., 2010; Sharma et al., 2012). Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y las bacterias pro-

motoras de crecimiento vegetal (BPCV), son de los microorganismos más estudiados. Dentro de la actividad simbiótica, los HMA manifiestan diferentes mecanismos que inducen a una mayor exploración del suelo a través de las hifas, disminuyen los efectos de condiciones abióticas adversas para la planta, producen fitohormonas que estimulan el crecimiento de la planta, facilitan la absorción de nutrimentos, producen glomalina que adhiere las partículas del suelo e induce acción protectora contra algunos fitopatógenos del suelo. El grupo de BPCV puede estimular a las plantas a través de producción de fitohormonas, fijación de N, o biocontrol de fitopatógenos mediante compuestos antifúngicos como sideróforos o enzimas líticas (Glick et al., 1999; Vasey, 2003; Smith y Read, 2008).

Numerosos estudios se han enfocado en conocer los efectos de los microorganismos benéficos del suelo utilizados para incrementar la producción (Aseri et al., 2008; Russo y Perkins, 2010; Díaz et al., 2011; Sharma et al., 2012), sustituir o disminuir la fertilización química (Saini et al., 2004; Carpio et al., 2005; Adesemoye et al., 2009), conferir tolerancia contra patógenos del suelo (Jetiyanon et al., 2003; Ferrera y Alarcón, 2008), para biorremediación de suelos contaminados (Franco et al., 2007), así como proveer tolerancia a otros factores abióticos (Al-Karaki et al., 2004; Díaz et al., 2011). No obstante, algunas cepas de microorganismos benefician en mayor grado a un determinado hospedero comparado con otros, además de que su funcionalidad puede ser alterada bajo determinadas condiciones edáficas y climáticas (Klironomos, 2003; Rodríguez, Y. et al., 2004, Hungría et al., 2010; Montero et al., 2010).

Tiene relevancia la utilización de cepas nativas eficientes, con mayor capacidad de adaptación y efectividad en sitios y climas específicos (Varela y Trejo, 2001; Plenchette et al., 2005; Hungría et al., 2010; Tchabi et al., 2010.). Tal es el caso del hongo micorrízico *Rhizophagus intraradices* (micorriza INIFAP) cepa regional (Peña del Río et al., 2007), que en otros estudios ha promovido mayor biomasa y rendimiento en sorgo (Díaz, M. et al., 2007; Díaz et al., 2011).

En México, el estado de Tamaulipas representa el mayor productor de sorgo para grano (*Sorghum bicolor*), con una producción de 2.4 millones de toneladas y un rendimiento medio de 2.2 t ha⁻¹, donde 70 % de éste se obtiene bajo condiciones de secano

o temporal (Gobierno del estado de Tamaulipas, 2010). No obstante, la mayor superficie de siembra se ubica en la región norte, con cerca de 650,000 ha, donde el sorgo constituye un monocultivo. Debido al alto costo que representa la fertilización inorgánica, es una práctica poco común y cuando se aplica por lo general se utilizan dosis bajas de fertilizantes (Williams et al., 2006; Díaz et al., 2011). Ante este escenario, Díaz et al. (2011) y Williams et al. (2006) enfatizaron la necesidad de desarrollar prácticas agronómicas que eleven la rentabilidad de la producción de sorgo y promuevan un equilibrio en los agroecosistemas. El presente trabajo tiene como objetivo describir el estado actual del conocimiento sobre la biofertilización del sorgo en Tamaulipas, a través de la conjunción experiencias y resultados de estudios realizados con inoculantes microbianos, principalmente con *R. intraradices*.

Interacción entre *R. intraradices* y brasinoesteroide en dos texturas de suelo

Los brasinoesteroides son un grupo de compuestos biológicamente activos con estructura esteroideal, con capacidad de modular la elongación y la división celular y promover el crecimiento y desarrollo de las plantas, aún en condiciones adversas de producción (Sasse, 1997; Utria et al., 2004). Con la aplicación foliar de los brasinoesteroides se han demostrado incrementos de rendimiento en melón, frijol, soya y trigo (Mandava, 1988; Sasse, 1997; Sairam, 1994). Por lo anterior, se estudió el efecto de la inoculación de la semilla con *R. intraradices* (1 kg ha⁻¹) (micorriza INIFAP), la aspersion de brasinoesteroide (CIDEF-4®, 20 g i.a. ha⁻¹) y la adición de 44 kg ha⁻¹ y 33 kg ha⁻¹ de N y P, respectivamente, en la producción de sorgo ('DK-55') de temporal. El estudio experimental incluyó la evaluación de los tratamientos en dos texturas de suelo de localidades aledañas en Matamoros, Tamaulipas: arcilloso (localidad "El Vaso") (A) y migajón arcillo arenoso (localidad Ej. Cárdenas) (MAA) (Tabla 1). Se midieron características de planta y de grano.

R. intraradices y su combinación con brasinoesteroide impactaron positivamente en la altura de planta, biomasa radical, peso de grano y rendimiento en ambos suelos. En rendimiento, los mismos tratamientos superaron en promedio 29.5% al testigo. La mayor colonización micorrízica se obtuvo con *R. intraradices* y/o brasinoesteroide, comparada con la fertilización química y el testigo. En suelo A las plantas exhibieron mayor altura,

biomasa seca, peso de grano y rendimiento. En el suelo MAA se observaron incrementos en diámetro de tallo y biomasa radical (Tabla 2). Los resultados demostraron que la simbiosis micorrícica con *R. intraradices* promovió mayor productividad de sorgo en las dos texturas de suelo. De forma contraria, Chamizo et al. (2009) concluyeron que el tipo de suelo fue un factor determinante para el beneficio en alfalfa (*Medicago sativa*) con la inoculación de un consorcio micorrícico.

Tabla 1. Características físicas y químicas de suelos de las localidades del Municipio de Matamoros, Tamaulipas, México (Díaz et al., 2007)

Determinación	Localidades	
	El Vaso	Ej. Cárdenas
pH	8.0	8.1
MO (%)	1.7	2.5
N de nitratos (mg kg ⁻¹)	13.5	13.0
P disponible (mg kg ⁻¹)	14.3	14.8
K (mg kg ⁻¹)	320	470
Textura	Arcilloso	Migajón arcillo arenoso

Estudios en campo con tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*) inoculado con *R. intraradices* (Velasco et al., 2001), y en diferentes leguminosas con *Funneliformis mosseae* y *Rhizophagus fasciculatum* (Tarafdar y Rao, 1997), también observaron

incrementos en la colonización de HMA, comparados con las plantas sin inoculación. Bressan et al. (2001), en condiciones de invernadero, y Singh y Tilak (1992), en campo, han demostrado incrementos en el rendimiento de grano de sorgo, con la inoculación de varias especies de HMA. En ensayos de campo con sorgo inoculado con *R. intraradices*, Díaz et al. (2008b) obtuvieron aumentos en el rendimiento de sorgo de 18% a 36%, comparados con los testigos.

La efectividad de *R. intraradices* observada en sorgo de secano (sequía) y suelos pobres en N y P, en el presente estudio, constata lo anteriormente citado (Díaz y Garza, 2007) y se demuestra la capacidad de respuesta simbiótica del hongo bajo condiciones adversas de producción. Una posible explicación a esa respuesta observada es que en plantas de sorgo colonizadas con HMA y en estrés de sequía, ocurre una mayor extracción de agua comparativamente con plantas no micorrizadas (Osonubi, 1994). Bressan et al. (2001) reportaron beneficios en sorgo con HMA, los cuales incrementaron la absorción mineral, con relación a las plantas no colonizadas.

No obstante que con solo la inoculación micorrícica se obtuvo óptima productividad de sorgo, los tratamientos con brasinoesteroide también tuvieron impacto. Aunque para tener mejor conocimiento de su efectividad, será necesario

Tabla 2. Características de planta y de grano de sorgo ('DK-55') asociadas con la inoculación con *R. intraradices* y la aplicación de brasinoesteroide, en dos localidades de Matamoros, Tamaulipas, México (Díaz et al., 2007)

Factor	Altura de planta	Biomasa seca	Biomasa radical	Colonización micorrícica	Peso de 1000 granos	Rendimiento
	(cm)	(g)	(g)	(%)	(g)	(kg ha ⁻¹)
Tratamientos (T)						
44-37-00	112.8b*	34.5	12.2 c	40.9 b	21.9 b	3434 ab
Brasinoesteroide (B)	113.1b	35.7	14.2 b	56.2 a	21.2 b	3522 ab
B + R	114.5ab	38.8	18.0 a	53.9 a	23.1 a	3740 a
<i>R. intraradices</i> (R)	117.3a	40.9	17.0 a	57.8 a	23.2 a	3719 a
Testigo	113.1b	34.9	14.0 b	48.2 ab	21.0 b	2878 b
Significancia F	0.01	0.09	0.02	0.01	0.008	0.03
Tex. de suelo (S)						
Arcilloso	124.0	39.6	11.0	48.4	23.8	4583
Mig. arc. arenoso	102.3	34.4	19.1	54.4	20.7	2334
Significancia F	0.001	0.05	0.001	0.11 ^{NS}	0.001	0.001
T x S	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C.V. (%)	7.5	17.3	19.5	22.6	6.4	15.7

*Valores unidos con la misma letra no difieren a nivel de $P < 0.05$, según DMS. N=8.

^{NS} No significativa.

realizar estudios mediante el uso de diferentes dosis y épocas de aplicación, tal como lo indican Aguilera et al. (2003), así como determinar su factibilidad económica. En ambos tipos de suelo, se demostró que los tratamientos biológicos *R. intraradices* y/o brasinoesteroide manifestaron efecto benéfico en el rendimiento de sorgo.

Interacción entre *R. intraradices* y *Azospirillum brasilense*

La rizobacteria *Azospirillum brasilense* ha beneficiado la productividad de diversos cultivos (Dobbelaere et al., 2001 en Irizar et al., 2003; Loredó et al., 2004). Particularmente en sorgo, *A. brasilense* fue capaz de incrementar el rendimiento de grano en condiciones semiáridas (Mendoza et al., 2004 en Díaz y Mayek, 2008). No obstante, se ha puesto interés a los efectos que produce la combinación entre *A. brasilense* y los HMA. Esta importancia obedece a la sinergia originada con ambos inoculantes (Sarig et al., 1988; Irizar et al., 2003; Widada et al., 2007).

Para esclarecer la interacción *A. brasilense*-*R. intraradices* en sorgo se realizó un estudio para evaluar el efecto individual y combinado de los simbiontes *R. intraradices* y *A. brasilense* (CBG-IPN), en la productividad de sorgo en condiciones de secano. El experimento se condujo en la localidad "El Vaso", Matamoros, Tamaulipas, en un suelo de textura arcillosa. Los tratamientos fueron: a) la inoculación de semilla de sorgo con *R. intraradices* (R), a razón de 1 kg ha⁻¹ de sustrato micorrízico en semilla (7 kg), mezcla hecha con 60 ml de carboximetilcelulosa como adherente y 500 ml de agua (Díaz et al., 2008b); b) la inoculación de la

semilla con la RPC *A. brasilense* (A), a razón de 0.4 kg de turba en la misma cantidad de semilla (Mendoza et al., 2004 en Díaz y Mayek, 2008); c) coinoculación en la semilla con R+A; d) multicepa de *A. brasilense* (CBG-IPN), misma dosis; y e) testigo absoluto.

Los simbiontes influyeron en las características de la planta, en el rendimiento y en la proteína de grano de sorgo (Tabla 3). Para la altura de planta, solamente *R. intraradices* fue capaz de incrementarla 8 cm sobre el testigo. El mayor peso de biomasa seca foliar, radical, longitud de la panoja y contenido de proteína en grano fue registrado con *R. intraradices*, seguido y con promedios similares, por *A. brasilense* y la combinación de ambos (R+A). Los mayores rendimientos de grano se obtuvieron de manera semejante, con la inoculación independiente de *R. intraradices* ó *A. brasilense*, los cuales promediaron 4,030 kg ha⁻¹. El contenido de proteína en el grano fue incrementado por la micorriza (17%), en relación con el testigo. Por el contrario, la multicepa de *A. brasilense* no mostró una aportación significativa en las características de planta y de grano de sorgo (Tabla 3).

Resultados obtenidos en maíz (*Zea mays*) (Díaz et al., 2005) indicaron que *R. intraradices* o *A. brasilense* inoculados en semilla de forma individual incrementaron significativamente la producción de elote y de grano, e inclusive igualaron o superaron al tratamiento testigo con fertilización inorgánica. Similarmente, Mendoza et al. (2004 en Díaz y Mayek, 2008) reportaron en sorgo incremento mayor en el rendimiento con la inoculación independiente de los mismos simbiontes, comparada con la inoculación

Tabla 3. Características de planta y productividad del sorgo 'DK-52' inoculado con simbiontes. Localidad "El Vaso", Matamoros, Tamaulipas, 2003 (Díaz et al., 2011)

Tratamientos	Altura de planta	Biomasa (g)		Longitud de	Grano	
	(cm)	Foliar	Radical	panoja (cm)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Proteína (%)
<i>R. intraradices</i> (R)	110 a [‡]	130 a	14.7 a	22.7 a	4089 a	10.0 a
<i>A. brasilense</i> (A)	103 b	104 b	10.4 bc	21.2 ab	3971 a	8.8 b
R + A	103 b	102 b	12.1 b	21.3 ab	3683 bc	9.4 ab
Mulicepa-Ab	97 b	88 c	8.9 c	19.4 c	3398 c	9.0 b
Testigo	102 b	85 c	8.8 c	20.2 bc	3510 bc	8.5 b
Significancia	*	**	*	*	*	*
CV (%)	7.7	22.1	17.3	5.4	15.7	4.8

[‡] Valores unidos con la misma letra son semejantes (DMS, $p \leq 0.05$).

*. ** Significancia en el ámbito de $p \leq 0.05$ ó 0.01, respectivamente.

dual. Por el contrario, diferentes investigaciones señalan una mejor respuesta de los cultivos o sinergia con la simbiosis doble entre HMA-*A. brasilense* (ó BPCV) (Widada et al., 2007; Olalde y Serratos, 2008; Aguirre, 2009; Chamizo et al., 2009). Los resultados indicaron que en condiciones semiáridas de Tamaulipas, *R. intraradices* o *A. brasilense* fueron capaces de incrementar el rendimiento de grano de sorgo.

Fertilización inorgánica vs. micorrización en secano

Está documentado que en suelo no fertilizado la inoculación micorrízica incrementa la productividad del sorgo, aunque también es competitiva cuando se compara con la fertilización inorgánica (Díaz et al., 2007; Díaz et al., 2011). Sin embargo, poco se conoce sobre la efectividad de los HMA en los cultivos en función del tiempo. La funcionalidad de los HMA influye directa e indirectamente, parcial o totalmente en las modificaciones de las propiedades físicas y químicas del suelo a través del tiempo, y las variaciones dependen de las características del suelo y a su capacidad amortiguadora nutrimental en la interacción suelo-planta-HMA (Baera, 1991; Mader et al., 2000). Algunos productores del norte de Tamaulipas han incorporado la práctica de micorrización al manejo agronómico del sorgo durante 6 años a 7 años consecutivos y sin el uso de fertilización inorgánica, por lo que el propósito del estudio fue comparar entre el manejo del sorgo con inoculación de *R. intraradices* y fertilización inorgánica mediante: a) el rendimiento de grano y la rentabilidad de la producción en 5 años; y b) determinar algunas características de suelo y planta

después de 5 años sucesivos, entre ambos manejos del cultivo.

En un estudio de 5 años en secano se planteó el objetivo de medir algunas características de suelo y planta en sorgo cultivado mediante inoculación de semilla con *R. intraradices* (0.5 kg ha⁻¹) y comparado con la fertilización inorgánica (60-20-00) como testigo. El experimento se condujo con una rotación anual cultivo sorgo-descanso, que significa un cultivo de sorgo por año (ciclo otoño-invierno), seguido por un periodo de barbecho (ciclo primavera-verano), y el híbrido de sorgo utilizado fue el Pioneer 82G63. El tipo de suelo fue Vertisol, con una textura arcillosa y pH de 7.9. Los tratamientos se establecieron en el mismo sitio (espacio y tiempo), la siembra fue mecanizada, con humedad residual, y entre finales de enero y principios de febrero en cada año.

El rendimiento de grano se estimó anualmente y se obtuvo la relación beneficio-costos (B/C) a través de la ecuación: $B/C = RG \times P/C$, donde RG fue el rendimiento de grano; P el precio; y C el costo (Micorriza INIFAP, \$45.00 ha⁻¹; precio del sorgo, \$1,920.00 t⁻¹; producción por hectárea con inoculación, \$2,274.00 ha⁻¹; y fertilización inorgánica, \$3,200.00 ha⁻¹). En el quinto año, 2006, se midieron algunas características de planta y de suelo. En floración, se cuantificó el índice de clorofila a través del determinador Minolta SPAD 502, hecho en la parte central de la hoja bandera; en madurez se registró la altura de planta, biomasa foliar fresca y seca, y biomasa radical. Al final del ciclo del cultivo, se hicieron muestreos de suelo a profundidad de

Tabla 4. Rendimiento de grano (t ha⁻¹) y beneficio-costos (B/C) comparativo entre micorrización y fertilización inorgánica en sorgo. Díaz et al (2012)

Año	<i>R. intraradices</i>		60-20-00 (testigo)	
	t ha ⁻¹	B/C	t ha ⁻¹	B/C
2002	2.84 a [‡]	2.5	2.80 a	1.9
2003	3.78 a	3.4	3.90 a	2.6
2004	4.96 a	4.4	5.24 a	3.6
2005	2.58 a	2.3	2.73 a	1.9
2006	4.47 a	4.5	4.84 a	4.3
Promedio	3.72 a	3.4	3.90 a	2.8

P>F

Años (A)	0.001
Trat. (T)	0.165
A x T	0.858

[‡] Letras diferentes en la misma fila muestran diferencias significativas (P<0.05); n=9.

hasta 30 cm, en total fueron dos muestras compuestas de cada parcela. Éstas a su vez se dividieron en tres submuestras, una mantenida en hielera para la determinación de CO₂ y las otras dos destinadas para el recuento de esporas y el análisis químico.

El rendimiento de sorgo entre *R. intraradices* y la fertilización inorgánica fue semejante entre los años y en el promedio de los cinco años. Esto propició que la práctica con micorrización superara en la relación B/C a la fertilización inorgánica (60-20-00) en todos los años. En promedio de 2002-2006 registró un incremento de la rentabilidad con el hongo micorrízico en 17.7%, con relación a la fertilización inorgánica (Tabla 4).

Se concluye que la productividad del sorgo a través de la inoculación micorrícica dio como resultado un manejo agrícola más rentable y sostenible. Lo anterior refleja lo experimentado por algunos productores de sorgo que han utilizado el hongo micorrízico por 6 o más años y sin la adición de fertilizantes.

Después de los 5 años los valores del índice de clorofila, la altura de planta, la biomasa foliar fresca y seca, no mostraron diferencias entre el sorgo cultivado con la micorrización y el que llevó la fertilización inorgánica. Por el contrario, la inoculación acrecentó con 10.2 g la biomasa radical, comparada con el manejo fertilizado (Tabla 5). El análisis químico de los suelos indicó que los valores de pH, materia orgánica, conductividad eléctrica, P y K, se mantuvieron semejantes entre tratamientos. No obstante, la concentración de N resultó superior con el tratamiento fertilizado (37.8 mg kg⁻¹) (Tabla 6).

La cuantificación de esporas de HMA fue mayor con la micorrización, que registró una promoción de 874 esporas g⁻¹ sobre la fertilización inorgánica. El mismo tratamiento incrementó la emisión de CO₂, superaron en 77% a la fertilización (Tabla 6). Diferentes estudios han demostrado que la biomasa microbiana en el suelo es un indicador sensible de calidad del mismo dentro de una variedad de prácticas agronómicas (Ndiaye et al., 2000; Roldán et al., 2006). Harinikumar y Bagyaraj (1989) compararon la secuencia en la rotación de diferentes cultivos con y sin fertilización química en condiciones semiáridas y demostraron que en ausencia del fertilizante se observó una mayor actividad micorrícica arbuscular nativa. La menor cantidad de N en el suelo con el



Figura 1. Sorgo cultivado en condiciones de temporal en San Fernando, Tamaulipas. Surcos de lado izquierdo sin inoculación (testigo), surcos de lado derecho con inoculación micorrícica (*Rhizophagus intraradices*). Fotografía de Arturo Díaz.

inoculado puede ser una indicación de la consunción del elemento por la falta de su reposición. Aunque este desequilibrio fue tangible, no se manifestó a través del índice de clorofila, la biomasa foliar, ni en el rendimiento de grano. Bressan et al. (2001) y Singh y Tilak (1992) informaron que los HMA en sorgo y soya contribuyeron en el incremento de biomasa y a una mayor absorción de N, P, K, Zn y Cu por la planta.

En un estudio hecho con maíz en macetas, por cinco ciclos consecutivos, Robles y Baera (2004) concluyeron que los valores de las variables

Tabla 5. Comparación de características de planta de sorgo obtenidas después de 5 años consecutivos con inoculación micorrícica de semilla o fertilización inorgánica. Díaz et al (2012)

Variable	<i>R. intraradices</i>	60-20-00 (testigo)	P>F
Clorofila (SPAD) (n=75)	48.2	51.2	0.651
Altura de planta (cm) (n=30)	112.6	115.0	0.326
Biomasa foliar fresca (g) (n=30)	135.3	141.6	0.412
Biomasa foliar seca (g) (n=30)	86.0	88.7	0.321
Biomasa radical (g) (n=30)	41.2	31.0	0.023

Tabla 6. Comparación de características químicas y biológicas de suelo cultivado con sorgo después de 5 años consecutivos utilizando inoculación con *R. intraradices* o fertilización inorgánica. Díaz et al. (2012)

Variable*	<i>R. intraradices</i>	60-20-00 (testigo)	P>F
pH	8.1	8.0	0.537
Materia orgánica (%)	2.1	2.0	0.911
Conductividad eléctrica (mmhos cm ⁻¹)	0.66	0.71	0.234
N (mg kg ⁻¹)	31.1	37.8	0.042
P (mg kg ⁻¹)	14.9	15.9	0.867
K (mg kg ⁻¹)	370	407	0.848
Esporas de HMA (No. 100 g ⁻¹ suelo)	5404	4530	0.041
Emisión de CO ₂ (moles de CO ₂ g suelo ⁻¹)	0.0042340	0.0023875	0.006

*N=6.

medidas en la planta se redujeron con el tiempo en el tratamiento inoculado, comparado con el fertilizado, al parecer debido al agotamiento de la fertilidad del suelo por la extracción continua de nutrimentos por el cultivo. Por el contrario, Díaz et al. (2008a) compararon maíz de secano, inoculado con *R. intraradices* y un testigo con la fórmula 60-20-00, y registraron que en 3 años sucesivos tanto el contenido de clorofila como la producción de grano fue semejante en ambos tratamientos, variables que correlacionaron positivamente ($r=0.93$). En un estudio similar Salinas et al. (2005) reportaron que después de 2 años los niveles de materia orgánica, N, P y K en tres profundidades del suelo fueron semejantes cuando se comparó el frijol (*Phaseolus vulgaris*) fertilizado (40-20-00) o con *R. intraradices* no fertilizado. El impacto que tuvo *R. intraradices* en sorgo en condiciones de secano en Tamaulipas fue manifestado con el beneficio en la productividad y rentabilidad bajo un sistema de producción sostenible.

Cepas de hongos micorrícicos en sorgo en condiciones de riego y secano

Muchos estudios se han enfocado en conocer los efectos de inoculantes micorrícicos para incrementar la producción en los cultivos. No obstante, algunas cepas de microorganismos benefician en mayor grado a un determinado hospedero comparado con otros, en función de su efectividad y las condiciones de suelo y clima (Klironomos, 2003; Rodríguez et al., 2004; Montero et al., 2010). Diversos inoculantes son preparados a partir de cepas micorrícicas introducidas o extranjeras, aunque se le ha dado énfasis en la utilización de cepas nativas, con mayor capacidad de adaptación y efectividad en sitios y climas específicos (Plenchette et al., 2005; Ferrera y

Alarcón, 2008; Tchabi et al., 2010). En Tamaulipas se siembran más de 750,000 ha de sorgo, de las cuales una tercera parte corresponde a condición de riego y las restantes a secano. Por ello, el objetivo del trabajo fue evaluar cepas de HMA nativas para conocer su impacto en las características de planta y rendimiento de sorgo en condición de riego y secano.

El híbrido DK-345 se sembró en la localidad Santo Domingo, Río Bravo, Tamaulipas, área de riego y en la localidad "El Vaso", Matamoros, Tamaulipas, área de secano. En Santo Domingo la fertilización inorgánica fue de 80-00-00, mientras que en "El Vaso" no se fertilizó. Las cepas nativas de HMA evaluadas del Campo Experimental General Terán, INIFAP, son provenientes de regiones áridas y semiáridas del noroeste de México (Peña del Río et al., 2007), las cuales fueron: 3 (*Funneliformis mossae*), 20 (*Gigaspora* sp.), 32 (*F. mossae*), 35 (*F. mossae*), 39 (*F. mossae*), 55 (*Gigaspora* sp.), micorriza INIFAP (*R. intraradices*) y testigo sin inoculación. La semilla utilizada fue de 7 kg ha⁻¹ y 8 kg ha⁻¹, en secano y riego, respectivamente. Las cepas micorrícicas se inocularon a razón de 0.5 kg ha⁻¹ mediante agua y adherente. En ambas localidades se midió el índice de clorofila (SPAD) en hoja bandera, en floración (50%) y al término de floración; en madurez se estimó la altura de planta, la biomasa seca y el rendimiento de grano.

La respuesta de la planta de sorgo a la combinación cepa micorrícica-condición de humedad indicó que el índice de clorofila en hoja bandera mostró interacción cepa-condición, la misma variable al final de la floración fue mayor con la micorriza INIFAP, y las cepas 55, 20 y 35. La biomasa seca del testigo fue superada similarmente por la inoculación de todos los

hongos micorrícicos, mientras que para el rendimiento de grano, la micorriza INIFAP y la cepa 55 fueron las que registraron el mayor rendimiento, seguidas por las cepas 39, 20 y 35 (Tabla 7).

Los resultados obtenidos demostraron que, con excepción de la lectura de clorofila en estado de hoja bandera, los valores de las variables evaluadas fueron superiores en la condición de riego, como era de esperarse. No obstante, independientemente de la condición de riego o seco, las cepas micorrícicas fueron capaces de promover mejores características de planta y rendimiento de grano. La micorrización ha demostrado incrementos en la productividad de numerosos cultivos en suelos con diferente estrés hídrico, tal es el caso del trigo (*Triticum aestivum*), sandía (*Citrullus lanatus*) y maíz, de los cuales la micorrización acrecentó el rendimiento, tanto en sequía como en niveles de humedad (Sylvia et al., 1993; Kaya et al., 2003; Al-Karaki et al., 2004).

Se encontraron algunas correlaciones positivas entre las variables como clorofila al final de floración con rendimiento ($r=0.69^{**}$), clorofila en floración con rendimiento ($r=0.62^*$), la altura de planta con biomasa seca ($r=0.88^{**}$), la altura de planta con rendimiento ($r=0.60^*$) y biomasa seca con rendimiento ($r=0.65^*$).

Las variaciones de respuesta entre cepas en el sorgo se puede explicar tal como lo señalan Wani y Lee (2002), quienes indicaron que los inoculantes microbianos, al ser agentes biológicos, se encuentran sujetos a la influencia de condiciones ambientales hostiles, de manera que su efectividad en la planta hospedera se encuentra gobernada por múltiples factores.

Efecto de la inoculación con *R. intraradices* en sorgo bajo diferentes manejos agronómicos en Tamaulipas

El estudio se desarrolló en diferentes ambientes del estado de Tamaulipas comprendidos en ocho municipios durante 2007 a 2009. Los municipios comprendidos en la región norte del estado fueron: Reynosa, Río Bravo, Matamoros y Valle Hermoso; en el centro, Abasolo; y en la región sur Mante y Altamira. En estas regiones la rotación consiste de sorgo-descanso, esto es, un cultivo anual seguido por periodo de barbecho, para retener la humedad en el suelo. En total se establecieron 21 parcelas y el criterio para la selección de los sitios fue la uniformidad de relieve y suelo, manifestado en el desarrollo del cultivo anterior. En los ciclos agrícolas otoño-invierno o primavera-verano se condujeron 13 parcelas con productores en condiciones de seco, de las cuales la fecha de siembra, el híbrido de sorgo

Tabla 7. Características de planta y rendimiento de sorgo influenciados por cepas de hongos micorrícicos en condiciones de riego y seco

Variable	Índice de clorofila (SPAD)			Altura de planta (cm)	Biomasa seca (g)	Kg ha ⁻¹
	Hoja bandera	Floración	Final de floración			
Cepa						
Micorriza INIFAP	39.5 a*	39.6	34.4 a	109.5	54.2 a	3760 a
32 (F. mossae)	37.7 b	38.6	31.2 b	109.1	53.5 a	2999 c
3 (F. mossae)	39.0 a	39.0	31.4 b	107.8	50.1 a	2909 c
55 (Gigaspora sp.)	39.5 a	38.8	35.1 a	107.8	53.9 a	3616 ab
39 (F. mossae)	38.0 b	40.1	31.6 b	106.3	52.0 a	3223 bc
20 (Gigaspora sp.)	37.7 b	38.4	32.0 ab	106.0	54.2 a	3377 b
35 (F. mossae)	39.9 a	38.1	33.0 ab	108.9	49.2 ab	3514 b
Testigo	33.9 c	37.1	26.5 c	105.8	44.6 b	2886 c
P>F	0.004	0.345	0.003	0.202	0.026	0.001
Condición						
Secano ('El Vaso')	40.1 a	32.2 b	24.0 b	99.4 b	45.0 b	3069 b
Riego (Santo. Domingo)	36.3 b	44.8 a	39.8 a	115.9 a	57.9 a	3565 a
P>F	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Cepa x Condición	0.021	0.200	0.071	0.528	0.624	0.911
CV	4.5	8.4	8.3	3.2	13.1	14.3

*Tukey nivel 5%.

para grano utilizado, la sembradora (mecánicas y de precisión son comunes) y otras prácticas agronómicas, fueron las que realiza el productor. En ningún caso se adicionaron fertilizantes inorgánicos.

En otoño-invierno de 2008 y 2009 se sumaron ocho parcelas en condiciones de riego, dos en el centro del estado (Abasolo, Tam.) y seis en la región norte; a diferencia de la condición de secano, los productores aplicaron fertilización química a base de N y P, con dosis de 80 a 100 kg ha⁻¹ de N y de 0 a 40 kg ha⁻¹ de P; excepto en Valle Hermoso, Tamaulipas, donde el productor adicionó solamente gallinaza (o pollinaza). La mitad del N y todo el P se aplicó en presiembra y la otra mitad del N en el riego de floración. En la mayoría de los casos la siembra se hizo con sembradora de precisión.

En las parcelas de las diferentes localidades y con la colaboración de los productores, el trabajo consistió en sembrar una superficie de 0.25 a 1.0 ha con semilla de sorgo inoculada con *R. intraradices* (Micorriza INIFAP), comparada con la semilla sin inocular (testigo). Ambos tratamientos fueron conducidos con el mismo híbrido y de acuerdo al manejo utilizado por el productor, con la finalidad de contrastar el efecto de la tecnología. La cantidad de semilla de sorgo utilizada fluctuó de 6 a 8 kg ha⁻¹ en secano y de 7 a 9 kg ha⁻¹ en condiciones de riego. Algunos productores utilizaron semilla tratada (comercializada) con los insecticidas Poncho® (clothianidin, 150 g i.a. 50 kg⁻¹) y Cruiser® (thiamethoxam, 90 g i.a. 50 kg⁻¹), los cuales protegen contra el pulgón *Rhopalosiphum maidis* en el estado de plántula (Tablas 2 y 3) (Nauen et al., 2003; Vivas et al., 2009). La inoculación de la semilla para una hectárea consistió en humedecerla y mezclarla con una suspensión de 0.5 L de agua a 0.6 L de agua y 60 mL de carboximetilelulosa como adherente. Se adicionó y mezcló con 0.5 kg del inoculante micorrícico. Para mezclar la semilla se utilizaron bolsas de plástico o tanque dicéntrico. La semilla inoculada se sembró inmediatamente, y en los casos en los que la siembra se hizo días después, se extendió en lona para secarla en sombra (Díaz et al., 2008b).

Para medir el efecto de la simbiosis micorrícica en sorgo, en cada parcela se tomaron 30 plantas en madurez fisiológica en forma aleatoria. De estas plantas se midió la longitud de la panoja; las raíces se cortaron desde la base del tallo, se lavaron para eliminar los residuos de suelo para después pesar la biomasa fresca radical. El rendimiento de grano

total (kg ha⁻¹) se estimó al cosechar las panojas de seis subparcelas de dos surcos de 5 m de longitud. El rendimiento de grano se ajustó a 14% de humedad. Con la información obtenida se hicieron comparaciones estadísticas, con los tratamientos con y sin inoculación micorrícica, a través de la prueba de *t*-student y el cálculo de las desviaciones estándar.

La siembra de semilla de sorgo inoculada con *R. intraradices* se realizó satisfactoriamente con las sembradoras de precisión y mecánicas. Resultó evidente el impacto promotor de *R. intraradices* en la biomasa radical, la longitud de la panoja y el rendimiento de grano de sorgo, comparado con testigo y bajo el mismo manejo agronómico. En la biomasa radical, con excepción de la localidad Brecha 119-E (2009), en todos los casos se registraron incrementos con la micorización, los cuales fluctuaron entre 3.1 g y 12.5 g sobre el testigo. Para la longitud de panoja del sorgo, en todas las localidades también se observó mayor tamaño con la micorización; la longitud se incrementó entre 2.5 cm y 5.4 cm. De manera similar, solamente en tres localidades [Ej. Cárdenas (2008), "El Vaso" (2) y Ej. Cárdenas (2009), en secano] el rendimiento de grano fue semejante entre el inoculado y el testigo, en el resto de las localidades el simbionte aumentó la producción de grano en un rango de 289 kg ha⁻¹ a 749 kg ha⁻¹.

No obstante que en las localidades donde los valores de biomasa radical y rendimiento de grano entre el inoculado y el testigo no fueron significativos, se observaron aumentos numéricos a favor de la micorriza; lo que demostró que en el 94.7% de los casos la micorización impactó en el incremento de la biomasa radical, en el 100% de los casos en la longitud de la panoja y en el 85.7% en el rendimiento de grano (Tabla 8). Los resultados en cada una de las parcelas demostraron la consistente respuesta promotora que tuvo *R. intraradices* en las variables evaluadas en sorgo, a pesar de la variabilidad de genotipos, suelos, prácticas agronómicas y ambientes. Lo anterior valida otros estudios donde se demostró que *R. intraradices* fue capaz de estimular el crecimiento y el rendimiento del sorgo (Díaz et al., 2007; Magallanes et al., 2008; Mehraban et al., 2009; Díaz et al., 2011).

Por otro lado, en ocho localidades la semilla de sorgo utilizada estuvo tratada con los insecticidas thiamethoxam ó clothianidin y en todas se observaron incrementos significativos de biomasa radical, longitud de panoja y rendimiento de grano

con la inoculación, excluyendo las localidades del Ej. Cárdenas (2008 y 2009) donde el rendimiento fue semejante al testigo (Tabla 8). No existen precedentes sobre la influencia de dichos insecticidas sobre los HMA, aunque otros resultados de campo⁴⁵ indicaron efecto sinérgico con la combinación de los insecticidas-HMA en la semilla de sorgo, bajo altas poblaciones de pulgones (*R. maidis*) en estado de plántula. Los resultados obtenidos tanto

en condiciones de riego como de secano indicaron que la micorrización acrecentó significativamente la biomasa radical en 7.6 g, la longitud de la panoja en 3.3 cm, el rendimiento de grano en 524 kg ha⁻¹, y la rentabilidad de la producción en 17%, con relación al testigo.

Los resultados obtenidos demuestran efectos positivos en la producción de sorgo para grano

Tabla 8. Respuesta del sorgo a la inoculación de semilla con micorriza arbuscular *R. intraradices* en parcelas establecidas en el estado de Tamaulipas en condiciones de secano y de riego 2007-2009 (Díaz et al., 2013)

Localidad	Biomasa radical (g)		Longitud de panoja (cm)		Rendimiento de grano (kg ha ⁻¹)	
	Micorriza	Testigo	Micorriza	Testigo	Micorriza	Testigo
Secano						
2007						
Est. Cuauhtémoc	--	--	24.1 ± 1.10*	21.6 ± 0.91	3745 ± 330**	3300 ± 293
Ej. La Esperanza	29.6 ± 3.42*	22.2 ± 3.00	--	--	2429 ± 280*	2140 ± 276
Rancho Sosa	37.6 ± 2.03*	34.6 ± 1.96	--	--	3657 ± 306*	3224 ± 189
Ej. El Porvenir	--	--	20.7 ± 0.70**	17.3 ± 1.30	1206 ± 105*	829 ± 71
2008						
Ej. Francisco Villa	13.1 ± 0.63*	9.3 ± 0.86	30.2 ± 2.50**	26.5 ± 1.81	2798 ± 190**	2291 ± 163
El Vaso (1)	22.8 ± 4.06**	13.5 ± 2.31	26.5 ± 1.02**	22.3 ± 0.91	3198 ± 192*	2797 ± 181
Ej. Cárdenas	24.5 ± 3.63**	16.4 ± 2.49	28.5 ± 0.93**	24.8 ± 1.10	3459 ± 403 ^{NS}	3043 ± 346
Ej. Ángel Flores	14.9 ± 2.07**	11.6 ± 1.10	22.7 ± 0.30*	21.0 ± 0.42	1995 ± 173*	1528 ± 80
Brecha 119-E	30.4 ± 5.18**	18.0 ± 2.29	27.5 ± 1.57**	23.1 ± 0.75	1925 ± 185*	1564 ± 190
El Vaso (2)	25.7 ± 2.78**	15.7 ± 2.31	29.5 ± 0.32**	24.1 ± 0.91	3329 ± 301 ^{NS}	2805 ± 318
2009						
El Vaso	16.6 ± 0.91**	18.7 ± 0.39	24.6 ± 1.06**	22.5 ± 0.98	2805 ± 139*	2084 ± 297
Ej. Cárdenas	22.9 ± 3.33**	11.5 ± 2.02	26.0 ± 0.88**	22.0 ± 0.93	2189 ± 114 ^{NS}	1759 ± 180
Brecha 119-E	14.6 ± 3.35 ^{NS}	12.2 ± 3.25	25.8 ± 0.43**	23.3 ± 0.49	2686 ± 277**	1979 ± 177
Riego						
2008						
Las Adjuntas (1)	21.5 ± 4.58**	8.4 ± 3.72	25.0 ± 0.79**	22.5 ± 0.90	5726 ± 361**	4977 ± 289
Las Adjuntas (2)	14.7 ± 2.89**	10.0 ± 1.79	27.6 ± 1.03*	25.0 ± 1.01	2539 ± 205**	1912 ± 195
Brecha 119-E	29.9 ± 1.84**	24.1 ± 1.91	31.3 ± 1.00**	28.1 ± 1.32	5327 ± 315*	4833 ± 189
Rancho San Miguel	23.2 ± 2.65**	18.6 ± 2.09	32.8 ± 1.01**	29.2 ± 0.27	4851 ± 183**	4125 ± 163
Rancho El Jardín	22.5 ± 3.87**	13.8 ± 2.65	33.2 ± 1.63**	28.4 ± 1.15	5122 ± 242**	4418 ± 382
2009						
Rancho García	22.4 ± 6.57**	9.9 ± 3.08	29.2 ± 0.84**	26.0 ± 0.33	5216 ± 218**	4841 ± 242
Brecha 109-N	19.3 ± 4.51**	10.3 ± 2.82	27.9 ± 0.57**	24.5 ± 1.03	5013 ± 269**	4641 ± 283
Brecha 119-E	31.9 ± 6.32**	17.8 ± 2.45	26.8 ± 0.41**	23.7 ± 0.44	4068 ± 122*	3652 ± 258

^{NS} *, ** No significativo o significativo a nivel de $P \leq 0.05$ y 0.01 , respectivamente.

± Desviación estándar.

⁴⁵ Comunicación personal del M.C. Luis Castañón Nájera, Fundación Produce Tamaulipas, A. C.

mediante la práctica de inoculación del hongo micorrícico en semilla, bajo una diversidad de ambientes y de manejo agronómico del cultivo de sorgo en Tamaulipas. Con la misma práctica, podrían esperarse también efectos de promoción de la productividad de sorgo en otras regiones productoras que presenten condiciones semejantes.

CONCLUSIONES

La inoculación micorrícica con *Rhizophagus intraradices* (micorriza INIFAP) sola o en combinación con la aspersión de brasinoesteroide incrementó el peso y rendimiento de grano de sorgo en dos texturas de suelo.

En la evaluación del efecto individual y combinado de los simbiontes *R. intraradices* y *A. brasilense* en la productividad de sorgo, los mayores rendimientos de grano se obtuvieron de manera semejante, con la inoculación independiente de *R. intraradices* o *A. brasilense*. El contenido de proteína en el grano se incrementó con la micorriza (17%) en relación con el testigo.

Cuando se comparó durante 5 años consecutivos el rendimiento con *R. intraradices* y el de la fertilización química (60-20-00), se demostró que el hongo micorrícico igualó el rendimiento al fertilizado, pero siempre fue superior en la relación beneficio-coste de la producción. Además, incrementó la actividad biológica del suelo, sin alterar las propiedades químicas del mismo.

Cuando se comparó la respuesta del sorgo a seis cepas experimentales de hongos micorrícicos y *R. intraradices*, en condiciones de riego y seco, se destacó que la biomasa seca del testigo fue superada similarmente por la inoculación de todos los hongos micorrícicos, mientras que para el rendimiento de grano, *R. intraradices* y la cepa 55 registraron el mayor rendimiento.

Bajo diferentes manejos agronómicos del sorgo en Tamaulipas destacó que tanto en condiciones de seco como en riego se observaron efectos benéficos significativos por la inoculación micorrícica en las características de planta y en la producción de grano de sorgo. Se pudo demostrar que a escala comercial, la siembra de la semilla inoculada se puede realizar con los implementos y el manejo agronómico utilizados por los productores. La inoculación micorrícica podrá ser combinada con semilla de empresas que la comercializan con tratamiento de insecticidas, que tiene como propósito la prevención al ataque de insectos chupadores. Es importante destacar que para el agricultor de la entidad la inoculación de la semilla representa una práctica adicional (no tradicional), y las variantes en su procedimiento dependerán principalmente del volumen de semilla empleada para la siembra. Al respecto los productores han utilizado diferentes tipos de mezcladoras, inclusive revolventoras para cemento de diferentes capacidades; también han utilizado las máquinas mezcladoras de empresas de semillas que las ofrecen para el tratamiento de insecticidas. Lo anterior refleja el grado de adopción del inoculante micorrícico y la factibilidad de esta biotecnología en los sistemas de producción comercial en Tamaulipas.

LITERATURA CITADA

- ADESEMOYE, A. O. y KLOEPPER, J. W. Plant-microbes interactions in enhanced fertilizer-use efficiency. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85: 1-12, 2009.
- AGUILERA, R. M. et al. Effect of brassinosteroids analogues on rice productivity in saline conditions. *Alimentaria*, 46: 71-75, 2003.
- AGUIRRE, M. F. Los biofertilizantes microbianos: Alternativa para la agricultura en México. Campo Experimental Rosario Izapa, INIFAP. Folleto No. 5. 68 p., 2009.
- AL-KARAKI, B. et al. Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. *Mycorrhiza* 14:263-269, 2004.
- ASERI, G. K. et al. Biofertilizers improve plant growth, fruit yield, nutrition, metabolism and rhizosphere enzyme activities of pomegranate (*Punica granatum* L.). *Science Horticulture* 117:130-135, 2008.
- BAERA, J. M. Vesicular-arbuscular mycorrhizae as modifiers of soil fertility. *Adv. Soil Sci.* 15: 1-40, 1991. Bashan, Y. El uso de inoculantes microbianos como una importante contribución al futuro de la agricultura mexicana. In: DÍAZ FA y MAYEK PN (eds). La Biofertilización como Tecnología Sostenible. Plaza y Valdés, CONACYT. México. Pp:17-23, 2008.
- BRESSAN, W. et al. A. Mycorrhizal fungi and phosphorus on growth, yield and nutrition of intercropped grain sorghum and soybean. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 36:315-323, 2001.
- CARPIO, A. L. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi, organic and inorganic controlled-release fertilizers: Effect on growth and lea-

- chate of container-grown bush morning glory (*Ipomoea carnea* ssp. *fistulosa*) under high production temperatures. *Journal of American Society Horticultural Science* 130:131-139, 2005.
- CHAMIZO, A. et al. Inoculación de alfalfa con hongos micorrízicos arbusculares y rizobacterias en dos tipos de suelo. *Terra Latinoamericana*, 27(3): 197-205, 2009.
 - DÍAZ F. A. et al. Fertilización biológica y producción de maíz en la región semiárida del norte de Tamaulipas, México. *Agricultura Técnica en México*, 31: 153-163, 2005.
 - “ DÍAZ, F. A. et al. Arbuscular mycorrhiza in sorghum under different agro-technological and environmental management. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4: 215-228, 2013.
 - “ DÍAZ, F. A. et al. Características de suelo entre sorgo fertilizado versus inoculado con micorriza arbuscular después de seis años. *Memoria XXIV Semana Internacional Agronomía FAZ-UJED*. 398-403, 2012.
 - DÍAZ, F. A. y GARZA, C. I. Crecimiento de genotipos de sorgo y cártamo asociados a la colonización micorrízica arbuscular en suelo con baja fertilidad. *Universidad y Ciencia*, 23: 15-20, 2007.
 - DÍAZ F. A. et al. Impacto de inoculantes microbianos en sorgo cultivado bajo déficit de humedad en el suelo. En: . OSWALD, U. (Ed.), *Retos de la Investigación del Agua en México*, pp:273-281, México:CRIM-UNAM, CONACYT, 2011.
 - DÍAZ, F. A. et al. Impacto de labranza e inoculación micorrízica arbuscular sobre la pudrición carbonosa y rendimiento de maíz en condiciones semiáridas. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31: 257-263, 2008a.
 - DÍAZ, F. A. et al. Productividad del sorgo con inoculación de micorriza arbuscular. *Campo Experimental Río Bravo, INIFAP. Río Bravo, Tamaulipas, México. Folleto No. 18. 21 p.*, 2008b.
 - DÍAZ, M. R. et al. Brassinoesteroides e inoculación de micorriza arbuscular (*Glomus intraradices*) en el crecimiento y producción de sorgo en campo. *Terra Latinoamericana*, 25: 77-83, 2007.
 - FERRERA, C. R. y ALARCÓN, A. Biotecnología de los hongos micorrízicos arbusculares. En: DÍAZ F., A. y MAYEK P., N. (Eds.), *La Biofertilización como Tecnología Sostenible*, pp. 25-38., México: Plaza y Valdés-CONACYT, 2008.
 - FRANCO, R. A. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi in chronically petroleum contaminated soils in Mexico and the effects of petroleum hydrocarbons on spore germination. *Journal of Basic Microbiology*, 47: 378-383, 2007.
 - GLICK, B. R. et al. *Biochemical and genetic mechanisms used by plant growth promoting bacteria*. London: Imperial College Press. 267 pp., 1999.
 - HARINIKUMAR, K. M. y BAGYARAJ, D. J. Effect of cropping sequence, fertilizers and farmyard manure on vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in different crops over three consecutive seasons. *Biology and Fertility Soils*, 7: 173-175, 1989.
 - HUNGRIÁ, M. et al. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yield of maize and wheat in Brazil. *Plant and Soil*, 331: 413-425, 2010.
 - IRÍZAR, G. M. et al. Respuesta de cultivos agrícolas a los biofertilizantes en la región central de México. *Agricultura Técnica en México*, 29: 213-225, 2003.
 - JETIYANON, K. et al. Broad-spectrum protection against several pathogens by PGPR mixtures under field conditions. *Plant Disease*, 87: 1390-1394, 2003.
 - KAYA, C. et al. Mycorrhizal colonization improves fruit yield and water use efficiency in watermelon (*Citrullus lanatus*) grown under well-watered and water-stressed conditions. *Plant and Soil*, 253: 287-292, 2003.
 - KLIRONOMOS, J. M. Variation in plant response to native and exotic arbuscular mycorrhizal fungi. *Ecology*, 84: 2292-2301, 2003.
 - LOREDO, O. C. et al. Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas con gramíneas: Una revisión. *Terra Latinoamericana*, 22: 225-239, 2004.
 - MADER, P. et al. Arbuscular mycorrhizae in long-term field trial comparing low-input (organic, biological) and high-input (conventional) farming systems in a crop rotation. *Biology and Fertility Soils*, 31: 150-156, 2000.
 - MAGALLANES, E. A. et al. Rentabilidad del sorgo mediante la inoculación de simbioses en suelo con y sin fertilización química. En: DÍAZ F., A. y MAYEK P., N. (Eds.), *La Biofertilización como Tecnología Sostenible*, pp. 224-227, México: Plaza y Valdés-CONACYT, 2008.
 - MANDAVA, N. Plant growth-promoting brassinosteroids. *Annals Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 39: 23-52, 1988.
 - MEHRABAN, A. et al. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhiza on yield of sorghum cultivars. *Journal Food Agriculture and Environment*, 7: 461-463, 2009.
 - MENDOZA, H. A. et al. Aislamiento, selección y evaluación de un inoculante basado en cepas nativas de *Azospirillum* en el norte de Tamaulipas. En: A DÍAZ F y N MAYEK P (Eds), *La Biofertilización como Tecnología Sostenible*, pp. 137-152, México: Plaza y Valdés/CONACYT, 2008.
 - MONTERO, L. et al. Efectividad de biofertilizantes micorrízicos en el rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum*) cultivado en diferentes condiciones de humedad del sustrato. *Cultivos Tropicales*, 31: 11-14, 2010.
 - NAUEN, R. et al. Thiamethoxam is a neonicotinoid precursor converted to clothianidin in insects and plants. *Pesticide and Biochemical Physiology*, 76: 55-69, 2003.
 - NDIAYE, E. L. et al. Integrative biological indicators for detecting change in soil quality. *American Journal of Alternative Agriculture*, 15: 26-36, 2000.

- OLALDE, P. V. y SERRATOS, R. Biofertilizantes: Micorrizas y bacterias promotoras de crecimiento. En: A DÍAZ F y N MAYEK P (Eds.), *La Biofertilización como Tecnología Sostenible*, pp: 55-66, México: Plaza y Valdés/CONACYT, 2008.
 - OSONUBI, O. Comparative effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal inoculation and phosphorus fertilization on growth and phosphorus uptake of maize and sorghum plants under drought-stressed conditions. *Biol. Fert. Soils*, 18: 55-59, 1994.
 - PEÑA DEL RÍO, A. et al. Aislamiento e identificación de hongos micorrízicos arbusculares de la región semiárida de Tamaulipas, México. *Libro II Foro Internacional Biológico Agropecuario*. Universidad Veracruzana, Tuxpan, Veracruz, pp: 468-476, 2007.
 - PLENCHETTE, C. et al. Managing arbuscular mycorrhizal fungi in cropping systems. *Canadian Journal of Plant Science*, 85: 31-40, 2005.
 - ROBLES, C. y BAERA, M. J. Respuesta de la planta y del suelo a inoculación con *Glomus intraradices* y rizobacterias en maíz en cultivo intensivo. *Terra Latinoamericana* 22: 59-69, 2004.
 - RODRÍGUEZ, Y. Y. et al. Estudio comparativo de seis cepas de hongos micorrízicos arbusculares en su interacción con el tomate (*Lycopersicon esculentum*). *Ecología Aplicada*, 3: 162-171, 2004.
 - ROLDÁN, A. et al. Soil sustainability indicators following conservation tillage practices under subtropical maize and bean crops. *Soil Tillage Research*, 93: 273-282, 2006.
 - RUSSO, M. V. y PERKINS, V. P. Yield and nutrient content of bell pepper pods from plants developed from seedlings inoculated, or not, with microorganism. *HortScience*, 45: 352-358, 2010.
 - SAINI, V. K. et al. Comparison of crop yield, soil microbial C, N and P, N-fixation, nodulation and mycorrhizal infection in inoculated and non-inoculated sorghum and chickpea crops. *Field Crops Research*, 89: 39-47, 2004.
 - SAIRAM, R. K. Effect of homobrassinolide application on plant metabolism and grain yield under irrigated and moisture-stress conditions of two wheat varieties. *Journal of Plant Growth Regulators*, 14: 173-181, 1994.
 - SALINAS, G. J. et al. Efectos de labranza y biofertilización en propiedades del suelo que afectan a la sostenibilidad de la producción de frijol. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 5: 30-34, 2005.
 - SARING, S. et al. Improvement of the water status and yield of field-grown grain sorghum (*Sorghum bicolor*) by inoculation with *Azospirillum brasilense*. *Journal of Agriculture Science*, 110: 271-277, 1988.
 - SASSE, J. Recent progress in brassinosteroids research. *Physiological Plant*, 100: 697-701, 1997.
 - SHARMA, S. et al. Impact of application of biofertilizers on soil structure and resident microbial community structure and function. En: MAHESHWARI, D.K. (Ed.), *Bacteria in Agrobiolgy: Plant Probiotics*, pp.65-79, New Delhi: Hauz Khas, 2012.
 - SINGH, M. y TILAK, K. Inoculation of sorghum (*Sorghum bicolor*) with *Glomus versiforme* under field conditions. *Tropical Agriculture*, 69: 323-326, 1992.
 - SMITH, S. E. y READ, D. J. *Mycorrhizal Symbiosis*. 3 ed., New York, USA: Academic Press, 2008.
 - SYLVIA, D. M. et al. Field response of maize to VAM fungus and water management. *Agronomy Journal*, 25: 193-198, 1993.
 - TARAFDAR, J. C. y RAO, V. A. Response of arid legumes to VAM fungal inoculation. *Symbiosis*, 22: 265-274, 1997.
 - TCHABI, A. et al. Efficacy of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi for promoting white yeast (*Dioscorea rotundata*) growth in West Africa. *Applied Soil Ecology*, 45: 92-100, 2010.
 - UTRIA, B. et al. Respuesta de plántulas de café a la aplicación de brasinosteroides en diferentes concentraciones y épocas de su desarrollo. *Revista Chapingo Serie Hortícola*, 10: 11-14, 2004.
 - VARELA, L. y TREJO, D. Los hongos micorrízicos arbusculares como componentes de la biodiversidad del suelo en México. *Acta Zoológica Mexicana*, 1: 39-51, 2001.
 - VASSEY, J. K. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255: 571-586, 2003.
 - VELASCO, U. L. et al. Vermicomposta, micorriza arbuscular y *Azospirillum brasilense* en tomate de cáscara. *Terra*, 19: 241-248, 2001.
 - VIVAS, L. et al. Insecticide thiamethoxam 25 % for the control of the sugarcane borer in rice. *Agronomía Tropical*, 59: 89-98, 2009.
 - WANI, S. P. y LEE, K. Biofertilizers for sustaining cereal crops production. En: KANNAIYAN, S. (Ed.), *Biotechnology of Biofertilizers*, pp: 50-64, India: Narosa Publishing, 2002.
 - WIDADA, J. et al. The interactive effects of arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobacteria on the growth and nutrients uptake of sorghum in acid soil. En: VELÁZQUEZ, E. Y RODRÍGUEZ, B. (Eds.), *First International Meeting on Microbial Phosphate Solubilization*, pp. 173-177, 2007.
 - WILLIAMS, A. H. et al. Sorgo. En: RODRÍGUEZ DEL BOSQUE, L. (Ed.), *Campo Experimental Río Bravo: 50 Años de Investigación Agropecuaria en el Norte de Tamaulipas*. Libro Técnico No. 1. Río Bravo, Tamaulipas, México: Campo Experimental Río Bravo, INIFAP. 287 pp., 2006.
- De páginas electrónicas**
- ADESEMOYE, A. O. et al. Plant growth promoting rhizobacteria allow reduced application rates of chemical fertilizers. *Microbiological Ecology*, 2009. doi: 10.1007/s00248-009-9531-y.
 - GOBIERNO DEL ESTADO DE TAMAULIPAS De: www.agrotamaulipas.gob.mx/información/sector/agricultura.htm. 2010. ene. 2010.

Situación actual de los sistemas de producción de grano de maíz en Tamaulipas, México

Current status of maize grain's production systems in Tamaulipas, Mexico

Zoila Reséndiz Ramírez¹, José Alberto López Santillán^{1*}, Florencio Briones Encinia¹, Ma. del Carmen Mendoza Castillo², Sóstenes E. Varela Fuentes¹

Reséndiz Ramírez, Z., López Santillán, J. A., Briones Encinia, F., Mendoza Castillo, M. C., Varela Fuentes, S. E., Situación actual de los sistemas de producción de grano de maíz en Tamaulipas, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 62: 69-75, mayo-agosto 2014.

RESUMEN

Tamaulipas posee una amplia diversidad agroecológica, lo que favorece la producción de maíz bajo formas y procedimientos productivos con diferentes grados de tecnificación y rendimientos de grano muy variables. Bajo riego se siembran alrededor de 150,000 ha anuales, con rendimientos promedio que van desde 2.5 hasta 5.5 t ha⁻¹; bajo temporal existen zonas con limitaciones ambientales y tecnológicas que ocasionan rendimientos inferiores a 1.5 t ha⁻¹, lo que muestra la necesidad de tecnología específica para las condiciones prevalecientes. Existe la intención gubernamental, a instancias de algunas empresas semilleras, de introducir híbridos transgénicos en el norte del estado, pero no se tiene conocimiento sobre las ventajas y desventajas de esto, lo que provoca una gran controversia. Además, en el estado existen regiones de bajo nivel productivo; pero estas son consideradas zonas de resguardo de maíz nativo, lo que hace necesario generar condiciones de equilibrio entre el mejoramiento de la productividad agrícola y la conservación de este recurso fitogenético.

Palabras clave: maíz nativo, transgénico, recurso fitogenético, rendimiento de grano, productividad, conservación.

Keywords: native maize, transgenic, plant genetic resource, grain yield, productivity, conservation.

Recibido: 5 de julio de 2013, **aceptado:** 26 de febrero de 2014

¹ Secretaría de Estudios de Posgrado e Investigación, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad Autónoma de Tamaulipas.

² Posgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Genética, Colegio de Postgraduados campus Montecillo.

* Autor para correspondencia: jalopez@uat.edu.mx

ABSTRACT

Tamaulipas has high agroecological diversity that supports the maize production in ways and productive procedures. These characteristics contain different grades of technification and variables of grain yield. Annually, 150 000 ha of maize are sowing under irrigation resulting from 2.5 to 5.5 t ha⁻¹ average yield. Under rainfed, there are zones with environmental and technology limitations which result in low yield as 1.5 t ha⁻¹. These show specific technological needs to improve actual conditions. The Government and seed companies are interested to introduce transgenic hybrids in the northern part of the state. In contrast, there is not enough knowledge about advantages and disadvantages concerning this topic that causes a controversy. Also, this state has regions with lower production level and which are considered as protective native maize zones. Additionally, it is necessary to increase equilibrium conditions between improving productivity in agriculture and conserve this plant genetic resource.

INTRODUCCIÓN

El maíz en México es un cultivo de alta importancia desde los aspectos cultural, económico, social, político y ecológico; en el estado de Tamaulipas este cultivo forma parte importante de las actividades económicas en varias de sus regiones agrícolas, además de ser centro de origen, domesticación y diversificación de esta especie (Mangelsdorf, 1974). Existe alta diversidad genética del germoplasma de este cereal bajo resguardo de los agricultores tamaulipecos, principalmente en el centro y sur del estado. Es considerado un recurso fitogenético

valioso porque posee adaptación a diferentes condiciones agroecológicas, alto potencial de rendimiento y otras características agronómicas deseables (Ángeles Arrieta, 2000; Pecina Martínez et al., 2009). A pesar de esto, en las últimas décadas se ha desarrollado poca investigación y mejoramiento en él (Reyes-Méndez y Cantú-Almaguer, 2006).

El mejoramiento genético de maíz en Tamaulipas inicia a partir de la década de los veinte del siglo pasado, en "La Hacienda de Benítez", pero a finales de la siguiente y principios de los cuarenta se empezaron a desarrollar y distribuir variedades mejoradas (Garza-Castillo, 2010), lo cual generó una gran variedad de poblaciones adaptadas a diferentes ambientes y necesidades. Sin embargo, en la década de los cincuenta el algodón fue el cultivo de mayor importancia en el norte del estado, por problemas entomológicos principalmente. Su siembra terminó en la década de los sesenta, tomando fuerza la producción de maíz, que alcanzó niveles máximos a mediados de los ochenta. En las siguientes, la superficie sembrada y el nivel de producción ha fluctuado grandemente, debido a una compleja problemática económica y ambiental, representada principalmente por la disminución del valor de producción y la contaminación con aflatoxinas (Martínez-Flores y García-Aguirre, 2003); desde finales de la década de los ochenta a causa del cambio climático, restricciones de agua para riego y periodos de sequía extrema en áreas bajo temporal, y en los últimos 20 años, se han acentuado los problemas de degradación de suelos, por la erosión eólica y salinidad (Valadez Gutiérrez et al., 2008; Andrade Limas et al., 2010).

No obstante, diversas regiones agrícolas del estado son consideradas como de alto potencial de producción para este cultivo, principalmente en el norte, ya que los agricultores con actitud empresarial de esta región han establecido sistemas de producción, lo que les permite lograr rendimientos de grano promedio superiores a 6.5 t ha^{-1} en un ciclo de cultivo inferior a 6 meses. Considerando estas características y que en esta región no se siembran maíces nativos, surgió el interés de varias empresas transnacionales para solicitar al gobierno de México la autorización para introducir semilla de maíz genéticamente modificado, también conocido como maíz transgénico. Existen diversas opiniones y controversia y destaca la falta de conocimiento sobre las ventajas y desventajas en términos

genéticos, económicos, sociales, culturales, de salud pública y ecológicos; por lo que se requiere realizar urgentemente un análisis integral de la situación para tomar la mejor decisión sobre la viabilidad del uso de este tipo de cultivos.

A partir del año 2000 en el estado se reinicia un esfuerzo para la conservación y uso de germoplasma de maíz nativo, sin dejar de incentivar el uso y desarrollo de maíces mejorados, con la finalidad de elevar la eficiencia de la producción; sin embargo, se requiere una visión más amplia, con información que involucre todos los aspectos que giran en torno a la producción de este cereal.

El objetivo de este trabajo es hacer una revisión analítica de las condiciones agroecológicas de la producción de maíz en Tamaulipas, los riesgos a los que está expuesto el germoplasma nativo y las necesidades de conservación de este recurso.

El cultivo de maíz en el estado de Tamaulipas

La agricultura en Tamaulipas tiene una antigüedad mayor a los 3,000 años, vestigios fósiles en las cuevas de Romero, Valenzuela, Ojo de Agua y La Perra en los municipios de Ocampo y Gómez Farías han mostrado evidencias de la domesticación del maíz desde 2,400 años a. C. (Smith, 1997), lo que coloca a la región centro de Tamaulipas en un lugar importante en la definición del origen del maíz y el desarrollo de la agricultura en México (Ortiz García y Otero Arnaiz, 2007). En los Siglos XVIII y XIX las grandes haciendas tamaulipecas como La Sauteña, la Hacienda de Benítez (Benítez, 1989) y El Borrego, entre otras, establecieron actividades agrícolas productivas, en algunos casos con el desarrollo de sistemas de riego y el aprovechamiento de medios de comunicación como el ferrocarril, se abrió paso a la producción de diversos cultivos entre ellos maíz; sin embargo, las evidencias documentales sobre el desarrollo del cultivo en estas épocas son mínimas o nulas.

En agosto de 1913 en el norte de Tamaulipas se inicia el reparto de tierras en la hacienda El Borrego, lo que marcó el inicio del desarrollo de la agricultura del Siglo XX; antes de la década de los 40 se abrieron muchos terrenos al cultivo, las actividades agrícolas se establecieron en todo el estado; principalmente bajo condiciones de temporal, cultivando sorgo y maíz principalmente, después caña de azúcar, algodón, soya, henequén y trigo. La última etapa del

desarrollo de la agricultura moderna en Tamaulipas se inicia con el establecimiento de los sistemas de riego y la construcción de embalses como la presa Marte R. Gómez en 1946, la Falcón en 1953 y la Vicente Guerrero en 1971, lo que permitió establecer sistemas de producción agrícola con altas posibilidades de competitividad y desarrollo. Los sistemas de riego del norte del estado sustentaron su actividad en el Tratado Sobre Distribución de Aguas Internacionales entre los Estados Unidos Mexicanos y Los Estados Unidos de América, en 1944. A partir del establecimiento de los sistemas de riego, el cultivo de maíz para grano, mayormente, se realiza con fines comerciales, principalmente en ocho distritos y pequeñas unidades de riego, entre los que sobresale el Bajo Río Bravo, le siguen en importancia el Bajo Río San Juan (Rymshaw, 1998).

Sistemas de producción de maíz

En Tamaulipas el maíz se establece en muy diversas condiciones agroecológicas, en dos ciclos de cultivo al año, bajo numerosas formas y procedimientos, con distintos grados de tecnificación y utilización de amplia variedad de genotipos (Espinosa et al., 2009). La región agrícola norte del estado tiene suelos profundos arcillo-arenosos, donde solo se utilizan híbridos para producción de grano con fines exclusivos de comercialización, en condiciones de riego, alto manejo de insumos agrícolas y maquinaria; el clima es semiseco y semicálido con probabilidades de temperatura bajo cero en diciembre y enero, y precipitación media anual de 650 mm; mientras en el centro y sur del estado la utilización de híbridos y variedades mejoradas es de uso común; sin embargo, se utiliza germoplasma nativo en numerosos sistemas de producción (Valadez Gutiérrez et al., 2008); tanto en riego como en temporal, la utilización de insumos agrícolas y maquinaria solo se observa en los sistemas de producción con fines de comercialización, estas regiones presentan climas muy variados desde los cálidos-húmedos hasta templados-secos y precipitación media anual desde 500 hasta 1,000 mm.

Superficie sembrada de maíz en Tamaulipas (1980-2011)

En las últimas décadas, en el estado de Tamaulipas los agricultores, técnicos e investigadores de diversas instituciones han realizado esfuerzos individuales y en conjunto para establecer condiciones favorables de manejo de los sistemas de producción de maíz, que permitan alcanzar niveles cercanos a los más altos

del país; mismos que han alcanzado significativos resultados (Reyes Castañeda, 2000). Lo anterior se puede analizar adecuadamente si se toma en cuenta que en el estado de Tamaulipas hay registros de la superficie sembrada de maíz en las zonas de riego desde 1980, con aproximadamente 400,000 ha, la cual se incrementó en los siguientes años hasta superar el millón de hectáreas en 1986, y se mantuvo con promedios similares hasta finales de esa década; en la primera mitad de la década de los 90 se presentó una significativa disminución de la superficie establecida con maíz hasta llegar a poco menos de 60 mil ha en 1996; lo anterior debido a la prohibición de la siembra de maíz en algunas regiones del estado, por la contaminación con aflatoxinas del grano producido en el ciclo 1989-1990 (Martínez-Flores y García-Aguirre, 2003) (Figura 1). Posteriormente, hubo restricción en el uso de agua para riego de este cultivo en el norte del estado, debido al desabasto de las presas Falcón y Marte R. Gómez, por lo que se sustituyó el maíz por sorgo o pastos. En 2004, con el control del problema de las aflatoxinas y el abasto de las presas a niveles aceptables, la superficie establecida con maíz de riego en el estado se elevó hasta alcanzar promedios anuales superiores a 150,000 ha, y se mantuvo así hasta 2011 (Figura 1).

La zona establecida con maíz bajo temporal en Tamaulipas ha fluctuado en las últimas tres décadas dentro del intervalo de 58,000 a 160,000 ha; por otra parte, si se analiza el territorio sembrado a partir de 1997 bajo ambas condiciones, de temporal y riego, ésta última no ha tenido variaciones importantes; sólo se observa que de 1997 a 2004 la superficie establecida bajo temporal fue superior a la de riego, situación que se modificó en 2005 cuando existió disponibilidad de agua para riego, principalmente en el norte del estado (Figura 1).

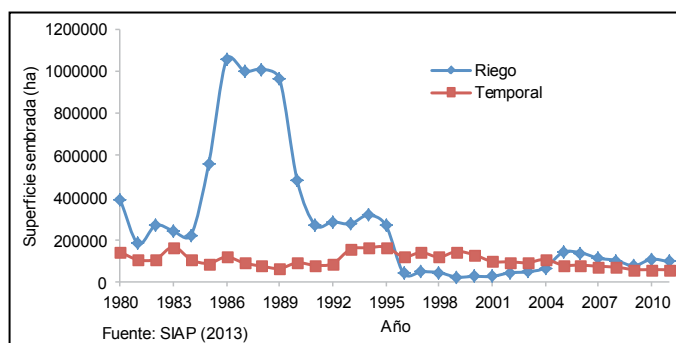


Figura 1. Superficie sembrada con maíz en Tamaulipas bajo condiciones de riego y temporal en el periodo de 1980 y 2011.

Rendimiento de grano de maíz en Tamaulipas en el periodo 1980-2011

De manera general, el rendimiento de grano de maíz en Tamaulipas ha aumentado 89% en los últimos 30 años, desde 2.08 t ha⁻¹ en 1980 hasta 3.93 t ha⁻¹ en 2011. Este aumento ha sido más significativo bajo condiciones de riego, con los promedios más altos en el ciclo otoño-invierno (O-I) en la mayoría de los años y ha aumentado desde 2.5 hasta 5.5 t ha⁻¹; mientras que en el ciclo de primavera-verano (PV) el rendimiento aumentó de 2.5 a 3.5 t ha⁻¹. Bajo condiciones de temporal se mantuvo constante en los últimos 30 años en el ciclo PV y en el ciclo de OI se presentaron fluctuaciones relevantes que fueron desde 0.9 hasta 5.8 t ha⁻¹; sin embargo, el mayor bajo condiciones de temporal en el ciclo OI se debió a un mayor nivel de precipitación pluvial incidente (Figura 2).

Rendimiento de maíz en los distritos agrícolas de mayor potencial bajo riego

La producción agrícola de Tamaulipas se divide en nueve distritos agrícolas, los de mayor importancia para la producción de grano de maíz son los de Díaz Ordaz y Control, en el norte del estado, y el de Abasolo, en el centro (Figura 3).

En los distritos de Díaz Ordaz y Control se establece una superficie aproximada a 55,000 ha, con rendimientos de grano hasta de 6.5 t ha⁻¹; en el distrito de Abasolo se llegan a sembrar hasta 28,000 ha con un rendimiento aproximado de 5 t ha⁻¹, estos rendimientos son los más altos del estado, debido principalmente a que en los sistemas de producción de maíz de estos distritos se da un mayor uso a las tecnologías como

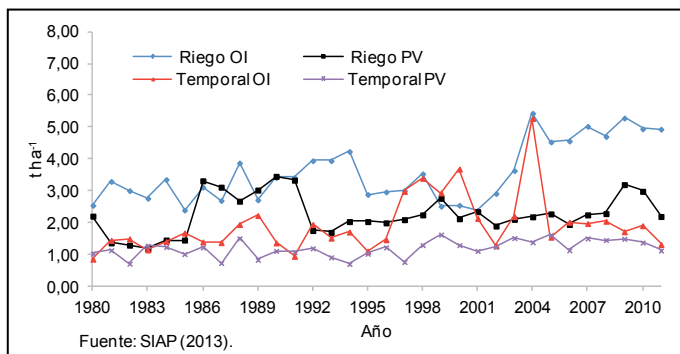


Figura 2. Rendimiento de grano de maíz en Tamaulipas bajo riego y temporal en los ciclos PV y OI durante el periodo de 1980-2011.

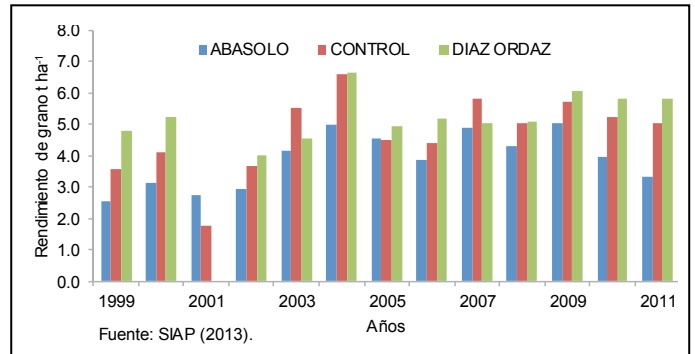


Figura 3. Distritos agrícolas con mayor rendimiento de maíz bajo condiciones de riego.

riego, utilización de cultivares mejorados, fertilización y maquinaria agrícola (Figura 3).

Distritos con mayor rendimiento de maíz de temporal en Tamaulipas

Para condiciones de temporal también se observan los mayores promedios de rendimiento de grano de maíz en el estado, en los distritos Díaz Ordaz, Control y Abasolo en el ciclo PV se alcanzan rendimientos hasta de 3.5 t ha⁻¹ (Figura 4).

En el ciclo OI se han obtenido rendimientos promedio de grano de maíz hasta de 7 t ha⁻¹ (Figura 5). Bajo estas características existe una alta fluctuación para el rendimiento de grano, ya que depende altamente de las características climáticas existentes, y en Tamaulipas la precipitación y temperatura presentan altos niveles de variabilidad entre años y dentro del mismo año (Pecina Martínez et al., 2011; Castro Nava et al., 2013).

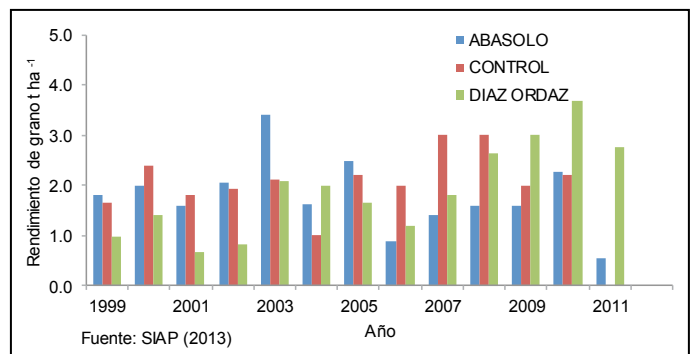


Figura 4. Rendimiento de grano de maíz bajo temporal de los distritos de la región norte en el ciclo primavera verano.

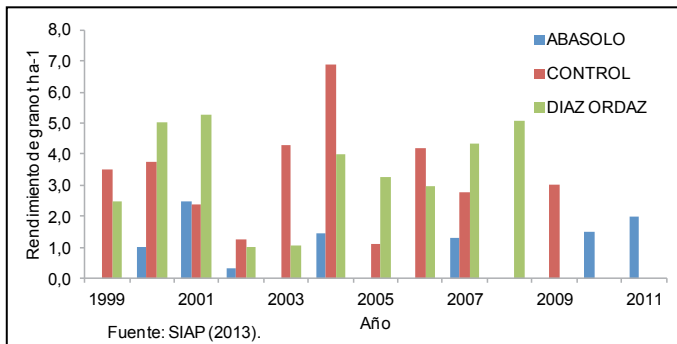


Figura 5. Rendimiento de grano de maíz en temporal de los distritos de la región norte en el ciclo otoño-invierno.

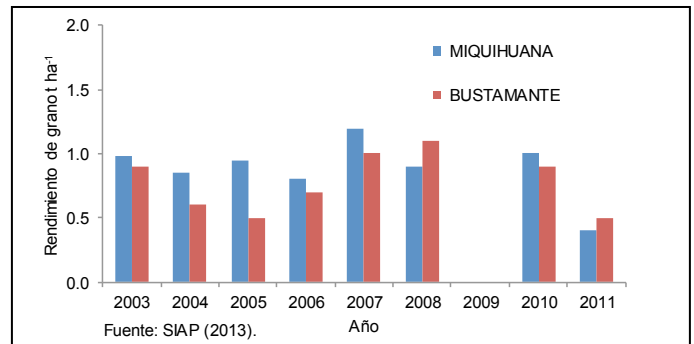


Figura 6. Rendimiento de grano de maíz en Miquihuana y Bustamante, Tamaulipas.

Municipios de bajo potencial productivo

De manera contraria, los municipios de Miquihuana y Bustamante, localizados en el distrito agrícola de Jaumave en el suroeste del estado, considerados de bajo potencial de producción agrícola, ya que los sistemas de producción se establecen bajo condiciones de temporal y condiciones de temperatura ambiental extremas entre 0 °C en invierno y más de 41 °C en verano y bajos niveles de precipitación pluvial (470 mm) (CONAGUA, 2013), con posibilidades de siniestro cercanos al 100% y rendimientos de grano de maíz entre 0.5 a 1 t ha⁻¹ (Figura 6).

Introducción de maíz transgénico en el estado de Tamaulipas

En Tamaulipas se implementó en 2011 —con permiso de la SAGARPA—, un proyecto para desarrollar la siembra de maíz transgénico, con la finalidad de realizar pruebas en un programa piloto y de experimentación, con la idea de cultivar estos maíces de manera comercial posteriormente. De acuerdo con algunas instancias, la siembra de maíz transgénico es conveniente para el sector agrícola debido a que se elevan los niveles de producción de grano, aseveración realizada sin sustento científico real; por lo mismo, la presencia de maíz transgénico ha suscitado diversas opiniones y controversias. Destaca la falta de divulgación de información sobre las consecuencias que podría tener en términos económicos, sociales, culturales, de salud pública y ecológicos.

Otro de los aspectos de mayor preocupación, es si los maíces transgénicos disponibles, responden a las necesidades de los productores, ya que se considera que la necesidad del aumento de rendimiento de grano, se puede lograr fácilmente

con la utilización combinada de cultivares mejorados convencionalmente y un adecuado manejo agronómico. Además, en la mayoría de las regiones agrícolas de nuestro país se practica el intercambio de semilla entre productores, por lo cual con la introducción de maíz transgénico, existe el riesgo inminente de pérdida de la diversidad y contaminación genética accidental del maíz nativo, esto último pudiera derivar en problemas legales para los productores mexicanos, por lo que este punto debe considerarse de manera especial.

Conservación de maíces nativos

Tamaulipas cuenta con una menor diversidad de maíces nativos en comparación con otros estados del país y su distribución se limita principalmente a las zonas de temporal en las regiones Sierra Madre Oriental y llanura costera del Golfo Norte. Los municipios donde se continúa cultivando maíces nativos con mayor frecuencia son Llera, Hidalgo, Nuevo Morelos y Tula, en donde se ha registrado el mayor número de colectas de las razas Tuxpeño, Tuxpeño Norteño, Ratón, Olotillo y Cónico Norteño, principalmente (Valadez Gutiérrez et al., 2008). No obstante, el germoplasma nativo conservado por los agricultores ha sido reconocido por su alto potencial de rendimiento, capacidad de adaptación a condiciones agroclimáticas adversas, gran diversidad genética y características agronómicas sobresalientes, en especial precocidad (Garza-Castillo, 2010), además de presentar estabilidad en diferentes ambientes. A pesar de lo anterior, este germoplasma se ha aprovechado limitadamente; por esto, a partir de 2001 en la Unidad Académica Multidisciplinaria Agronomía y Ciencias, hoy Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas se inició un programa de manejo,

conservación y mejoramiento de maíz nativo (Pecina et al., 2011); además en 2007 la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad inició un programa de colecta y conservación de germoplasma nativo de maíz en Tamaulipas (Garza-Castillo, 2010).

CONCLUSIONES

Aunque no de manera constante, el rendimiento de grano de maíz por unidad de área, bajo condiciones de riego y temporal en Tamaulipas ha aumentado, sobre todo en los sistemas de producción del norte del estado, no así para la región centro; por lo que existe la necesidad de generar condiciones que permitan el aumento del rendimiento de grano en todo el estado. De esta manera, atendiendo principalmente la problemática de restricción de agua para riego, se considera que la generación de germoplasma mejorado específico para cada condición y región es una opción viable, acompañada de la disponibilidad en el mercado y prácticas adecuadas de manejo agronómico. Deben existir también las condiciones apropiadas para la comercialización del grano, sobre todo en los sistemas de producción de alto nivel, lo que mejoraría su rentabilidad. Además, se deben explorar nuevas opciones de comercialización como maíz orgánico, conservas, elote, grano de alto contenido proteico, entre otras.

Por otra parte, existe el interés de compañías transnacionales y productores de alto nivel de introducir a los sistemas de producción del norte del estado híbridos de maíz genéticamente modificados, bajo la premisa de la no existencia de germoplasma nativo en esta región; sin embargo, no se han considerado las características morfológicas y de desarrollo del maíz que permiten su fácil entrecruzamiento y diseminación, lo que provoca el riesgo de contaminación del germoplasma nativo resguardado en el centro-sur del estado y su uso no presenta ventajas reales, ya que sólo se ha modificado un gen simple que no involucra el rendimiento de grano. La controversial introducción y utilización de maíces genéticamente modificados



Figura 7. Diversidad de sistemas de producción de maíz y germoplasma en diferentes regiones agrícolas de Tamaulipas. Fotografías de Zoila Reséndiz Ramírez y José Alberto López Santillán.

deberá ser restringida hasta existir un alto nivel de pertinencia científicamente respaldada.

Por último, es necesario resaltar que existen regiones en el centro y principalmente en el sur de Tamaulipas que presentan bajo potencial de producción de grano de maíz, lo cual ha generado la idea de la inconveniencia de la siembra de este cultivo en dichas regiones. Ejemplos palpables son los municipios de Bustamante y Miquihuana, en donde el nivel de siniestralidad de este cultivo en algunos años ha alcanzado el 100%. Sin embargo, se ha demostrado que el germoplasma de maíz nativo desarrollado y conservado en estas localidades tiene un alto potencial de rendimiento bajo condiciones menos restrictivas, lo que muestra que el ambiente de estas localidades ha permitido el desarrollo de un recurso fitogenético de alto valor que no se ha utilizado en los programas de mejoramiento genético y que se debe rescatar para uso posterior, a la par de establecer y mejorar las condiciones que permitan que estos sistemas agrícolas sean productivos. Es necesario el trabajo multidisciplinario y participativo de los sectores involucrados en la resolución de esta problemática.

LITERATURA CITADA

- ANDRADE LIMAS, E. et al. *La región agrícola del norte de Tamaulipas (México): Recursos naturales, agricultura y procesos de erosión*. México: EDITUM. 631 pp., 2010.
- ÁNGELES ARRIETA, H. H. Mejoramiento genético del maíz en México: el INIA, sus antecesores y un vistazo a su sucesor, el INIFAP. *Agricultura Técnica en México*. 26: 31-48, 2000.
- BENÍTEZ DE NORIEGA, A. *Historia de la hacienda del Carmen de Benítez*. México: Miguel Angel Porrúa. 77 pp., 1989.
- CASTRO NAVA, S. et al. Exploración de germoplasma nativo de maíz en el centro y sur de Tamaulipas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(4): 645-653, 2013.
- ESPINOSA, A. et al. El potencial de las variedades nativas y mejoradas de maíz. *Ciencias*, 92-93: 118-125, 2009.
- GARZA-CASTILLO, M. R. La conservación de recursos genéticos del maíz nativo en Tamaulipas. *Revista Ciencia UAT*, 22-27, 2010.
- MANGELSDORF, P. C. *Corn. Its origin, evolution and improvement*. USA, Belknap Press of Harvard University Press. 262 pp., 1974.
- MARTÍNEZ-FLORES, R. y GARCÍA-AGUIRRE, G. Inspección de aflatoxinas en maíz cultivado, almacenado y transportado en el estado de Tamaulipas, México, en 1998. En: *Anales Instituto de Biología*, 74: 313-321. [Botánica]UNAM, 2003.
- ORTIZ GARCÍA, S. y OTERO ARNAIZ, A. México como el centro de origen del maíz y elementos sobre la distribución de parientes silvestres y variedades o razas de maíz en el norte de México. *Revista de Geografía Agrícola*, 38: 141-152, 2007.
- PECINA MARTÍNEZ, J. A. et al. Respuesta morfológica y fenológica de maíces nativos de Tamaulipas a ambientes contrastantes de México. *Agrociencia*, 43: 681-694, 2009.
- PECINA MARTÍNEZ, J. A. et al. Rendimiento de grano y sus componentes en maíces nativos de Tamaulipas evaluados en ambientes contrastantes. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 34: 85-92, 2011.
- REYES CASTAÑEDA, P. 50 Años de investigación agrícola de maíz para tierra caliente en México. *Agricultura Técnica en México*, 26: 49-62, 2000.
- REYES-MÉNDEZ, C. A. y CANTÚ-ALMAGUER, M. A. *Campo Experimental Río Bravo: 50 Años de Investigación Agropecuaria en el Norte de Tamaulipas*. Historia, Logros y Retos. México: INIFAP, 325 pp., 2006.
- RYMSHAW, E. *Análisis del desempeño de la irrigación en los distritos de riego bajo Río Bravo y bajo Río San Juan, Tamaulipas*, 44 pp., [Latinoamericana] No 1. México: International Water Management Institute, 1998.
- SMITH, B. D. Reconsidering the Ocampo Caves and the Era of Incipient Cultivation in Mesoamerica. *Latin American Antiquity*, 8: 342-383, 1997.
- VALADEZ GUTIÉRREZ, J. et al. *Diversidad y distribución actual de los maíces nativos en Tamaulipas*. Informe final del proyecto FZ002 de la CONABIO, componente 1. Campo Experimental Las Huastecas, CIRNE-INIFAP. México. 81pp., 2008.

De páginas electrónicas

- CONAGUA (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA). Temperatura promedio en los municipios de Bustamante y Miquihuana. De: <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/normales/estacion/tamps/NORMAL28010> <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/normales/estacion/tamps/>
- NORMAL28063.TXT, 17 jun. 2013.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2013. Cultivos de Interés: Maíz grano. De: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=202&Itemid=86, 4 jun. 2013.

Programa de manejo, conservación y mejoramiento de maíz nativo de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas

Management, conservation, and improvement of the native maize program at the Engineering and Science Faculty in the State University of Tamaulipas

Javier González Martínez¹, José Alberto López Santillán^{1*}, Florencio Briones Encinia¹, Sóstenes Edmundo Varela Fuentes¹, César Augusto Reyes Méndez², José Agapito Pecina Martínez³

González Martínez, J., López Santillán, J. A., Briones Encinia, F., Varela Fuentes, S. E., Reyes Méndez, C. A., Pecina Martínez, J. A., Programa de manejo, conservación y mejoramiento de maíz nativo de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 62: 76-83, mayo-agosto 2014.

RESUMEN

Tamaulipas se ubica dentro de la región de origen, domesticación y diversificación del maíz, posee una diversidad importante; sin embargo, en los últimos años ha aumentado el riesgo de erosión genética de este recurso fitogenético. Lo anterior propició que en el 2001, investigadores de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas iniciarán un programa de manejo, conservación y mejoramiento de germoplasma de maíz en colaboración con investigadores del Colegio de Postgraduados y del CIRNE-INIFAP, dentro de diversos proyectos de investigación. Entre los logros más relevantes se encuentran: la conservación de 215 muestras de maíz nativo, dentro de este germoplasma se observó una amplia variabilidad fenológica en un rango desde 50 hasta 90 días a floración, 100 a 150 días a madurez fisiológica, germoplasma con adaptación a restricción de humedad y temperatura alta, alto potencial de rendimiento grano y forraje.

Palabras clave: maíz nativo, recurso fitogenético, Tamaulipas, conservación, aprovechamiento, fitomejoramiento.

Keywords: maize native, plant genetic resource, Tamaulipas, conservation, use plant breeding.

Recibido: 5 de julio de 2013, aceptado: 12 de mayo de 2014

¹ Secretaría de Posgrado e Investigación, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad Autónoma de Tamaulipas.

² Programa de maíz, INIFAP-CIRNE-campo experimental Río Bravo.

³ Departamento de Genética, Colegio de Postgraduados.

* Autor para correspondencia: jalopez@uat.edu.mx

ABSTRACT

The state of Tamaulipas is located inside the origin maize region with domestication and diversification properties. This genetic plant resource is in risk because genetic erosion has been increasing during the last years. In 2001, research scientists from the Engineering and Science Faculty of the State University of Tamaulipas started a management, conservation, and improvement germplasm maize program. This program is a collaborative work between scientists from the School of Postgraduates and CIRNE-INIFAP where different research projects have developed. Most relevant results are: preservation of 215 native maize samples, germplasm with extended phenological variability covering a range from 50 to 90 days of flowering time, from 100 to 150 days of physiological maturity stage, with drought and high temperature adaptation, and high yield of grain and forage.

INTRODUCCIÓN

El maíz ha sido y seguirá siendo el cultivo más importante de México debido a que ha estado presente prácticamente en toda su historia y desarrollo (Piperno et al., 2009). La presencia y antigüedad de restos arqueobotánicos de maíz descubiertos en Oaxaca, Puebla y otras regiones (Smith, 1997; Smith, 2001; Ranere et al., 2009), la existencia de parientes silvestres como teocintle (Miranda, 1977; Bird, 1978) y *Tripsacum* (Smith, 1997), y la gran diversidad de maíces nativos o criollos representada actualmente por 59 razas (Sánchez et al., 2000) ha permitido que México sea considerado centro de origen, domesticación y diversificación de este cultivo.

A pesar de la diversidad de este recurso fitogenético, un número reducido de razas son utilizadas en los programas de fitomejoramiento establecidos en México. La mayor parte de esta diversidad es utilizada a nivel local, lo cual representa un riesgo de degradación y pérdida, principalmente por el abandono de la actividad agrícola, sustitución del cultivo o germoplasma, fenómenos naturales como sequía, inundaciones, huracanes, entre otros. Lo anterior ha dado lugar a investigaciones destinadas a describir y comprender los factores que influyen en la diversidad de las poblaciones de maíz de los agricultores mexicanos (Aguirre Gómez et al., 2000; Massieu Trigo y Lechuga Montenegro, 2002; Nájera Calvo et al., 2010). Igualmente, ha sido motivo para promover la recolección y estudio de los maíces nativos, con la finalidad de su conservación y eventual aprovechamiento (CONABIO, 2011).

Mejoramiento genético del maíz en Tamaulipas

El mejoramiento genético del maíz es una de las alternativas más viables para el incremento de la producción en México (Ángeles Arrieta, 2000). El mejoramiento genético formal de este cultivo inicia en el año de 1937, y es a partir de 1943 cuando se inicia el apoyo institucional para esta actividad (Aboites Manrique, 2002) en la Estación Experimental Agrícola Central y en la Escuela Nacional de Agricultura y Medicina Veterinaria, ambas instancias dependientes de la Secretaría de Agricultura y Fomento (SAF).

En Tamaulipas, durante la década de los veinte del siglo pasado se hicieron los primeros trabajos de mejoramiento genético en la Hacienda del Carmen de Benítez, ubicada en el municipio de Güémez (Benítez de Noriega, 1989). Tales actividades consistieron en la conducción de procesos de selección de semilla, que dieron origen a una variedad de polinización libre denominada Mesquitaleño, de la cual posteriormente se generaron variedades e híbridos (Garza-Castillo, 2010). Estos trabajos eran coordinados por el Instituto de Investigaciones Agrícolas a través del Centro de Investigaciones Agrícolas del Noroeste (CIANO) en Obregón, Sonora. En ese tiempo se inició con la introducción y evaluación de líneas, variedades e híbridos sobresalientes de los programas de mejoramiento genético, de los campos experimentales, Valle de Yaqui (hoy campo experimental Dr. Norman E. Borlaug) en Sonora y Cotaxtla en Veracruz (Reyes Méndez y Cantú Almaguer, 2006). De estos trabajos

se generaron los híbridos H-501, H-502 y H-503 en San Rafael, Veracruz y se formó la primera variedad sintética: Barretal Sint. "B" (Reyes Méndez y Cantú Almaguer, 2006).

A finales de la década de los treinta y principios de la década de los cuarenta se estableció el campo experimental de Llera, Tamaulipas, en donde —con base en germoplasma nativo— se desarrollaron y distribuyeron materiales genéticos de excelente calidad, adaptación y rendimiento de grano, denominados en ese entonces variedades Llera I, II y III, entre otras, obtenidas por el grupo de trabajo del M. C. Edmundo Taboada y el Ing. Pedro Reyes Castañeda (Aboites Manrique, 2002).

El campo experimental Río Bravo, dependiente del INIFAP, se fundó en 1956 con la misión de dar solución a la problemática agropecuaria del norte de Tamaulipas. En 1961 éste inició una etapa nueva del mejoramiento genético del maíz en el estado, con el objetivo principal de formar híbridos de maíz precoces con alto rendimiento de grano, uniformes y de porte bajo. Los trabajos de mejoramiento incluyeron observación y ensayos de rendimiento de híbridos y variedades mejoradas de maíces introducidos de Estados Unidos y otros centros de investigación del país, estudios sobre fechas de siembra y evaluación de materiales resistentes a la sequía. Durante ésta época se liberaron las variedades de polinización libre Llera, San Juan (V-401) y Breve de Padilla (V-402), originadas de germoplasma nativo del centro y sur de Tamaulipas; y se identificaron como sobresalientes los híbridos H-412 y Texas 17 W. Posteriormente, de 1966 a 1973, se continuó con la formación de híbridos precoces y selección masal en las variedades Santa Engracia, Breve de Padilla, San Juan y Lagunero. Por otra parte, se derivan líneas autofecundadas de diferentes variedades y colecciones nacionales e internacionales y se forman cruces simples, dobles y mestizos. Durante este periodo, el trabajo de investigación sobre mejoramiento genético estuvo a cargo de Javier Medina Aguirre, Joaquín Ortiz Cereceres, Martín Borjas Casanova, Efraín Lara Cervantes y Roberto Valdivia Bernal (Reyes Méndez y Cantú Almaguer, 2006). A partir de 1974, el mejoramiento genético del maíz desarrollado por el INIFAP en Tamaulipas contó con mayores recursos económicos y humanos, lo que contribuyó a la liberación de los híbridos dobles H-417 y H-418 en 1976. En 1982 se liberaron los híbridos H-421 y H-422; en 1984 y en 1992 las variedades sintéticas

VS-409 y VS-440, respectivamente; estas últimas con características apropiadas para condiciones de temporal y ciclo primavera-verano (Reyes Méndez y Cantú Almaguer, 2006).

La VS-409 fue formada a partir de maíces nativos sobresalientes de Tamaulipas, Nuevo León y líneas mejoradas. Después de este trabajo no se hicieron evaluaciones y mucho menos trabajo de mejoramiento genético de maíces nativos, hasta el año 2000 (Reyes Méndez y Cantú Almaguer, 2006). En 1988 se liberó el híbrido trilineal H-433 y para responder a la escasez de agua para riego, en 2003 se liberaron los híbridos trilineales H-437 y H-439 (Reyes Méndez y Cantú Almaguer, 2004; Reyes Méndez y Cantú Almaguer, 2005) y el H-440 (Reyes Méndez et al., 2007); en 2008 el híbrido H-443A, como respuesta a la demanda de semilla de maíz amarillo (Reyes Méndez y Cantú Almaguer, 2009).

El maíz en la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas

En 1969, dentro de la Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), se fundó la Facultad de Agronomía, que actualmente es la Facultad de Ingeniería y Ciencias. Desde sus inicios se han hecho múltiples trabajos de investigación en maíz; tesis de licenciatura y posgrado y trabajos de investigación desarrollados por los profesores-investigadores. En ello se han utilizado materiales genéticos diversos: nativos, variedades de polinización libre, cruces experimentales e híbridos. Las primeras tesis fueron desarrolladas en 1972 por los alumnos de la primera generación de la carrera de Ingeniero Agrónomo Fitotecnista. A partir de 1973 el personal académico y los alumnos tesistas iniciaron trabajos basados en cultivares nativos: desde comparaciones agronómicas basadas en rendimiento de grano, evaluación del efecto de diferentes niveles de fertilización, aplicación de agroquímicos hasta trabajos de fitomejoramiento—como formación de cruces, avance genético de programas de selección y análisis genéticos—, sin dar énfasis a la conservación de germoplasma nativo de maíz.

En 1977, el Ingeniero y M. C. Eleno Muñoz Mares implementó el primer programa de mejoramiento genético de maíz en la entonces Facultad de Agronomía mediante el proyecto "Variedades precoces de maíz". Éste comenzó con la colecta de germoplasma nativo en los estados de Oaxaca, Nayarit, Sinaloa, Nuevo León, Coahuila y Tamaulipas; prosiguió con la comparación de las colectas con



Figura 1. Centro de Gestión del Conocimiento de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, Cd. Victoria, Tamaulipas. Fotografía propiedad de José Alberto López Santillán.

base en rendimiento de grano y, finalmente, la derivación de líneas endogámicas entre 1978 y 1980, con las cuales se formaron los materiales experimentales Agrovic, y los híbridos LDX02 y UAT 9245 (Reyes, 1985).

En la década de los ochenta se hizo poco o nulo trabajo de caracterización y fitomejoramiento de maíz nativo, a inicios de la década de los noventa se reinició el mejoramiento genético encaminado a incrementar la resistencia y tolerancia al daño por gusano cogollero y algunas enfermedades, así como algunas investigaciones relacionadas con la interacción con factores climatológicos (Tabla 1).

Tabla 1. Tesis de nivel posgrado relacionadas con el maíz en la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la UAT. Periodo 1990-2000

Título	Año
Análisis de la interacción de genotipos élite de maíz (<i>Zea mays</i> L.) con <i>Aspergillus flavus</i> Link.	1995
Diferenciación de líneas de maíz resistentes y susceptibles a lepidópteros por análisis genético molecular	1999
Pronóstico del riesgo agrometeorológico para el norte de Tamaulipas	1999
Comparación de dos criterios en la formación de poblaciones base para seleccionar resistencia a gusano cogollero y rendimiento de grano de maíz	2000

Conservación *ex situ* y manejo de germoplasma de maíz nativo en la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la UAT

A pesar de que se ha demostrado el potencial que tienen las poblaciones nativas de Tamaulipas como le menciona Pecina et al. (2011) y Castro Nava et al. (2013), en las dos últimas décadas del siglo pasado se dejó de aprovechar este tipo de germoplasma. En consecuencia, hubo falta de continuidad en el escaso trabajo de investigación y mejoramiento genético (Reyes Méndez y Cantú Almaguer, 2006). Por ello, es importante establecer estrategias viables tendientes a retomar el estudio de maíces nativos, en las vertientes de conservación y aprovechamiento y continuar la exploración y colecta de la variabilidad genética existente en el estado, para una mejor comprensión y proyección de esta riqueza.

Tomando en cuenta que Tamaulipas se ubica dentro de la región de origen, domesticación y diversificación del maíz (Smith, 1997), que existe germoplasma de gran valor para uso en programas de fitomejoramiento (Pecina et al., 2011), que en los últimos decenios se ha registrado una importante erosión de esta diversidad genética, y la no existencia de información sobre los riesgos de degradación y pérdida (Garza-Castillo, 2010), propició

que a partir de 2001 investigadores de la entonces Unidad Académica Multidisciplinaria Agronomía y Ciencias, hoy Facultad de Ingeniería y Ciencias de la UAT, iniciaran un programa denominado "Manejo, conservación y mejoramiento de germoplasma de maíz nativo de Tamaulipas". Éste se formalizó en 2004 a través de la integración del Cuerpo Académico PROMEP UATAM-CA-23 y tuvo como primer objetivo coleccionar, evaluar, conservar y utilizar en programas de fitomejoramiento poblaciones nativas que poseen los campesinos del estado; en especial de la región centro-sur, ya que en ella se encuentra la mayor diversidad de este recurso (Castro et al., 2013). Así, entre los años 2001 y 2006 se coleccionaron aproximadamente 215 poblaciones nativas en 17 municipios (Tabla 2).

De modo posterior al período de colecta, de manera esporádica, se han incorporado otras muestras a la colección; ésta se resguarda en un espacio de 18 m³ con temperatura controlada dentro de un rango de temperatura de 18 °C a 20 °C; lo cual obliga a la renovación de muestras en períodos de 3 a 5 años y no permite el resguardo de una cantidad grande de germoplasma. Colectas con adaptación a Valles Altos se han integrado al programa de mejoramiento genético de maíz del grupo de Fisiotecnia Vegetal del Colegio de

Tabla 2. Características climáticas y geográficas de los 17 municipios de Tamaulipas, México en los que se coleccionaron poblaciones nativas de maíz

Municipio	Latitud Norte/Longitud Oeste	Altitud (msnm)	Precipitación (mm)	Temperatura Media anual		Número de colectas
				Máx.	Mín.	
Burgos	24° 56' 54"/98° 47' 49"	200	721	43	0	6
Cruillas	24° 44' 15"/98° 32' 05"	265	801	42	-1	14
Güémez	23° 55' 07"/99° 00' 16"	202	748	44	0	1
Hidalgo	24° 15' 09"/99° 26' 04"	320	930	41	2	9
Llera	23° 15' 18"/98° 50' 00"	210	675	41	7	4
Padilla	24° 03' 00"/99° 33' 00"	153	697	43	1	12
San Carlos	24° 34' 52"/98° 56' 49"	400	786	45	6	16
San Nicolás	24° 41' 22"/98° 49' 47"	615	712	45	6	15
Victoria	23° 43' 00"/99° 10' 00"	350	883	40	2	15
Villagrán	24° 28' 14"/99° 29' 19"	390	883	41	1	53
Bustamante	23° 26' 09"/99° 45' 15"	1600	470	36	0	11
Jaumave	23° 24' 27"/99° 22' 31"	750	700	44	2	1
Miquihuna	23° 34' 26"/99° 45' 11"	1770	402	41	4	22
Palmillas	23° 18' 00"/99° 33' 00"	1550	592	42	4	1
Tula	23° 00' 04"/99° 42' 45"	1140	433	43	2	25
Gómez Farías	23° 01' 43"/99° 08' 45"	380	1845	40	4	6
Ocampo	22° 50' 40"/99° 19' 54"	320	1379	43	0	4

Fuente: Castro et al. (2013).

Postgraduados, con la finalidad de favorecer el uso y conservación de este germoplasma. Los sitios de colecta fueron seleccionados con base en sus antecedentes históricos y de producción de maíz (Castro et al., 2013).

Después de la colecta se desarrolló una caracterización y evaluación del germoplasma en diversos ambientes y localidades. En estos estudios resaltó una amplia variabilidad fenológica en las colectas evaluadas dentro de un rango desde 50 hasta 90 días a floración, desde 100 hasta 150 días a madurez fisiológica, igualmente se identificó alta adaptación a condiciones de restricción de humedad y temperatura alta en germoplasma originario principalmente del suroeste y centroeste del estado (Pecina et al., 2011). También germoplasma de grano pigmentado, alto potencial de rendimiento y forraje en el altiplano tamaulipeco, pero muy susceptible a condiciones de temperatura alta. Con el germoplasma colectado y a través de siete proyectos de investigación (Tabla 3) se han desarrollado tesis a nivel licenciatura y posgrado (Tabla 4), y se han publicado diversos artículos científicos en revistas nacionales e internacionales (Tabla 5). Para ello se ha trabajado en colaboración con instituciones como el Colegio de Postgraduados (a través del Programa de Genética) y el Campo Experimental Río Bravo del INIFAP (por medio del Programa de Maíz).

En la actualidad, dentro del programa mencionado se están desarrollando trabajos



Figura 2. Maíz nativo del centro y sur de Tamaulipas. Fotografía propiedad de José Alberto López Santillán.

enfocados a la identificación de patrones heteróticos de poblaciones nativas sobresalientes; además de continuar con trabajos de caracterización y selección de germoplasma precoz, de mayor potencial de rendimiento, tolerante al acame, enfermedades, temperaturas altas y restricción de humedad. Igualmente, se pretende iniciar trabajos relacionados con el manejo de plagas, usos especiales, cualidades nutraceuticas de los maíces pigmentados, todo ello con la finalidad de contribuir a su conservación y uso adecuado.

Tabla 3. Proyectos de investigación elaborados dentro del programa "Manejo, conservación y mejoramiento de germoplasma de maíz de Tamaulipas"

Proyecto	Vigencia
Componentes del crecimiento de grano y etapas del desarrollo del maíz en cultivares nativos y exóticos en el noreste de México (CONACyT I35634-B)	octubre 2000-mayo 2002
Interacción de altas temperaturas y estrés hídrico sobre aspectos agronómicos y fisiológicos en germoplasma de maíz en el NE de México (CONACYT SEP-2003-CO2-44713)	junio 2003 – mayo 2006
Conservación y mejoramiento de germoplasma criollo de maíz <i>in situ</i> y <i>ex situ</i> en el noreste de México (CONACyT J41116-Z)	abril 2003 - abril 2006
Colección y conservación de los recursos fitogenéticos en el noreste de México (PROMEP)	2005 - 2007
Fortalecimiento de las actividades sustantivas del Cuerpo Académico y contribución al conocimiento de los recursos fitogenéticos (PROMEP)	enero 2007- diciembre 2008
Usos y mejoramiento participativo de germoplasma de maíz criollo de Tamaulipas (CONACyT 52366)	abril 2007-abril 2008
Heterosis y aptitud combinatoria de germoplasma de maíz de diferentes regiones ecológicas de Tamaulipas (UAT10-AGRO-0729)	2011-2012

Un reto de este programa será el establecimiento de estrategias que permitan poner a disposición para agricultores tamaulipecos el germoplasma

generado, además de establecer convenios con bancos de germoplasma a nivel nacional para el resguardo del germoplasma colectado.

Tabla 4. Tesis desarrolladas en los 12 años de funcionamiento del programa "Manejo, conservación y mejoramiento de germoplasma de maíz nativo de Tamaulipas"

Año	Título	Alumno	Grado	Inst.
2004	Componentes del rendimiento y del crecimiento de grano en cruizas experimentales de maíz bajo temporal	J. Maldonado D.	Licenciatura	UAT
2004	Producción de grano y componentes del rendimiento de genotipos de maíz para condiciones restrictivas de humedad	H. E. Herrera S.	Licenciatura	UAT
2005	Dinámica de crecimiento y pérdida de humedad del grano de maíz en germoplasma criollo de mazorca grande	J. A. Pecina M.	Licenciatura	UAT
2007	Respuesta de genotipos experimentales de maíz a condiciones de temporal	F. Sagástegui V.	Licenciatura	UAT
2007	Crecimiento y contenido de humedad en el grano de cultivares criollos de maíz de Tamaulipas	J. O. Robles V.	Licenciatura	UAT
2007	Producción y constitución nutrimental de grano y forraje en germoplasma criollo de maíz	G. González A.	Licenciatura	UAT
2008	Producción de forraje de maíz de grano blanco y amarillo en el norte de Tamaulipas	J. M. Otero T.	Licenciatura	UAT
2009	Potencial de rendimiento de grano de germoplasma de maíz originario de Tamaulipas bajo temporal	D. López L.	Licenciatura	UAT
2010	Fecha de siembra de maíz para el ciclo otoño-invierno en el norte de Tamaulipas	G. Medina H.	Licenciatura	UAT
2011	Modificaciones agronómicas en poblaciones de maíz criollo por efecto de diferentes criterios de selección	D. A. Rocha V.	Licenciatura	UAT
2011	Evaluación de híbridos experimentales de maíz derivados de germoplasma criollo tropical del centro y sur de Tamaulipas	J. González M.	Licenciatura	UAT
2012	Rendimiento de grano y sus componentes de cruizas experimentales de maíz en diferentes densidades de población	G. A. Guajardo G.	Licenciatura	UAT
2007	Tolerancia de germoplasma criollo de maíz de Tamaulipas al estrés hídrico y temperatura alta	V. H. Ramos O.	Maestría	UAT
2008	Diversidad genética y potencial de poblaciones criollas de maíz del centro y sur de Tamaulipas, México	J. A. Pecina M.	Maestría	CP
2005	Cambios de caracteres de la planta como respuesta a la selección para tolerancia a sequía en poblaciones de maíz	J. A. Rincón T.	Doctorado	UAT
2012	Potencial del germoplasma derivado de maíces nativos de Tamaulipas en los valles altos, transición y subtrópico	J. A. Pecina M.	Doctorado	CP

Tabla 5. Artículos publicados en revistas indizadas en los 12 años de funcionamiento del programa "Manejo, conservación y mejoramiento de germoplasma de maíz nativo de Tamaulipas"

Título	Revista	Año
Biomasa acumulada e intercambio gaseoso en maíz proveniente de semilla de diferente tamaño bajo humedad favorable y restringida	<i>Revista Internacional de Botánica Experimental</i>	2004
Componentes del crecimiento de grano de cultivares prolíficos de maíz	<i>Revista Fitotecnia Mexicana</i>	2004
Temperatura alta y estrés hídrico durante la floración en poblaciones de maíz tropical	<i>Revista Internacional de Botánica Experimental</i>	2006
Modificación de características agronómicas en maíz tropical por efecto de selección bajo estrés hídrico	<i>Revista Fitotecnia Mexicana</i>	2008
Respuesta morfológica y fenológica de maíces nativos de Tamaulipas a ambientes contrastantes de México	<i>Agrociencia</i>	2009
Preliminary field screening of maize landrace germplasm from northeastern Mexico under high temperatures	<i>Maydica</i>	2011
Rendimiento de grano y sus componentes en maíces nativos de Tamaulipas evaluados en ambientes contrastantes	<i>Revista Fitotecnia Mexicana</i>	2011
Exploración de germoplasma nativo de maíz en el centro y sur de Tamaulipas, México	<i>Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas</i>	2013
Genetic potential of S1 lines derived from native maize populations of Tamaulipas, Mexico	<i>Maydica</i>	2013

LITERATURA CITADA

- ABOITES MANRIQUE, G. *Una mirada diferente de la revolución verde. Ciencia, nación y compromiso social.* México: Plaza y Valdés S.A. y C.V. 322 pp., 2002.
- AGUIRRE GÓMEZ, J. A. et al. Regional Analysis of Maize Biological Diversity in Southeastern Guanajuato, Mexico. *Economic Botany*, 54(1): 60-72, 2000.
- ÁNGELES ARRIETA, H. H. Mejoramiento genético del maíz en México: el INIA, sus antecesores y un vistazo a sus sucesor, el INIFAP. *Agricultura Técnica en México*, 26(1): 31-48, 2000.
- BENÍTEZ DE NORIEGA, A. *Historia de la Hacienda del Carmen de Benítez, México.* México: Miguel Ángel Porrúa, 77 pp., 1989.
- BIRD, R. M. A name change for central american teosinte. *Taxon*, 27(4): 361-363, 1978.
- CASTRO NAVA, S. et al. Exploración de germoplasma nativo de maíz en el centro y sur de Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4 (4):645-653, 2013.
- GARZA-CASTILLO, M. R. La conservación de recursos genéticos del maíz nativo en Tamaulipas. *Revista Ciencia UAT*, 16 (2):22-27, 2010.
- HERNÁNDEZ CASILLAS, J. M. y ESQUIVEL ESQUIVEL, G. Rendimiento de grano y características agronómicas en germoplasma de maíz de Valles Altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27 (1):27-31, 2004.
- LÓPEZ LOZANO, M. El cultivo de maíz en México y la contribución del fitomejorador para favorecer la autosuficiencia. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 7 (12):596-605, 2003.
- MASSIEU TRIGO, Y. y LECHUGA MONTENEGRO, J. El maíz en México: biodiversidad y cambios en el consumo. *Análisis Económico*, XVII (36):281-303, 2002.
- MIRANDA COLIN, S. Evolución de cuatro caracteres del maíz (*Zea mays* L.). *Agrociencia*, 28:73-88, 1977.
- NÁJERA CALVO, L. A. et al. Potencial de rendimiento de poblaciones criollas de maíz de Coahuila, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(número especial 4): 31-36, 2010.
- PECINA MARTÍNEZ, J. A. et al. Rendimiento de grano y sus componentes en maíces nativos de Tamaulipas evaluados en ambientes contrastantes. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 34(2):85-92, 2011.
- PIPERNO, D. R. et al. Starch grain and phytolith evidence for early ninth millennium B.P. maize from the Central Balsas River Valley, Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(13): 5019-5024, 2009.

- POLANCO JAIME, A. y FLORES MÉNDEZ, T. *Bases para una política de i&d e innovación de la cadena de valor del maíz*. México: Foro Consultivo Científico y Tecnológico, A. C., 246 pp., 2008.
- RANERE, A. J. et al. The cultural and chronological context of early Holocene maize and squash domestication in the Central Balsas River Valley, Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(13): 5014-5018, 2009.
- REYES CASTAÑEDA, P. Cincuenta años de investigación agrícola de maíz para tierra caliente en México. *Agricultura Técnica en México*, 26(1): 49-62, 2000.
- REYES, J. R. *Formación y comparación de rendimiento de 135 cruza dobles en tres poblaciones de maíz (Zea mays L.)*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Tamaulipas. México. 80 pp., 1985.
- REYES MÉNDEZ, C. A. y CANTÚ ALMAGUER, M. A. H-437, Híbrido de maíz para el noreste de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(3): 289-290, 2004.
- REYES MÉNDEZ, C. A. y CANTÚ ALMAGUER, M. A. H-439, Nuevo híbrido trilineal de maíz para áreas de riego en el subtrópico de México. *Agricultura Técnica en México*, 31(1): 97-100, 2005.
- REYES MÉNDEZ, C. A. y CANTÚ ALMAGUER, M. A. H-443-A, Híbrido de maíz de grano amarillo para el noreste de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 32(4): 331-333, 2009.
- REYES MÉNDEZ, C. A. y CANTÚ ALMAGUER, M. A. Maíz. En: RODRÍGUEZ DEL BOSQUE, L. A. (Coord.), *Campo experimental Río Bravo: 50 años de investigación agropecuaria en el norte de Tamaulipas, historia, logros y retos*, pp. 55-74, INIFAP, 325 pp., 2006.
- REYES MÉNDEZ, C. A. et al. H-440, Nuevo híbrido de maíz tolerante a sequía para el noreste de México. *Agricultura Técnica en México*, 33(2): 201-204, 2007.
- SÁNCHEZ, J. J. et al. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of México. *Economic Botany*, 54(1): 43-59, 2000.
- SMITH, B. D. Documenting plant domestication: The consilience of biological and archaeological approaches. *Proceeding of National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(4): 1324-1326, 2001.
- SMITH, B. D. Reconsidering the Ocampo caves and the era of incipient cultivation in Mesoamerica. *Latin American Antiquity*, 8(4): 342-383, 1997.

De páginas electrónicas

- CONABIO. 2011. Base de datos del proyecto global "Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México". Octubre de 2010. CONABIO. México, D. F. <http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/proyectoMaices.html>.

José Ángel Canavati Ayub. *In memoriam*

Helga Fetter Nathansky^{1*}, Fernando Galaz Fontes¹

Fetter Nathansky, H., Galaz Fontes, F., *In memoriam*. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 62: 84-85, mayo-agosto 2014.

José Ángel Canavati Ayub nació en la ciudad de Chihuahua, Chihuahua, el 29 de marzo de 1944. Llevó a cabo estudios de Ingeniería Mecánica y Eléctrica en la Universidad Autónoma de Nuevo León y de Matemáticas en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en el Departamento de Matemáticas del CINESTAV y realizó estudios de doctorado en la Universidad de Wisconsin, en Madison.

Fue maestro en el Instituto Tecnológico de Monterrey, en la Facultad de Ciencias de la UNAM, en la Unidad Iztapalapa de la Universidad Autónoma Metropolitana y en la Universidad de Guanajuato, e investigador de tiempo completo en el Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas (IIMAS) de la UNAM, en la UAM-Iztapalapa y finalmente en el Centro de Investigación en Matemáticas (CIMAT), donde laboró hasta sus últimos días.

Con su original manera de dar clase, su elegante caligrafía y entusiasmo por el análisis matemático, atrajo y formó a muchos estudiantes en esta área y no dejó indiferente a ninguno de ellos. Dirigió nueve tesis de licenciatura, una de doctorado, y sus alumnos lo recuerdan siempre como un maestro exigente, a veces enojón, pero siempre con la finalidad de proporcionarles la mejor formación.

A lo largo de su carrera publicó más de 20 artículos de investigación en revistas internacionales. Tuvo muy diversos colaboradores, entre los que se cuentan Antonmaria Minzoni, José Luis Abreu, Alberto Alonso, Jorge Ize, Maximiliano Díaz, Fernando Galaz



Dr. José Ángel Canavati Ayub (1944-2011).
Fotografía proporcionada por Francisco Mirabal G.

Fontes, Duong Minh Duc, Slavisa Djordjevic y Miguel Ángel Moreles. En sus trabajos, en general relativos al Análisis Funcional, tanto lineal como no-lineal, hizo aportaciones en la teoría de espacios de Sobolev y de Hilbert y en la teoría de operadores, entre otros temas.

En un artículo muy conocido, "The Riemann-Liouville Integral", introdujo una noción de derivada fraccionaria, llamada ahora derivada fraccionaria de Canavati, como el operador inverso al operador integral fraccionario de Riemann-Liouville. El cálculo fraccionario es un tema de gran interés en la actualidad y aunque se han propuesto otras definiciones de derivada fraccional, como la de

¹ Centro de Investigación en Matemáticas, A. C. (CIMAT)
* Autor para correspondencia: fetter@cimat.mx

Riemann-Liouville y la de Caputo, el fundamento teórico detrás de la derivada fraccionaria de Canavati ha resultado ser de gran utilidad. Es, por ejemplo, una parte fundamental del libro *Fractional differentiation inequalities* (Anastassiou, G. A., Springer Verlag, 2009).

Escribió además varios libros, entre los que sobresalen:

- 1.- Cálculo diferencial e integral y sus aplicaciones. Fascículos I a VI, Ed. Trillas, 1983. Con J. L. Abreu, J. Ize y A. A. Minzoni.
- 2.- Introducción al Análisis Funcional. Fondo de Cultura Económica, 1998.

Su fuerte personalidad y liderazgo lo condujeron a ocupar diversos puestos directivos, que desempeñó con dedicación y éxito: en el IIMAS fue jefe del Departamento de Matemáticas y Mecánica, en la UAM-I ocupó la jefatura del Departamento de Matemáticas, y en el CIMAT ocupó el cargo de Director General en el periodo comprendido desde agosto de 1988 hasta octubre de 1995.

Falleció el 29 de octubre de 2011 y será recordado por todos aquellos que lo conocieron.

Farmacología general. Tercera edición. Reseña

Jaramillo Juárez, F., Cardona Muñoz, E. G., Rincón Sánchez, A. R. (Comps.), *Farmacología General*. 3ª ed., Aguascalientes, México: UAA-UDG, 2013, 378 pp., ISBN 978-607-8285-75-4.

Leonel García Benavides¹

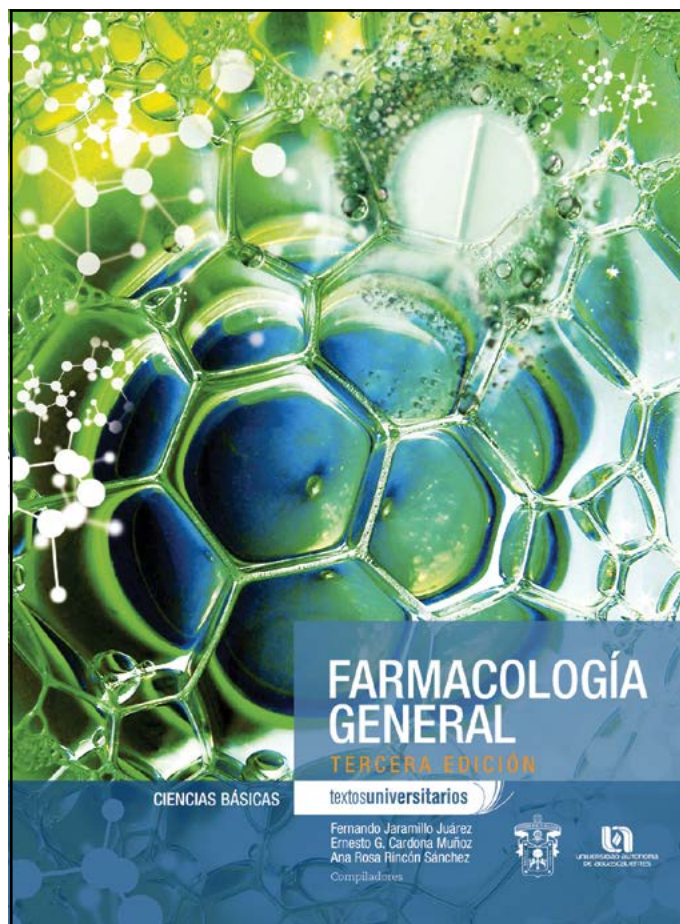
García Benavides, L., *Farmacología general. Tercera edición. Reseña. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 62: 86-87, mayo-agosto 2014.

Farmacología general es un libro que pone en manos del lector las bases del conocimiento farmacológico contemporáneo que permiten entender los mecanismos de acción de los fármacos y la aplicación racional de la terapéutica medicamentosa. Editado por la Universidad Autónoma de Aguascalientes y la Universidad de Guadalajara (Tercera edición, octubre de 2013, ISBN 978-607-8285-75-4), el libro contiene 378 cuartillas que integran 16 capítulos y un glosario. La tercera edición de esta obra mantiene la idea de facilitar a los estudiantes el acceso a la información farmacológica actualizada que les permita construir los cimientos de su futuro profesional. De esta nueva edición conviene enfatizar lo siguiente:

- 1) Presentación. Se mantuvo el diseño de la portada y el tipo de papel, pero mejoraron la calidad de sus gráficos y de sus imágenes. Es un libro pensado para favorecer la lectura y evitar la fatiga visual.
- 2) Pertinencia. Desde su primera edición, este libro surgió ante la necesidad de disponer de un recurso que facilitara la construcción del conocimiento de los estudiantes de las carreras del área biomédica y, particularmente, de la carrera de Medicina. Su planteamiento se hizo centrado en el estudiante, en lo que éste debiera aprender y su cometido lo caracteriza como un libro de texto que permite a los alumnos adquirir los conocimientos de la Farmacología, para aplicarlos en la solución de problemas relacionados con su realidad. Sin embargo, esta edición no es privativa del nivel licenciatura, ya que permite que los estudiantes

de posgrado y profesionistas puedan profundizar en el conocimiento farmacológico.

- 3) Actualización. Sabemos que el conocimiento no es estático porque los conceptos cambian de



Portada del libro *Farmacología general*. Tercera edición.

¹ Centro Universitario de Ciencias de la Salud, Universidad de Guadalajara.

manera acelerada. Por ello, en esta edición se revisó y mejoró su contenido: desde los capítulos 1 al 9 que abordan los temas fundamentales de la farmacología ("Introducción al estudio farmacológico", "Farmacognosia", "Formas farmacéuticas de los medicamentos y biofarmacia", "Farmacocinética", "Regímenes de dosificación", "Farmacodinamia" y "Farmacometría"); además, aquellos capítulos cuyo contenido se relaciona con los rápidos avances de la ciencia, tales el caso del capítulo-11, "Desarrollo de nuevos medicamentos", el 12, "Investigación clínica y bioética", el 13, "Efecto placebo", el 14, "Medicamentos genéricos y bioequivalencia" y el 15, "Principios de toxicología". Asimismo, se incluyeron dos nuevos capítulos descritos de manera muy clara, a pesar de su complejidad, para ser aplicados en la clínica: el 10, "Interacciones de fármacos" y el 16, "Fármacos Biotecnológicos o biofármacos", que hace una revisión detallada de estos fármacos desde su implementación hasta la descripción de aquéllos que ya están autorizados por la FDA (US Food and Drug Administration) para el tratamiento de diversas enfermedades humanas.

- 4) Procesamiento y manejo de la información. A pesar de la gran cantidad de información farmacológica disponible en la actualidad, con la que cada capítulo se podría construir un libro, en esta obra es fácil percibir el cuidadoso proceso

de selección, jerarquización, organización y vinculación, procurando que al libro no le sobre información pero sobre todo que no le falte la información útil y relevante.

- 5) Por último, se debe señalar que los autores involucrados en cada uno de los capítulos son expertos reconocidos en sus respectivas áreas, en su mayoría doctores en Farmacología, con gran experiencia en la docencia. Al respecto, esta tercera edición tiene la virtud de haber logrado la integración, colaboración e interacción de 37 profesores-investigadores de distintas Instituciones de Educación Superior y Centros de Investigación que trabajaron con un mismo compromiso. Tal esfuerzo conjunto y el espíritu de colaboración deben mantenerse para alcanzar otras metas académicas con la misma eficiencia con la que se logró esta obra.

A juzgar por el éxito de las ediciones anteriores, este libro seguramente tendrá una larga vida. Exhorto a los autores a que lo mejoren de manera continua para que este trabajo se refleje en la formación de mejores profesionales de la salud, para beneficio de nuestro país. Finalmente, debo reiterar que la tercera edición de *Farmacología general* apoya tanto a los estudiantes de licenciatura de las áreas biomédicas de las universidades de nuestro país, como a los profesionales de la medicina en su búsqueda del conocimiento actualizado de la Farmacología general.

Política editorial de la revista *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*

Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes es una revista arbitrada, científica y multidisciplinaria; editada y distribuida cuatrimestralmente por el Departamento de Apoyo a la Investigación, de la Dirección General de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma de Aguascalientes.

Esta revista contribuye con la difusión del conocimiento científico y tecnológico generado por investigadores de la región, nacionales y extranjeros mediante la publicación de artículos de investigación, revisiones científicas, notas científicas, reseñas de libros y obituarios. Su misión es fomentar la colaboración multidisciplinaria e interinstitucional que favorezca el desarrollo de la investigación, promueva la publicación de sus resultados y la formación de una cultura científica en la población lectora.

Tiene como objetivo principal: difundir, comunicar y divulgar el conocimiento científico y tecnológico, así como promover el desarrollo de la investigación y la producción científica con estándares de calidad en el ámbito local, nacional e internacional a través de la publicación de artículos originales y de difusión.

Está dirigida a estudiantes de licenciatura, ingenierías y posgrados, profesionistas de las diversas disciplinas, profesores e investigadores y público interesado en la investigación científica y el desarrollo tecnológico. Se distribuye en instituciones de educación superior, centros de investigación, bibliotecas, y organismos del sector público. Cuenta con convenios de intercambio bibliotecario, como: México-USA, COMPAB, REBCO y REMBA. A nivel internacional la revista se difunde por medio de los índices en los que está citada: Índice de Revistas de Divulgación Científica y Tecnológica del CONACYT, Actualidad Iberoamericana, IRESIE, LATINDEX, PERIÓDICA y REDALYC, y en las bases de datos: DIALNET, DOAJ, HELA, ULRICH'S *Periodicals Directory* e Informe Académico.

El primer número se publicó en el año de 1990 y hasta el momento se han editado más de 50. En su estructura considera tres secciones: 1) *Editorial*, que incluye el Directorio, un Consejo Editor y un Comité Editorial de distinguida trayectoria, y el grupo editor. 2)

Artículos científicos, inéditos y originales. 3) *Reseñas de libros y obituarios*, todos relacionados con las Ciencias Agropecuarias, Ciencias Naturales y Exactas, Ciencias de la Salud, Ingenierías y Tecnologías, así como con las Ciencias Económicas, Sociales y Humanidades.

La revista participa en la Declaración del Movimiento Internacional "Open Access" con el fin de contribuir al aumento de la visibilidad, el acceso y la difusión de la producción científica, por ello, los autores y colaboradores de los artículos ceden los derechos autorales a la revista *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, de manera que la misma podrá publicarlos en formato impreso y/o electrónico, incluyendo internet.

Criterios para publicar

Los manuscritos propuestos a publicación, deberán ser textos científicos que no hayan sido publicados ni enviados simultáneamente a otra revista para su publicación y de esta manera, sean una contribución inédita a la literatura científica. Solo se aceptan artículos escritos en idioma Español y deberán contener todas las secciones estipuladas en esta Guía, formateados correctamente. Deben seguir las reglas gramaticales y ortográficas de la lengua española. Todos los manuscritos serán evaluados por al menos dos especialistas o investigadores expertos de las diferentes áreas, pertenecientes a diversas instituciones de investigación reconocidas a nivel nacional e internacional.

Tipos de publicaciones

Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes acepta artículos originales: de investigación, revisiones científicas, y notas científicas; asimismo, reseñas de libros y obituarios; sin embargo, se da prioridad al primer género de tal manera que integrarán el 75% del contenido de cada número y el 25% corresponderá para el segundo género.

Artículo de investigación: informa los resultados de una investigación, cuyo tema queda comprendido en alguna de las áreas del conocimiento anteriormente indicadas y es de interés científico por su relevancia.

Artículo de revisión científica: resume y analiza un tema científico de importancia, es una revisión de la literatura y del estado actual de un campo de investigación, que ofrece una evaluación crítica del tema.

Nota científica: es un artículo corto de un tema relevante, novedoso y actual, de ciencia y tecnología que describe o explica un hallazgo y por su mérito científico amerita una rápida publicación. Pueden incluirse resultados relevantes que se quieren difundir de forma rápida y no detallada, con información concluyente, pero insuficiente para su análisis en extenso.

Reseña de libro: narra o describe de manera breve y clara la evaluación o crítica constructiva de una obra literaria o científica que se ha publicado en los tres años anteriores a la fecha de publicación de la reseña.

Obituario: describe la vida y obra de una persona fallecida con aportaciones relevantes a la ciencia.

Estructura del contenido

Artículo de investigación

No deberá ser menor de cinco ni mayor de 15 cuartillas, incluyendo las ilustraciones. En algunos casos se podrá acordar con el editor una extensión mayor, no sin antes valorar la importancia de dicha ampliación. Los manuscritos deberán incluir los siguientes elementos (si de acuerdo a la temática no es posible cumplirlos se deberá justificar, en su caso podrán aceptarse ensayos con una aportación crítica, analítica y documentada):

Título. Deberá ser breve y claro, que refleje el contenido del trabajo. No exceder de 20 palabras, escrito en Español y en renglón aparte, la versión del título en Inglés.

Nombre(s) del/los autor(es). Presentar en primer orden el nombre completo del autor principal y posteriormente los demás autores (sin grado académico), agregando al pie de página para cada uno su adscripción (departamento, dependencia e institución) y correo electrónico. Seleccionar un autor para correspondencia.

RESUMEN. Deberá ser un sólo párrafo que sintetice el propósito del trabajo y reúna las principales

aportaciones del artículo en un máximo de 150 palabras, sin subdivisiones y sin citas bibliográficas. Esta sección se iniciará con la palabra **Resumen** al margen izquierdo, con letras negritas y sin punto. Todo manuscrito debe incluir una versión en Inglés del resumen (*abstract*).

Palabras clave. Incluir seis palabras clave relacionadas con el contenido del trabajo, escritas en Español y su versión en Inglés (*keywords*).

INTRODUCCIÓN. Señalar en qué consiste el trabajo completo, objetivos, antecedentes, estado actual del problema e hipótesis.

MATERIALES Y MÉTODOS. Describir en forma precisa el procedimiento realizado para, en su caso, comprobar la hipótesis y los recursos empleados en ello.

RESULTADOS. Describir los resultados de la investigación. Se podrán presentar datos de medición o cuantificación.

DISCUSIÓN. Presentar la interpretación de los resultados de acuerdo con estudios similares, es decir, correlacionando el estudio con otros realizados, enunciando sus ventajas y aportaciones, evitando adjetivos de elogio.

CONCLUSIONES. Precisar los principales resultados que se obtuvieron y señalar si permitieron verificar la hipótesis; asimismo, plantear perspectivas del estudio y de su aplicación.

LITERATURA CITADA. Todas las referencias en el texto deberán aparecer en esta sección y viceversa. Es necesario notar que los títulos de las revistas no se abrevian, que hay espacios entre las iniciales y que se deben nombrar todos los autores. Se anotarán en orden alfabético utilizando el siguiente formato:

Publicación impresa

De libro:

AUTOR (ES) comenzando con el apellido e iniciales del nombre en mayúsculas, *título (en cursivas)*. volumen, edición, país: editorial, páginas, año.

De publicación periódica:

AUTOR (ES) comenzando con el apellido e iniciales del nombre en mayúsculas, título del artículo, *revista (en cursivas)*. volumen, número, páginas consultadas, fecha de publicación.

Publicación electrónica

De libro:

AUTOR (ES) comenzando con el apellido e iniciales del nombre en mayúsculas, *título* (en cursivas), volumen, edición, país: editorial, páginas, año. De: URL, fecha de consulta. doi: xx.xxxxxxxx

De publicación periódica:

AUTOR (ES) comenzando con el apellido e iniciales del nombre en mayúsculas, *título, revista* (en cursivas), volumen, número, páginas consultadas. De: URL de la versión digital, fecha de consulta. doi: xx.xxxxxxxx.

Sólo en caso de contar con el número DOI, será suficiente con colocar éste y omitir el URL.

Citas en texto

En el texto se citará de la siguiente manera: (Aguilar, 2000) o Aguilar (2000); (Aguilar y Camacho, 2001) o Aguilar y Camacho (2001); (Aguilar et al., 2002) o Aguilar et al. (2002). En orden cronológico (Juárez, 1954; Aguilar, 2000; Méndez, 2000). En orden cronológico y alfabético en el mismo año (Juárez, 1954, 1960, 1960a, 1960b).

Tablas y Figuras. Deberán colocarse en el lugar que les corresponde a lo largo del artículo, serán numeradas consecutivamente utilizando números arábigos y estar referidas en el texto.

Las tablas deberán tener título breve en la parte superior utilizando mayúsculas y minúsculas con tipografía Arial 10 pts., tanto en letras como en números. Su orientación será vertical.

Además de las tablas, el artículo se debe acompañar de al menos una fotografía o ilustración con pie de foto explicativo breve, indicando si es de su autoría o citando la fuente. Los dibujos o esquemas deberán estar en original.

Las imágenes o ilustraciones deben tener una calidad mínima de 300 ppp. o al menos 5 megapíxeles con formato TIFF, EPS o JPG. En caso de que el artículo contenga varias ilustraciones, éstas se deberán presentar en otro archivo.

En las figuras —se consideran así tanto gráficas como fotografías y mapas—, utilizar mayúsculas y minúsculas con tipografía Arial 8-10 pts. El tamaño máximo de la figura incluyendo leyendas, será de 12 cm de longitud y 16 cm de ancho, el mínimo permitido será de 6 cm de longitud y 8 cm de ancho.

Se debe explicar claramente en la parte superior de cada tabla y al pie de cada figura el contenido de las mismas en *cursiva*.

Artículo de revisión científica

No deberá ser menor de cinco ni mayor a 15 cuartillas. Debe incluir título en Español y su versión en inglés, nombre de los autores y sus datos de adscripción incluyendo correo electrónico a pie de página, resumen (*abstract*) y palabras clave (*keywords*) en Español y en Inglés, texto del artículo considerando: introducción al tema (incluyendo por qué el problema es de interés), desarrollo del trabajo con una discusión académica, conclusión y un apartado de referencias. El contenido del artículo puede estar subdividido cuidando que exista una conexión entre los apartados. La literatura citada, fotografías, figuras y tablas seguirán el mismo formato que en los artículos de investigación.

Nota científica

No deberá ser mayor a cinco cuartillas. Debe incluir título en Español y su versión en Inglés, nombre de los autores y sus datos de adscripción incluyendo correo electrónico a pie de página, resumen (*abstract*) y palabras clave (*keywords*) en español y su versión en Inglés. El texto deberá escribirse de continuo y sin espacio extra entre los párrafos. La literatura citada, fotografías, figuras y tablas seguirán el mismo formato que en los artículos de investigación.

Reseña de libro

No deberá ser mayor a dos cuartillas. Debe incluir identificación del autor y su obra: nombre del autor, título de la obra, lugar de publicación, editorial, fecha de edición, número de páginas e ISBN; resumen o descripción del texto o contenido, señalando las partes en que está integrado, crítica y conclusión, literatura, fotografías, ilustraciones o gráficas y otros recursos o datos relevantes que lo particularizan como exponente y autoridad en la materia.

Obituario

No deberá ser mayor a dos cuartillas. Debe incluir nombre del autor y sus datos de adscripción incluyendo correo electrónico a pie de página, texto del artículo considerando una introducción que incluya nombre de la persona recordada, fecha y lugar de nacimiento y muerte, una breve biografía, aportaciones científicas y académicas relevantes en la ciencia y una reflexión.

Características de la revisión de artículos

1. El editor se reserva el derecho de devolver a los autores los artículos que no cumplan con los criterios para su publicación.
2. Todos los trabajos son sometidos a un arbitraje de doble ciego a cargo de la Cartera de Árbitros que integra la revista, la cual está compuesta por miembros del SNI o investigadores expertos en el área de los artículos, pertenecientes a instituciones de investigación reconocidas a nivel nacional e internacional. Cada trabajo es revisado por al menos dos evaluadores, especificando en el dictamen si se acepta el artículo intacto, con modificaciones o si definitivamente se rechaza. En caso de contar con resultados discrepantes, se enviará el trabajo a un tercer evaluador, cuyo resultado será definitivo e inapelable.
3. El editor dará a conocer al autor contacto el resultado del arbitraje a través del formato "Observaciones"; si el trabajo es aceptado con modificaciones, el autor deberá atenderlas en un plazo no mayor a 10 días hábiles y enviará nuevamente al editor el original y el archivo electrónico del artículo junto con un **archivo de respuesta a dichas observaciones** en formato Word. El archivo consiste en una explicación detallada de las modificaciones realizadas tomando en cuenta todas y cada una de las observaciones señaladas por los evaluadores. Incluir el comentario del evaluador y su correspondiente acción o respuesta del autor. No es necesario incluir en este archivo las anotaciones realizadas por los evaluadores sobre el artículo.
4. Cuando el autor demore más de 30 días en responder a las sugerencias de los evaluadores, el artículo no será considerado para publicarse en el siguiente número de la revista.
5. El editor informará al autor contacto en su caso, el avance de su trabajo en el proceso de dictaminación, del rechazo, o la fecha de publicación del mismo.
6. La revista se reserva el derecho de adelantar o posponer los artículos aceptados con el fin de

dar una mejor estructura a cada número de acuerdo a la política editorial.

7. Una vez que el artículo haya sido aceptado, pasará a una revisión de estilo y forma, para su versión definitiva. Se enviarán pruebas de impresión en formato PDF al autor contacto y serán devueltas al editor dos días después de haber sido recibidas. Si las pruebas no se entregan a tiempo, el artículo se publicará sin las correcciones correspondientes.
8. Los artículos presentados son responsabilidad total del autor (o los autores) y no reflejan necesariamente el criterio de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, a menos que se especifique lo contrario.

Indicaciones para los autores

1. El escrito se enviará en formato Word 2003 o 2007 y en formato PDF. en hoja tamaño carta.
2. Tipografía: Arial en 12 pts.
3. Justificación: Completa, no utilizar sangría al inicio de párrafos.
4. Márgenes: Superior e inferior 2.5 cm.; izquierdo y derecho de 3 cm.
5. Espacio: Doble.
6. Abreviaturas: Escribir el término completo la primera vez que se usa y seguirlo con la abreviatura entre paréntesis.
7. Las expresiones matemáticas deben estar escritas claramente y se debe utilizar el Sistema Internacional de Unidades. Asimismo, los conceptos y términos científicos y técnicos deberán escribirse de forma clara y precisa.

Especificaciones de envío

Para enviar un artículo es necesario que el documento cumpla estrictamente con los lineamientos de formato y de contenido que anteriormente se han especificado.

El envío del artículo puede realizarse mediante dos vías:

- a) **Mensajería o entrega personal** en la Dirección General de Investigación y Posgrado, en un sobre cerrado dirigido a Rosa del Carmen Zapata editora de la revista, el cual deberá

contener artículo impreso, archivos del artículo e ilustraciones, resumen curricular del primer autor y datos del autor contacto.

- b) **Correo electrónico** dirigido a la editora de la revista, a través de revistaiyc@correo.uaa.mx que contenga archivos adjuntos (*attachment*) con el artículo, las ilustraciones, resumen curricular del primer autor y datos del autor contacto.

Es importante que el autor conserve una copia de los archivos y de la impresión enviada.

Colaboración e informes

Revista *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*

Dirección General de Investigación y Posgrado
Departamento de Apoyo a la Investigación
Av. Universidad núm. 940, C.U.,
Edificio 1-B, segundo piso.
C.P. 20131, Aguascalientes, Ags.
Teléfono/Fax (449) 910-74-42

Correo electrónico: revistaiyc@correo.uaa.mx
www.uaa.mx/investigacion/revista